

Enjeux numériques



Données et modèles : Technopolitique de la crise sanitaire

UNE SÉRIE DES
ANNALES
DES MINES
FONDÉES EN 1794

N°21 - MARS 2023

*Publiées avec le soutien
de l'Institut Mines-Télécom*

ENJEUX NUMÉRIQUES

ISSN 2781-1263

Série trimestrielle - N°21 - Mars 2023

Rédaction

Conseil général de l'Économie
Ministère de l'Économie,
des Finances
et de la Souveraineté
industrielle et numérique
120, rue de Bercy
Télédoc 797
75572 Paris Cedex 12
Tél. : 01 53 18 52 68
<http://www.anales.org>

[Grégoire Postel-Vinay](#)

Rédacteur en chef

[Gérard Comby](#)

Secrétaire général

[Alexia Kappelmann](#)

Secrétaire générale adjointe

[Magali Gimon](#)

Assistante de rédaction
et Maquettiste

[Myriam Michaux](#)

Webmestre et Maquettiste

Publication

[Photo de couverture](#)

René Marjolin, dessinateur,
Étude de bateau, dessin,
19^e siècle. Paris, Musée de la
Vie romantique (©Paris Musées /
Musée de la Vie Romantique)

[Iconographie](#)

Alexia Kappelmann

[Mise en page](#)

Magali Gimon

[Impression](#)

Dupliprint Mayenne

Membres du Comité de rédaction

[Jean-Pierre Dardayrol](#)

Président du Comité de rédaction

[Edmond Baranes](#)

[Godefroy Beauvallet](#)

[Côme Berbain](#)

[Pierre Bonis](#)

[Hélène Brisset](#)

[Serge Catoire](#)

[Nicolas Chagny](#)

[Arnaud de La Fortelle](#)

[Éric Freyssinet](#)

[Caroline Leboucher](#)

[Bertrand Pailhès](#)

[Isabelle Piot-Lepetit](#)

[Grégoire Postel-Vinay](#)

[Maurice Ronai](#)

[Anne-Lise Thouroude](#)

[Laurent Toutain](#)

[Benjamin Vignard](#)

La mention au regard de certaines illustrations du sigle « D. R. » correspond à des documents ou photographies pour lesquels nos recherches d'ayants droit ou d'héritiers se sont avérées infructueuses.

Le contenu des articles n'engage que la seule responsabilité de leurs auteurs.

Données et modèles : Technopolitique de la crise sanitaire

INTRODUCTION GÉNÉRALE

- 05 Introduction
Données et modèles
dans le « gouvernement de l'épidémie »
Maurice RONAI et Aymeril HOANG
- 11 Synthèse du numéro
Maurice RONAI et Aymeril HOANG
- 15 StopCovid ou encore ?
Aymeril HOANG
- 20 « Les réflexes de coopération développés
pendant la crise doivent se transformer
en processus courants d'interaction »
Entretien avec Jérôme FILIPPINI
Maurice RONAI et Aymeril HOANG
- 23 Technopolitique d'une crise sanitaire
États-Unis, Allemagne, Japon, Royaume-Uni
Maurice RONAI

QUELLES DONNÉES POUR SUIVRE L'ÉPIDÉMIE ?

- 36 Structuration évolutive d'une surveillance multisource
pour répondre à une infection émergente :
l'expérience française face à la Covid-19
Julie FIGONI, au nom du groupe Surveillance de la Covid-19
- 51 Épidémiologie participative :
quand le public participe à la surveillance
et à la compréhension du Covid-19
Sophie PÈNE et Maurice RONAI
- 60 Le *making of* du suivi de la crise
du Covid-19 au *Monde*
Les Décodeurs du *Monde*
- 69 Comment vulgariser les données du Covid ?
Nicolas BERROD

MODÉLISATIONS

- 77 Modélisation mathématique
de l'épidémie de Covid-19 en France,
et comparaison internationale
Samuel ALIZON et Mircea T. SOFONEA
- 86 Institutionnalisation des modèles
durant la crise de Covid-19
Mathieu CORTEEL
- 91 Les modélisateurs de l'épidémie
de la Covid-19
Fabrizio LI VIGNI

SUIVI DES CONTACTS

- 97 Enseignements des actions
de traçage des contacts réalisées
par l'Assurance maladie
Jean-Baptiste CALCOEN
- 106 « On a perdu en France
l'expérience des épidémies
et de leur gestion sur le terrain »
Entretien avec le Pr Renaud PIARROUX
Maurice RONAI et Aymeril HOANG
- 112 BriserLaChaine.org : dématérialiser
la recherche de cas contacts
pour une efficacité à l'échelle
Florian GAUTHIER

ENSEIGNEMENTS

- 120 Dr Tableur & Mr. Excel
Les outils de structuration souple
des données dans la crise sanitaire
Godefroy BEAUVALLET et Maurice RONAI
- 128 Y voir clair sur les choses importantes
Zeynep Tufekci, une sociologue dans l'action
Hervé LE CROSNIER
- 134 La protection des données à caractère personnel
à l'épreuve de la crise sanitaire
Valérie PEUGEOT

- 139** Comment le Conseil scientifique s'est saisi de l'enjeu des outils numériques
Daniel BENAMOUZIG et Aymeril HOANG
- 145** Épidémiologie basée sur les eaux usées : actualité et futur d'une méthode épidémiologique alternative, pour détecter et suivre les épidémies
Vincent MARÉCHAL, Mickaël BONI, Yvon MADAY, Nicolas CLUZEL et le Groupement d'intérêt scientifique (GIS) OBEPINE

157 Traductions des résumés

163 Biographies des auteurs

Ce numéro a été coordonné par

Maurice RONAI et Aymeril HOANG

Introduction

Données et modèles dans le « gouvernement de l'épidémie »

Par Maurice RONAI
Ancien membre de la CNIL

et Aymeril HOANG
Ancien membre du Conseil scientifique Covid-19
et expert en numérique

Première grande pandémie du XXI^e siècle, la crise du Covid-19 a révélé l'impréparation des systèmes de santé et les limites de la « transformation numérique » des administrations. Cette « crise des données », inégale selon les pays, a donné lieu à une mobilisation sans équivalent : modélisations, foisonnement d'enquêtes, construction dans l'urgence de systèmes d'information, exploitation de nouvelles sources de données, accélération de la production statistique, enquêtes répétées de prévalence sur des échantillons de la population, déploiement de dispositifs pour la recherche et le suivi des contacts.

UNE CRISE MONDIALE DES DONNÉES

« Peu de pays disposaient des données en temps réel dont ils avaient besoin lorsque la pandémie a frappé, qui a rendu d'autant plus difficile le suivi de la situation de santé publique et le travail d'information de la population » observe l'OCDE. « La collecte et l'utilisation en temps réel des données médicales personnelles ont aussi mis au jour les faiblesses de longue date de la gouvernance des données – s'agissant notamment de la façon de partager les données nécessaires pour sauver des vies, tout en veillant aussi à protéger la vie privée et les libertés civiles. »

L'OCDE dresse ainsi le diagnostic d'une « crise des données », qui trouve sa source dans « les lacunes des infrastructures et des politiques en matière de données critiques » et dans « des approches fragmentées de la collecte, du partage et de l'utilisation des données non seulement d'un pays à l'autre, mais aussi à l'intérieur des pays, ce qui a accru la méfiance et réduit le respect des mesures de sécurité »¹.

Aux États-Unis, la gestion de la crise a buté sur « une infrastructure de données de santé publique fracturée et obsolète. La réponse de la nation à la crise du coronavirus a été affaiblie par une infrastructure de données de santé publique fracturée et obsolète »².

¹ Highlights from the OECD Webinar (2020) “The ties that bind: Government openness as key driver of trust”, September.

² “Preparing for and preventing the next public health emergency. Lessons learned from the Coronavirus crisis”, Final Report, December 2022.

L'Allemagne s'est débattue, tout au long de la crise, et encore aujourd'hui, avec un empilement de logiciels et de systèmes d'information, à l'origine de problèmes aigus d'interfaçage entre outils de gestion locaux, applications de *reporting* et systèmes de surveillance fédéraux. En juin 2022, le conseil des experts, chargé d'évaluer les mesures mises en œuvre dans la lutte contre la pandémie, conclut « qu'il n'existe pas de concept national [...] pour coordonner la recherche dans le domaine de l'épidémiologie et de la santé publique et pour prendre les décisions qui s'imposent, sur la base de meilleures données et d'analyses basées sur celles-ci »³.

En France, selon la mission indépendante nationale sur l'évaluation de la gestion de la crise⁴ (Mission Pittet), « la gestion de la crise a pâti d'un déficit dans l'architecture des systèmes d'information qui laissait de nombreux trous au regard des besoins de pilotage de la gestion de crise, comme la connaissance des cas de Covid ou celle en temps réel des capacités disponibles en lits de réanimation ».

UNE MOBILISATION INFORMATIONNELLE SANS PRÉCÉDENT

En France, la surveillance était initialement centrée sur les seuls cas graves et les morts, sur les hôpitaux et les urgences. Il a fallu adapter des systèmes d'information déjà existants, les faire converger et étendre la couverture de certains d'entre eux, mais aussi en créer de nouveaux, de toutes pièces, et en urgence. Brique par brique, un système de surveillance est ainsi mis en place en quelques mois qui va permettre de rendre visibles les tensions hospitalières, la mortalité, la circulation virale, l'émergence et la propagation des variants. « Aujourd'hui, on a quelque chose de quasi exhaustif. Personne en France n'aurait pensé qu'on puisse créer un système national comme celui-là en si peu de temps », reconnaissait un responsable de Santé publique France en septembre 2020⁵.

Un fait marquant de cette crise est la mobilisation tous azimuts de données non conventionnelles comme l'analyse des eaux usées ou l'exploitation des données de géolocalisation.

Cette mobilisation informationnelle s'est largement appuyée sur des dispositifs d'enquête faisant appel au public. Une floraison de questionnaires en ligne et d'enquêtes vit ainsi le jour, dès mars 2020, pour identifier les symptômes, cartographier la propagation et comprendre les mécanismes de transmission. À l'origine de ces dispositifs « d'épidémiologie participative », plus ou moins exigeants en termes d'engagement des répondants, figuraient des agences de santé publique, des hôpitaux, des universités, des ONG, des entreprises et des startups de santé numérique.

Au Royaume-Uni, le système de surveillance épidémiologique, pris en défaut dans un premier temps, va faire preuve de capacités inédites de réactivité et d'innovation. La création du National Core Studies va permettre de structurer six programmes d'études, et de financer des enquêtes de prévalence et des opérations de séquençage à un rythme et une échelle sans pareils au niveau mondial⁶.

³ "Evaluation der rechtsgrundlagen und maßnahmen der pandemiepolitik. Bericht des sachverständigenausschusses", juin 2022.

⁴ Rapport de la Mission indépendante nationale sur l'évaluation de la gestion de la crise de Covid-19 et sur l'anticipation des risques pandémiques.

⁵ « Urgence, cafouillages, "mille-feuille" d'indicateurs... Dans les coulisses des données très stratégiques sur le Covid-19 », FranceTVInfo, 10 septembre

⁶ En France, en réponse à l'exigence d'une meilleure coordination de la recherche dans le champ des maladies infectieuses et émergentes, est créée en 2021 l'ANRS-Maladies infectieuses émergente, issue de la fusion de l'ANRS avec REACTing afin de couvrir tous les domaines de la recherche : fondamentale, clinique, en santé publique et en sciences de l'homme et de la société.

L'ENJEU DE CONDUIRE DES ENQUÊTES DE PRÉVALENCE FRÉQUENTES SUR DES ÉCHANTILLONS DE LA POPULATION

Le suivi exhaustif de l'ensemble des patients testés a permis de construire et d'affiner toute une série d'indicateurs quotidiens, comme les taux de positivité, de dépistage et d'incidence de la maladie. Les personnes asymptomatiques étant moins susceptibles d'être testées, les indicateurs basés sur le dépistage de masse pouvaient, toutefois, sous-estimer la prévalence. Plusieurs contributeurs à ce numéro soulignent l'intérêt de procéder à un dépistage fréquent d'échantillons aléatoires de la population générale. Ils font référence à deux enquêtes britanniques, l'ONS Covid Infection Survey, pilotée par l'Office for National Statistics, et l'étude React, pilotée par l'Imperial College. Les conseils scientifiques et les autorités de santé du monde entier se sont largement appuyés sur ces deux enquêtes pour percer le brouillard épidémiologique.

LA RAISON MODÉLISATRICE FACE À LA DÉCISION POLITIQUE

La pandémie de Covid-19 a propulsé sur le devant de la scène politique la modélisation mathématique des maladies infectieuses. Elle permet, tout au long de la crise, d'interpréter les données, de donner un aperçu de ce à quoi pourraient ressembler les futures tendances épidémiques, et d'aider les décideurs à comprendre « l'espace de décision » dans lequel ils se trouvaient. La « raison modélisatrice »⁷ a ainsi occupé une place inédite dans la décision politique comme dans la conversation publique.

Alors que les gouvernements au Danemark, aux Pays-Bas ou en Australie disposaient de leur propre expertise en modélisation, au Royaume-Uni, les modélisations étaient menées à l'extérieur, en s'appuyant sur la communauté universitaire. Aux États-Unis, les épidémiologistes et les modélisateurs ont regretté l'absence d'une instance nationale pour confronter les prévisions et les modèles, et d'une interface avec les décideurs politiques et les autorités de santé pour discuter et évaluer les stratégies. Une attente satisfaite, en 2021, avec la création du Centre de prévision et d'analyse des épidémies que le Président Biden décrit comme « l'équivalent d'un service météorologique national pour les épidémies de maladies infectieuses ».

En France, la Mission Pittet appelait en mars 2021 l'attention sur « des capacités de modélisation mobilisables limitées en raison de la dissémination des compétences entre différentes équipes, toutes de dimension réduite »⁸. Elle recommandait de « renforcer les capacités françaises en matière de modélisation, par une politique volontariste d'orientation de la recherche »⁹. La procédure des appels d'offres compétitifs gérés par l'ANR, coûteux en temps de rédaction et d'évaluation, révèle ses limites. Des financements de base seront nécessaires pour permettre aux équipes d'épidémiologie de « dégager du

⁷ BOULLIER H., CORNILLEAU E., JOUZEL J. & JUVEN P. (2021), « Raison modélisatrice, incertitudes et pièges de l'abstraction », *Terrains & travaux*.

⁸ Mission indépendante nationale sur l'évaluation de la gestion de la crise Covid-19 et sur l'anticipation des risques pandémiques, mars 2021.

⁹ En France, la toute nouvelle ANRS-Maladies infectieuses et émergentes a depuis mis en place une action coordonnée « Modélisation des Maladies Infectieuses ».

temps pour des projets ambitieux, n'ayant pas peur de l'originalité et encourageant une vision à long terme »¹⁰.

UNE DIVERSITÉ DES APPROCHES POUR LA RECHERCHE ET LE SUIVI DES CONTACTS

La recherche des contacts est la pierre angulaire de la réponse aux épidémies. Cette « épidémiologie de terrain » a fonctionné, dans le passé, face à de nombreuses maladies infectieuses : qu'il s'agisse de freiner l'entrée du virus sur le territoire (phase 1), de limiter sa propagation (phase 2), ou d'atténuer les effets de l'épidémie (phase 3).

En 2020, les pays asiatiques sont parvenus à contrôler les transmissions communautaires par l'application de protocoles intrusifs en termes de traçage et de méthodes d'isolement souvent brutales.

En Europe, les capacités de détection et d'investigation des cas ont très vite été débordées : c'est dans un contexte de forte circulation du virus (phase 3) que les gouvernements ont déployé des dispositifs de recherche des contacts à grande échelle. L'ampleur des opérations de recherche des contacts était, là aussi, sans précédent : au Royaume-Uni, les enquêteurs sanitaires ont tracé 19 millions de cas et 37 millions de contacts. En France, ceux de l'Assurance maladie ont pris en charge 30 millions de cas positifs et 23 millions de cas contacts.

Un outillage numérique pour alléger et amplifier la recherche de contacts

La pandémie a renouvelé les modalités du traçage de contacts, avec la dématérialisation de certaines opérations. En France comme en Grande-Bretagne, lorsque les niveaux de contamination ne permettaient plus la réalisation d'un appel téléphonique auprès de tous les cas positifs, ceux-ci étaient invités par SMS à préparer la liste de leurs cas contacts et à les alerter eux-mêmes. Ces plateformes numériques ont constitué une « innovation importante en allégeant le travail des centres d'appels et en leur permettant de se concentrer sur les situations complexes ou les personnes qui n'avaient pas les équipements ou les compétences numériques », observe un retour d'expérience britannique : il estime qu'à l'avenir « l'auto-traçage numérique » (*self-tracing*) devrait être la norme : « les plans de préparation devront inclure le besoin de plateformes numériques à grande échelle »¹¹.

Traçage prospectif ou rétrospectif ?

Dans les pays occidentaux, on a essentiellement mis en œuvre une méthode de traçage dite « prospective » (*forward*) ou « amont » : on recherche et on alerte les personnes qui se sont trouvées à proximité d'un patient déclaré sur toute sa période de contagiosité pour qu'elles se testent ou s'isolent. En Europe, des voix se firent entendre, en 2020 et en 2021 pour mettre en œuvre le traçage dit « rétrospectif » (*backward*) ou « aval », déjà pratiqué au Japon : on remonte la chaîne de contamination jusqu'à la personne diagnostiquée afin de repérer l'apparition de *clusters*, identifier des événements supercontaminants

¹⁰ Samuel Alizon, « La recherche sur le Covid-19 est plombée par les appels à petits projets », *Le Monde*, 3 février 2023.

¹¹ Independent report, "Technical report on the Covid-19 pandemic in the UK", 2022.

ou repérer des individus superpropagateurs (“*superspreaders*”). Cette méthode avait été théorisée par le virologue japonais Hitoshi Oshitani, qui recommandait de se concentrer « sur la forêt et non pas sur chacun des arbres ». L’Assurance maladie a expérimenté le *retrotracing*, mais renoncé à le généraliser face à la remontée du nombre de cas fin juillet 2021.

Des dispositifs à maintenir et actionnables en cas de nouvelle épidémie

Tirant les enseignements des opérations de recherche des contacts, les experts de 39 pays européens¹² soulignent la diversité des stratégies de recherche des contacts, selon qu’ils pratiquaient ou non la recherche « à rebours », selon l’articulation ou non du traçage avec les stratégies de dépistage, selon le type de tests, selon les modes de communication avec les cas et les cas contacts (par téléphone, SMS, courriers ou courriels automatiques). Se projetant dans l’avenir, ces experts estiment que « les systèmes et compétences établis en matière de recherche des contacts doivent être maintenus et prêts à être réactivés rapidement si la situation épidémiologique l’exigeait ». Et qu’il faudra « mettre l’accent sur la recherche des contacts au sein des groupes vulnérables et dans les milieux à haut risque au cours de la période à venir ».

UN BILAN INCERTAIN POUR L’AUTOMATISATION DE LA DÉTECTION ET NOTIFICATION DES CONTACTS

Cette crise a été un laboratoire pour la mise en œuvre d’une nouvelle génération de solutions numériques dans la lutte contre les épidémies. La Corée, Taiwan, Hong Kong et Singapour firent en 2020 un usage intensif du numérique pour enrayer l’épidémie ; *contact-tracing* intrusif et obligatoire, exploitation des relevés bancaires et des historiques de géolocalisation (par Bluetooth, bornage téléphonique ou par GPS), surveillance à distance du respect des mesures d’isolement.

Si l’Europe écarta le recours aux solutions asiatiques, l’idée s’imposa, assez vite, en Europe et dans quelques pays, qu’il était possible d’automatiser, *via* le Bluetooth des téléphones mobiles, les opérations de traçage. Les choix fonctionnels et techniques de ces applications donnèrent lieu en Europe à d’après controverses (modèle décentralisé ou centralisé, recours ou pas à l’interface de programmation proposée par Google et Apple) qui débouchèrent sur des protocoles différents.

82 applications de ce type avaient été déployées en 2020 dans 31 pays. Selon AlgorithmWatch, « les résultats sont contradictoires. Les conclusions sur leur efficacité divergent considérablement d’un pays à l’autre et, parfois, d’une étude à l’autre. Les méthodes appliquées diffèrent tellement qu’il est, en fait, difficile – voire impossible – de comparer les résultats et de fournir une évaluation cohérente et complète de l’impact et de l’efficacité de ces applications »¹³.

¹² Bureau régional de l’OMS pour l’Europe & Centre européen de prévention et de contrôle des maladies (ECDC) : “Covid-19 contact-tracing: Country experiences and way forward”, 2022.

¹³ CHIUSI F. (2021), “Digital contact tracing apps: Do they actually work? A review of early evidence”, Algorithmwatch.

« Il est temps d'évaluer les applications de traçage des contacts Covid-19 », concluaient Valeria Colizza, Christophe Fraser et d'autres chercheurs influents en février 2021. Seule « une évaluation rigoureuse de leur efficacité permettra de mettre en balance les avantages pour la santé publique et les effets indésirables pour les individus et la société [...] Ce travail reste à faire »¹⁴.

Comment suivre, modéliser, anticiper la propagation du virus sans surveiller les personnes, sans collecter, exploiter et réutiliser des données personnelles ? Plusieurs retours d'expérience mentionnent les réutilisations de données que la France et l'Europe n'ont pas mises en œuvre, en raison du haut niveau de protection dont bénéficient les données de santé. On ne saurait se satisfaire de cette situation pour l'avenir. Quels sont les traitements de données qui doivent être établis de façon pérenne, et ceux qui doivent être créés et actionnés uniquement de façon transitoire au plus fort d'une épidémie ? Dans quels cas faut-il préférer des enquêtes auprès d'un échantillon plutôt qu'exploiter les données de populations entières ?

Faut-il, en cas d'urgence sanitaire, prévoir une extension des pouvoirs de réquisition de la puissance publique aux données détenues par des opérateurs privés¹⁵ ? Convient-il, comme le recommande un rapport sénatorial, d'imaginer la mise en place d'un "Crisis Data Hub"¹⁶ ?

Ces débats sont devant nous, si nous voulons faciliter la résolution de crises nouvelles tout en prévenant une bascule future vers des solutions franchement attentatoires aux libertés individuelles, ou qui, inventées ailleurs, ne protégeront pas les données, de santé ou autres, des Européens.

Ce dossier poursuit une réflexion engagée dans le numéro n°14 des *Annales des Mines - Enjeux numériques* (« Réponses numériques à la crise sanitaire », juin 2021) et dans le n°108 des *Annales des Mines - Responsabilité & Environnement* (« Premiers enseignements de la crise sanitaire », octobre 2022).

¹⁴ COLIZZA V., GRILL E. & MIKOLAJCZYK R. (2021), "Time to evaluate Covid-19 contact-tracing apps", *Nature Medicine*.

¹⁵ La loi du 23 mars 2020 instituant l'état d'urgence sanitaire prévoyait que le Premier ministre pouvait, par décret « ordonner la réquisition de tous biens et services nécessaires à la lutte contre la catastrophe sanitaire ». Cette disposition n'a jamais été actionnée pour accéder à des données privées pendant la crise sanitaire. Le projet de règlement européen sur les données ("Data Act"), encore en discussion, encadre strictement la possibilité pour les organismes du secteur public d'accéder et d'utiliser les données détenues par le secteur privé « afin de prévenir ou de répondre à une urgence publique ».

¹⁶ « Une plateforme sécurisée de collecte et d'échange de données dont l'unique fonction est de répondre aux situations de crise (sanitaire ou autre), lorsque des croisements de données massifs et dérogoratoires deviennent indispensables », Délégation sénatoriale à la prospective : Rapport d'information sur les crises sanitaires et outils numériques : répondre avec efficacité pour retrouver nos libertés, 2021.

Synthèse du numéro

Par Maurice RONAI

Ancien membre de la CNIL

et Aymeril HOANG

Ancien membre du Conseil scientifique Covid-19 et expert en numérique

UNE MOBILISATION INFORMATIONNELLE SANS PRÉCÉDENT

En France, « la gestion de l'épidémie a imposé à l'ensemble des acteurs un besoin de réactivité sans précédent ». Dans leur contribution, Julie Figoni et ses collègues de Santé publique France retracent les étapes de la construction d'un système de surveillance en France et son évolution au cours de la pandémie : surveillance de la sévérité de l'épidémie et de son impact sur le système de soins, surveillances spécifiques de sous-groupes de population, surveillance virologique, surveillance de la couverture vaccinale, suivi de l'évolution des comportements et de la santé mentale. « L'une des limites majeures », concluent-ils « a été la construction de systèmes de surveillance ayant peu d'interopérabilité entre eux, ou ne permettant pas l'interconnexion [...] La pérennisation et l'extension d'un tel outil devraient permettre d'améliorer la surveillance de nombreuses autres maladies infectieuses ou non transmissibles dans le futur ».

Le cadre protecteur des données personnelles a-t-il entravé les réponses à la crise ? Pour Valérie Peugeot, Commissaire à la CNIL, « si la pandémie a mis à l'épreuve la capacité du droit des données à caractère personnel à accompagner une situation d'urgence sanitaire sans équivalent, les cadres juridiques, et l'usage qui en a été fait, ont montré que l'on pouvait mobiliser dans l'urgence des solutions numériques, sans céder aux sirènes du techno-solutionnisme ». Outre « la robustesse et la souplesse de la réglementation », Valérie Peugeot souligne la réactivité de la CNIL, avec la mise en place de dispositifs inédits (« veillant à ce que les dérogations consenties soient minimales, transitoires et contrôlées ») et des délais record d'instruction pour autoriser les chercheurs à traiter les données de santé.

Vincent Maréchal et ses collègues du Groupement scientifique OBEPINE tirent les enseignements de programmes d'analyse des eaux usées. « L'épidémiologie basée sur les eaux usées a été utilisée avec succès – et pour la première fois à une échelle mondiale ». OBEPINE a suivi la dynamique de l'épidémie sur près de 200 stations de traitement des eaux usées – soit près de 40 % de la population française. L'utilisation de ces données est toutefois restée marginale en France.

Sophie Pène et Maurice Ronai appellent l'attention sur la contribution du public à la connaissance du virus et de ses conséquences. Face aux limites des données recueillies par les services d'urgence et les hôpitaux, l'idée s'impose un peu partout de faire appel au public pour compléter la connaissance de l'épidémie. Une floraison de questionnaires en ligne et d'enquêtes voit ainsi le jour, dès mars 2020, pour identifier les symptômes et enrichir le tableau clinique, pour dénombrer les cas, cartographier la propagation et pour comprendre les mécanismes de transmission. À l'origine de ces dispositifs « d'épidémiologie participative », plus ou moins exigeants en termes d'engagement des répondants, figurent des agences de santé publique, des offices statistiques, des hôpitaux, des universités et

centres de recherche, des ONG, des entreprises et *start-up* de santé numérique, souvent en partenariat.

Godefroy Beauvallet et Maurice Ronai pointent l'omniprésence d'Excel à tous les étages de la gestion de la crise (dans les hôpitaux, les ARS, les collectivités, les cellules de crise), et pour une diversité d'usages : recueil et structuration progressive des données, outil d'échange et transfert des données, outil d'exploration de la dynamique de la crise. Les tableurs se révélaient utilisables là où aucun système d'information structuré ne permettait plus de gérer la complexité des situations et la variété des sujets. Ils distinguent dans le recours à cette « voiture-balai informationnelle », deux moments : comme réponse au débordement initial des dispositifs officiels de traitement des données, puis, une fois l'épreuve franchie, comme outil de *reporting* et de reprise de contrôle par les hiérarchies.

« Y VOIR CLAIR DANS LES DONNÉES »

Durant cette pandémie, les paroles scientifiques étaient principalement le fait de médecins et d'épidémiologistes. Dès janvier 2020, aux États-Unis, une sociologue, Zeynep Tufekci, a devancé les scientifiques dans la compréhension du mode de transmission aéroportée du virus, l'importance des masques et de la ventilation, ou les phénomènes de surdispersion. Hervé Le Crosnier s'attache ici à comprendre ce qui a permis à Zeynep Tufekci « d'y voir clair sur les choses importantes ».

Taux d'incidence, nombre de patients hospitalisés, part de chaque variant du Sars-CoV-2 parmi les nouveaux cas positifs, couverture vaccinale : autant d'indicateurs fournis à un rythme quotidien, hebdomadaire ou mensuel par les autorités de santé. Journaliste au Parisien, Nicolas Berrod explique de quelles données il disposait et comment il les vulgarisait pour rendre ces données accessibles à tous.

Dans le même ordre d'idée, Jonathan Parienté relate la manière dont l'équipe des Décodeurs du journal *Le Monde* (déjà experte en analyse des données) a entrepris, *via* un tableau de bord, de suivre en temps réel une situation qui évoluait de jour en jour. « La mission de hiérarchisation des données est devenue de plus en plus cruciale, au fur et à mesure de la production et de la mise en ligne d'un mille-feuille de plus en plus complet d'indicateurs par les autorités sanitaires ».

MODÉLISATIONS ET GOUVERNEMENT DE L'ÉPIDÉMIE

Après avoir exposé les fondements de la modélisation mathématique des maladies infectieuses, Samuel Alizon et Mircea Sofonea soulignent ici les apports de la modélisation mathématique au « gouvernement de l'épidémie » : élaboration de scénarios prospectifs, surveillance et développement de stratégies d'échantillonnage optimisées maximisant la qualité de l'information avec un minimum de prélèvements et scénarios rétrospectifs. Quelle que soit leur utilisation, les modélisations ne sont qu'un élément parmi d'autres dans la prise de décision. Les auteurs rappellent combien il est important d'éviter le maximum d'intermédiaires entre les équipes de modélisation et celles amenées à prendre les décisions.

L'apparition de « l'épidémiologie computationnelle » dès le début des années 2000 a renouvelé l'activité de modélisation des maladies infectieuses par des outils issus de l'informatique et de la physique, rappelle Fabrizio Li Vigni. L'avantage des techniques sophistiquées comme les « modèles à base d'agent » et la « théorie des réseaux » par rapport aux modèles déterministes du siècle dernier réside dans le fait qu'ils permettent d'évaluer de manière probabiliste différents scénarios de l'évolution d'une épidémie. Si les

gouvernements ont pris leurs décisions en fonction des modélisations de chercheurs issus des sciences de la nature et de l'ingénieur, d'autres modélisateurs qui ne s'étaient jamais occupés d'épidémies auparavant ont entrepris d'anticiper la diffusion de la maladie, et de se mobiliser pour en expliquer les ressorts au grand public.

Mathieu Corteel, pour sa part, rend compte du processus d'institutionnalisation des modèles. Il montre comment le modèle de l'Institut Pasteur est devenu, durant la première vague, le diapason des mesures sanitaires, avec un effet de « cadrage cognitif » : dès le premier confinement, l'image de « la vague », issue du modèle, acquiert le statut ontologique d'évidence aussi bien pour le gouvernement que pour la société civile. Il met en relief une institutionnalisation intermittente des modèles, le gouvernement mobilisant tour à tour les modèles épidémiologiques scientifiques et les outils opérationnels de planification logistique des cabinets de conseil privés, notamment pour la campagne de vaccination.

« ÉPIDÉMIOLOGIE DE TERRAIN », RECHERCHE DES CONTACTS, TRAÇAGE

La France avait fait, dans un premier temps, le choix d'un système hybride : avec le niveau 1 confié à la médecine de ville, le niveau 2 à l'Assurance maladie et le niveau 3 aux ARS pour la détection des *clusters*. La participation des médecins ayant chuté dès juillet 2020, c'est sur l'Assurance maladie et ses centres d'appels téléphoniques qu'a reposé, en définitive, l'essentiel des opérations de traçage.

Jean-Baptiste Calcoen retrace ici comment l'Assurance maladie est parvenue à mettre en œuvre, en un temps record, un dispositif national de *contact-tracing*, qui a mobilisé, en moyenne, 6 000 agents à temps plein, redéployés et formés à la réalisation d'appels sortants en direction des cas positifs et de leurs cas contacts (et jusqu'à 9 000 agents certains mois). Ces plateformes ont fonctionné 7 jours sur 7 du 12 mai 2020 à juin 2022. Malgré l'augmentation considérable du nombre de cas, l'Assurance maladie a réussi à contacter plus de 90 % des cas et contacts dans un délai rapide de 24 heures.

Renaud Piarroux, fort de son expérience dans la lutte contre les épidémies en Afrique ou à Haïti, partage ici sa conviction qu'il pouvait être procédé autrement. Il revient sur le projet COVISAN, déployé en avril 2020, avec le soutien de l'AP-HP. COVISAN reposait sur des équipes mobiles qui se rendaient au domicile des personnes, dépistaient leurs proches, et leur proposaient une aide quand elles acceptaient de s'isoler. « Le principal levier pour ralentir une épidémie ou pour la maîtriser, c'est le comportement de la personne positive et de son entourage. Cela va plus loin que simplement repérer les personnes contaminées : c'est vraiment passer un contrat avec elles ». Au total, plus de 100 000 personnes ont été testées et accompagnées par le dispositif COVISAN. La Mission Pittet a regretté que le dispositif COVISAN « n'ait pas été davantage déployé pour apporter des réponses notamment à des catégories de population perplexes devant la situation, moins autonomes ou devant faire face à des situations plus complexes. COVISAN a en effet montré tout l'apport d'un contact plus personnalisé en présentiel et d'une écoute tenant compte des contextes, permettant une pédagogie adaptée et un accompagnement qui facilite réellement le respect de l'isolement ».

Florian Gauthier restitue la genèse de BriserLaChaine.org. Présentant que les Brigades sanitaires de l'Assurance maladie risquent d'être sous-dimensionnées face à la circulation du virus, et dubitatifs quant à l'efficacité future de StopCovid, l'équipe de l'association à but non lucratif Bayes Impact imagine une troisième voie : permettre aux personnes contaminées de prévenir elles-mêmes leurs contacts.

Des épidémiologistes plaident très tôt pour le recours à des applications mobiles permettant de notifier aux personnes qu'elles risquaient d'avoir été contaminées par leur

entourage ou par une personne anonyme. Le 17 mars 2020, le Professeur Fraser et son équipe expliquent « qu'au stade actuel de l'épidémie, la recherche des contacts ne peut plus être effectuée efficacement par les responsables de la santé publique car le coronavirus se propage trop rapidement [...] Nous avons besoin d'une solution numérique instantanée et anonyme pour confirmer l'historique de nos contacts de personne à personne ».

Daniel Benamouzig et Aymeril Hoang reviennent sur les réflexions du Conseil scientifique Covid-19 (dont ils étaient membres) relatives à StopCovid. Le Conseil pointait en avril plusieurs « points de vigilance » : difficultés éthiques liées aux données personnelles, enjeux de souveraineté en termes de contrôle des outils numériques et d'effectivité de la loi, recours à des solutions propriétaires fermées, conditions d'adhésion sociale aux solutions numériques destinées au grand public.

Aymeril Hoang, pour sa part, retrace les étapes de la conception de ce qui allait devenir StopCovid, puis TousAnticovid : mobilisation de la communauté numérique ; collaboration européenne ; refus français d'utiliser la solution proposée par Google et Apple ; lancement ; échec relatif de son adoption (en tout cas dans sa forme initiale). Aymeril Hoang s'interroge sur la modeste contribution de ces applications à l'interruption des chaînes de transmission. Afin de se préparer à l'éventuelle prochaine pandémie, il plaide pour un projet européen de recherche-action en épidémiologie, pour documenter des scénarii de protocoles « capables de passer à l'échelle » et combinant peut-être numérique et intervention humaine ciblée.

StopCovid ou encore ?

Par Aymeril HOANG

Ancien membre du Conseil scientifique Covid-19
et expert en numérique

Il s'agit ici d'essayer d'exposer les faits sur la réponse numérique aux enjeux de traçage de contacts pendant la crise du Covid-19, et de porter un regard critique dans l'intention d'éclairer peut-être les décideurs actuels sur ce qui pourrait être tenté préventivement, au cas où se déclencherait une nouvelle épidémie aux caractéristiques proches de celles du Covid-19. Aucun des protocoles ou outils déployés à grande échelle, qu'il s'agisse de StopCovid, qui n'a pas marché, des cahiers papier à l'entrée des commerces, ou même du dispositif à grande échelle mis en place par l'Assurance maladie, s'ils n'ont pas été inutiles, ne semblent avoir eu un effet décisif sur l'arrêt des chaînes de contamination. Ce papier appelle à des expérimentations et à de la recherche-action sur des protocoles qui pourraient fonctionner, en termes de parcours utilisateur, auprès des citoyens.

A-t-on vraiment collectivement tiré les leçons de la réponse à la pandémie de Covid-19 ? Comment les autorités sanitaires s'organiseraient-elles en cas de nouvelle épidémie virale, qu'il s'agisse d'un nouveau variant du Covid-19 ou d'un nouveau virus ? L'épidémiologie de terrain et sa communauté d'épidémiologistes, historiquement excellents à lutter contre des épidémies en Afrique ou les pays du Sud, comme celles du choléra ou d'Ebola, bénéficieraient-elles de l'expérience acquise dans la lutte contre le Covid-19 ? À cette dernière question, j'ai envie de répondre que s'agissant de l'action centrale de l'épidémiologie de terrain, à savoir l'arrêt des chaînes de transmission du virus, il me semble que non. Les protocoles, dispositifs et outils déployés pendant la crise n'ont pas tenu leur promesse et, en particulier, l'application initiale de traçage de contact, StopCovid.

Revenons à fin mars 2020. Au début de la crise, une mobilisation sans précédent des pouvoirs publics se déclenche. Côté *contact-tracing*, les épidémiologistes européens s'accordent immédiatement sur l'enjeu de trouver une solution qui passe à l'échelle en termes de détection des chaînes de contamination. Le virus semble se diffuser trop rapidement et à trop de personnes pour que les solutions connues et mises en œuvre par les épidémiologistes de terrain aient la moindre chance de succès. Le *mantra*, au sens d'invocation sacrée du terme, devient la « scalabilité », la capacité d'une solution à être mise à l'échelle. Et c'est là que la "French Tech", la communauté des acteurs du numérique, entre en scène, mobilisable par ce *mantra*-là, et aussi par celui pour les applications mobiles : "There is an (mobile) app for that"¹.

Plusieurs projets dans le monde émergent à ce moment-là. En Europe, ce sont les travaux d'une équipe d'épidémiologistes modélisateurs, à Oxford, qui structurent la réflexion (Ferretti *et al.*, 2020) autour d'une application mobile d'identification et de notification de personnes cas contacts de personnes porteuses du virus. Leur conclusion est sans appel : cette notification, si elle prend trois jours avec les protocoles habituels, sera trop tardive pour arrêter les chaînes de transmission du virus. Le combat à adopter est celui du caractère instantané des notifications à une personne, pour qu'elle puisse immédiatement

¹ « À tout problème universel, sa solution à travers une application mobile ».

s'isoler et réduire à zéro le risque de contamination d'autrui. Un troisième *mantra*, cher lui aussi à la French Tech, celui de l'instantanéité, est posé. Des projets similaires émergent en Allemagne et à Singapour. Avec les enjeux d'instantanéité et de scalabilité, l'équipe d'Oxford n'a pas eu besoin de la communauté numérique pour tirer sa propre conclusion : seule une application mobile de *contact-tracing*, même si adoptée par une minorité de la population (Abueg *et al.*, 2021), paraît être efficace.

En France, à la même période, entre le 18 et le 31 mars 2020, la communauté numérique se mobilise et fait bénéficier les pouvoirs publics de sa créativité. Une fonctionnalité des *smartphones* cristallise l'essentiel de cette dernière : la géolocalisation en temps réel. Une poignée d'acteurs privés imagine, certes brièvement, une géolocalisation individuelle instantanée au service de l'isolement (autoritaire ?) de personnes cas contacts et cas positifs. Évidemment, cette idée est instantanément écartée de la réflexion politique et sanitaire.

Ensuite, en Europe, tout converge vers le concept d'une application mobile permettant de notifier la personne utilisatrice, d'un risque d'avoir été contaminée par son entourage ou par une personne anonyme. Les chercheurs français, anglais, allemands, suisses et italiens, issus des deux mondes du numérique, en France, Inria et de l'épidémiologie, se mettent à collaborer ensemble sur l'algorithme socle du concept, celui permettant d'estimer un niveau de risque d'exposition à une personne porteuse du virus et contagieuse en utilisant le signal Bluetooth de deux *smartphones* proches. Côté French Tech, plusieurs personnes et organisations emblématiques se mettent bénévolement à disposition des pouvoirs publics pour pouvoir commencer à travailler. Une équipe-projet public-privé, sous l'autorité politique du secrétaire d'État chargé du Numérique, se structure autour de l'Inria, dont certaines équipes étaient à la fois compétentes sur ces questions et volontaires à contribuer à l'enjeu. Elle mêle chercheurs en numérique, épidémiologistes et experts en expérience utilisateur, ce que la Cour des comptes a ainsi acté² : « À la tête d'un consortium de chercheurs et de développeurs publics et privés agissant *pro bono publico* sans rémunération, l'institut a défini le protocole de fonctionnement et les conditions d'hébergement de cette application ».

Quasiment toutes les autorités sanitaires des pays membres de l'Union européenne annoncent leur projet d'application mobile, dans une logique d'interopérabilité et même de commun numérique s'agissant de l'algorithme socle. Une forme d'évidence qui émerge côté français : la France ne peut pas ne pas tenter une application mobile quand le reste de l'Europe y va. L'équipe-projet obtient un accord formel du gouvernement français d'avancer et de lancer une solution.

C'est à ce moment-là que Google et Apple sont contactés par les différentes équipes européennes et leurs autorités pour faciliter le bon fonctionnement de l'algorithme socle. Les discussions sont difficiles. Le monde des applications mobiles est gouverné et contrôlé étroitement par le duopole des systèmes d'exploitation des téléphones mobiles, contrairement à celui des logiciels d'ordinateurs, qui est resté ouvert. Et puis, coup de théâtre pour les autorités sanitaires prévenues 30 minutes avant la conférence de presse du duopole : ce dernier annonce le 10 avril 2020 qu'il mettra à disposition une API (interface de programmation d'application de l'anglais *application programming interface*) qui ne se limite pas à faciliter l'accès de l'algorithme socle, mais remplace purement et simplement ce dernier.

² Page 80, point 4.3.3 du Rapport d'observations définitives de la Cour des comptes relatif aux achats liés à la crise sanitaire financés par les dotations exceptionnelles de l'Assurance maladie à Santé publique France, <https://www.ccomptes.fr/system/files/2022-12/20221214-S2021-2255-achats-lies-crise-sanitaire-finances-par-dotations-exceptionnelles-assurance-maladie.pdf>

En l'absence d'une régulation appropriée, le duopole mobile rappelle, s'il en est besoin, son vrai visage d'empêcheur d'innover, déjà dénoncé de manière prémonitoire en février 2018 par l'Arcep³ : c'est lui le patron et le propriétaire du monde mobile, qui décide arbitrairement, sans aucune coordination avec les autorités publiques, de qui fait quoi et comment. Y compris à l'occasion d'une pandémie mondiale sans précédent. Y compris en se substituant aux autorités sanitaires de santé publique et d'épidémiologie. Le duopole se déclare épidémiologiste en chef mondial et décide même que la durée d'exposition à risque est de 10 minutes. Les autorités françaises seront les seules à refuser d'utiliser la solution du duopole mobile, pour des raisons de souveraineté et de gouvernance. La dynamique collaborative publique en Europe est dès lors cassée.

Avec l'adoption en 2022 des deux règlements européens sur les marchés numériques (DMA)⁴ et les services numériques (DSA)⁵, cette dynamique peut d'une certaine manière être considérée comme restaurée vis-à-vis des acteurs privés du numérique, dont la puissance de marché leur permet presque d'exercer des prérogatives exorbitantes de puissance publique. Et les autorités et régulateurs nationaux et européen sont désormais prévenus de l'enjeu à exercer toutes leurs prérogatives de collaboration et de régulation face à un duopole d'acteurs privés excellents et économiquement rationnels à agir pour leurs seuls intérêts privés.

Le projet d'application mobile suit ensuite son cours en France. L'application mobile StopCovid est lancée le 2 juin 2020, et connaît un échec en termes d'adoption par les citoyens. Les applications mobiles lancées dans les autres pays, avec l'API du duopole Google-Apple, connaissent le même sort. Collectivement et individuellement, presque personne n'a adopté l'application mobile publique de notification de cas contacts.

Il est à noter que plusieurs autres projets ont été développés en parallèle de celui de StopCovid. L'un, assez proche dans ses modalités, l'a été de la propre initiative d'un cabinet de conseil en management, prestataire régulier de l'État, qui a, légitimement, mais sans succès, tenté d'obtenir de ce dernier une reconnaissance officielle exclusive. Ce cabinet a mobilisé, selon ses dires, plusieurs dizaines de collaborateurs à plein temps, pendant plusieurs semaines, pour développer une solution de bout en bout. Un tel investissement, même paré des meilleures intentions citoyennes, peut évidemment interroger. L'autre, l'application briserlachaine.org, a également été développé de la propre initiative de l'association Bayes Impact, dans une vision alternative à celle de StopCovid, pour permettre aux personnes testées positives au Covid-19 de notifier elles-mêmes le plus vite possible leur entourage rencontré pendant la période de contagiosité possible. Cette solution sera ensuite intégrée par l'Assurance maladie dans son dispositif global d'accompagnement des personnes cas positifs et cas contacts.

Les mobilisations individuelles exemplaires mentionnées *supra*, qu'il s'agisse d'agents de l'État et de ses opérateurs, ou de bénévoles citoyens et d'associations, constituent probablement un exemple de ce qu'une réserve citoyenne d'équipes-projet en réponse à des crises pourrait générer en termes de tentatives citoyennes de solution pour résoudre des problèmes concrets, en mobilisant des compétences additionnelles en complément de celles, rares, déjà mobilisées au quotidien par les services publics. C'est par exemple le projet de l'association Bayes Impact avec lareserve.tech⁶. Il s'agit également par construction de mobiliser des personnes physiques animées par une même volonté de

³ https://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/rapport-terminaux-fev2018.pdf

⁴ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32022R1925&from=FR>

⁵ https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2022.277.01.0001.01.FRA

⁶ L'auteur de cet article déclare être en relation contractuelle avec cette association dans le but d'accompagner le développement de ce projet de « réserve citoyenne », et s'est également inscrit comme « réserviste citoyen » du programme, <http://lareserve.tech/>

résoudre un problème d'intérêt général, quels que soient leurs intérêts et idées politiques personnels.

Au-delà des enjeux de processus de conception et d'élaboration de solutions en cas de crise, reste peut-être le sujet de taille : aucune solution numérique ou dématérialisée, sans intervention humaine, qu'il s'agisse de l'application StopCovid / TousAntiCovid, n'a eu réellement de succès auprès des personnes cas positifs ou contacts pour adopter les comportements permettant de casser les chaînes de transmission du virus.

La Cour des comptes le note ainsi à propos du service de télédéclaration par SMS, mis en place par l'Assurance maladie au premier semestre 2022 : « Or, l'envoi de SMS aux personnes positives pour les inviter à télédéclarer leurs contacts sur un site internet entraîne moins de déclarations de cas contact que les appels téléphoniques. Près de 90 % des personnes positives n'en ont déclaré aucun au premier semestre 2022. En outre, les rares éléments d'analyse disponibles font apparaître un respect partiel par les personnes positives et par leurs contacts des consignes de prévention qu'elles ont reçues, ce qui n'a pu qu'amoindrir l'efficacité du *contact-tracing* »⁷.

Les raisons de l'échec des solutions de traçage de contact, en termes d'adoption par les citoyens, ont été beaucoup commentées : manque de confiance dans l'État, suspicion à l'égard d'une solution de traçage qui peut être interprétée comme une solution de surveillance. Il a même été invoqué que les citoyens seraient sensibles à un sujet d'architecture SI des applications (le faux débat sur le caractère centralisé ou décentralisé de l'architecture SI), ce qui constituerait, si cela était avéré, un fait remarquable du niveau de sensibilisation du grand public aux enjeux numériques.

Il y a peut-être des hypothèses plus plausibles, tirées du fait qu'aucune application de traçage de contact, dans aucun pays du monde, n'a été adoptée suffisamment massivement par la population pour être utile au bon moment, celui de casser les nouvelles chaînes de transmission lorsque le virus circule peu : en termes d'expérience utilisateur, le bénéfice à utiliser une telle solution n'est pas assez compréhensible, ou est jugé trop faible par l'utilisateur ; en termes de comportement social sanitaire, peu de citoyens étaient prêts à informer, même anonymement, leur entourage qu'ils l'avaient peut-être contaminé, et peu de citoyens, informés être personnes cas contacts, n'étaient prêts à s'isoler à titre préventif.

Cette dernière hypothèse est au cœur de l'épidémiologie de terrain, et c'était tout le sens du protocole COVISAN mis en place par l'APHP⁸ (cf. l'entretien dans ce numéro avec le Pr Renaud Piarroux, pages 106-111), comme le souligne le Rapport Pittet⁹ : « Sans en faire le mode unique d'intervention, notamment en raison de son coût, il est dommage que le dispositif COVISAN, porté par l'AP-HP sur certains territoires de la région Île-de-France, n'ait pas été davantage déployé pour apporter des réponses notamment à des catégories de population perplexes devant la situation, moins autonomes ou devant faire face à des situations plus complexes. COVISAN a en effet montré tout l'apport d'un contact plus personnalisé en présentiel et d'une écoute tenant compte des contextes, permettant une pédagogie adaptée et un accompagnement qui facilite réellement le respect de l'isolement. »

⁷ Audit *flash* de la Cour des comptes en date du 6 décembre 2022 : « Tracer les contacts des personnes contaminées par la Covid-19 », <https://www.ccomptes.fr/fr/publications/tracer-les-contacts-des-personnes-contaminees-par-la-covid-19>

⁸ <https://www.aphp.fr/patient-public/dossier-coronavirus-covid-19/covisan-depistage-et-accompagnement-des-patients-dans>

⁹ Rapport final de la Mission indépendante nationale sur l'évaluation de la gestion de la crise Covid-19 et sur l'anticipation des risques pandémiques en date de mars 2021, <https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/279851.pdf>

Précisons enfin que les solutions doivent peut-être s’appréhender de manière beaucoup plus dynamique et contextuelle, en fonction du niveau de circulation du virus, du risque perçu selon les profils et de l’utilité perçue du dispositif d’arrêt des chaînes de transmission. La marge paraît étroite sur la bonne temporalité : lorsque le virus circule très peu, il paraît difficile de mobiliser les personnes ; lorsqu’il circule trop, en l’absence des vaccins, seules des mesures restrictives de circulation semblaient de nature à casser l’épidémie. Les notifications trop nombreuses de cas contacts auraient *de facto* conduit presque toute la population à devoir s’isoler, et c’était l’hypothèse posée fin décembre 2021 par le Conseil scientifique Covid-19 au vu des caractéristiques du variant Omicron. C’est dans les phases de circulation croissante du virus qu’une fenêtre, étroite, existe peut-être pour un dispositif local efficace à casser les chaînes de transmission.

Si je devais formuler un souhait en conclusion : dans l’attente de l’éventuelle prochaine pandémie, un projet européen de recherche-action en épidémiologie, mobilisant également des chercheurs et développeurs en numérique, en design d’interface et en parcours utilisateur, pourrait peut-être travailler et documenter plusieurs scénarii de protocoles. Ces scénarii devraient être capables de passer à l’échelle et combinerait peut-être numérique et intervention humaine ciblée, y compris bénévole, en fonction des différentes formes de réponses citoyennes à l’enjeu d’arrêter les chaînes de transmission grâce à l’isolement des personnes testées positives et de leurs cas contacts.

RÉFÉRENCES

FERRETTI L., WYMANT C., KENDALL M., ZHAO L., NURTAY A., ABELER-DÖRNER L., PARKER M., BONSALL D. & FRASER C. (2020), “Quantifying Sars-CoV-2 transmission suggests epidemic control with digital contact tracing”, *Science*, <https://doi.org/10.1126/science.abb6936>

ABUEG M., HINCH R., WU N. *et al.* (2021), “Modeling the effect of exposure notification and non-pharmaceutical interventions on Covid-19 transmission in Washington state”, *npj Digit. Med.*, 4, 49, <https://doi.org/10.1038/s41746-021-00422-7>

« Les réflexes de coopération développés pendant la crise doivent se transformer en processus courants d'interaction »

Entretien avec Jérôme FILIPPINI

Propos recueillis
par Maurice RONAI
et Aymeril HOANG

Présentation de Jérôme FILIPPINI

Ancien élève de l'École normale supérieure, de Sciences Po et de l'ENA, Jérôme Filippini a été directeur de systèmes d'information du ministère de l'Intérieur, puis premier directeur des systèmes d'information de l'État (aujourd'hui Dinum), secrétaire général pour la Modernisation de l'action publique (SGMAP) auprès du Premier ministre, secrétaire général de la Cour des comptes, puis préfet dans le Lot de 2017 à 2020, puis dans l'Eure de 2020 à 2022, et à La Réunion depuis août 2022.

Comme préfet de l'Eure puis à La Réunion, vous avez été en première ligne pendant la crise sanitaire.

Nous aimerions comprendre de quels outils numériques disposaient les préfets pour échanger avec les autres acteurs de la crise, de quelles données ils disposaient pour faire face aux divers épisodes, vagues et pics de cette crise.

Mon témoignage ne vaut qu'en tant que préfet de l'Eure de février 2020 à août 2022, où j'ai connu toutes les phases de la crise sanitaire pendant deux ans et demi. Je n'ai en revanche pas eu à connaître de la gestion d'une phase intense de la crise Covid depuis ma prise de fonctions à La Réunion.

Avez-vous été témoin du développement de solutions numériques, surgies du terrain, qui permirent de faire face à l'urgence ?

Il ne faut pas caricaturer la situation. L'administration utilise déjà, depuis de nombreuses années, les solutions numériques les plus courantes : messagerie électronique, réseaux sociaux, et, bien sûr, tous les outils numériques. La crise Covid a cependant accéléré deux mutations : l'usage massif des outils de travail à distance ; la conscience de la nécessité de disposer de données en grand nombre, fiables, analysables et partageables.

Comment s'est passé le passage en télétravail des services de l'État dans votre département ? Cette situation a-t-elle donné lieu à l'adoption, dans l'urgence, d'outils de marché ou de plateformes privées (pas vraiment souveraines) comme Zoom ou WhatsApp ?

Le ministère de l'Intérieur avait déjà déployé de nombreuses solutions nomades, mais la crise Covid a conduit à accélérer le déploiement des terminaux mobiles sécurisés, permettant de travailler à distance en sécurité. Une partie des équipes rapprochées autour du préfet est cependant demeurée présente physiquement, afin, notamment, de permettre la préparation et la mise à la signature des quelques actes nécessitant un formalisme juridique. Quant à l'organisation des audioconférences et visioconférences, elles ont conduit à utiliser le foisonnement des offres privées existantes, avant de pouvoir s'appuyer sur les offres de service de la Dinum ou de la direction du numérique du ministère de l'Intérieur.

Avez-vous le sentiment que cette crise a fait franchir, aux administrations, un palier en termes de compétences et d'agilité numérique ?

Je parlerais plus d'une accélération que d'un franchissement de palier.

De quels outils disposiez-vous pour communiquer à distance avec la cellule interministérielle de crise ou, localement, avec les maires, le conseil régional, le conseil départemental ?

La communication avec la cellule interministérielle de crise (CIC) et les ministères s'est faite par les instruments classiques de la messagerie, du téléphone et par l'usage démultiplié de la visioconférence. Pour mes conférences régulières avec mes partenaires locaux, j'ai, pour ma part, privilégié la conférence téléphonique, la plus économe de ressources et la plus facilement accessible. C'était en tout cas l'instrument le plus adapté pour une diffusion d'informations « descendantes ». Pour des exercices plus participatifs, la visioconférence s'est souvent avérée plus pertinente.

En février ou mars 2020, disposiez-vous, de la part de l'ARS ou de Santé publique France de signaux quant à l'émergence de l'épidémie dans votre département ?

Les premières semaines de la crise Covid ont été très anxiogènes, car nous disposions de peu d'informations fiabilisées, actualisées et normalisées, y compris sur les données les plus sensibles comme la mortalité. Mais ces défauts se sont corrigés rapidement.

De quelles données ou indicateurs disposiez-vous pour connaître les « points chauds » (les territoires les plus touchés par le virus), pour identifier les foyers de contamination potentiels ou les *clusters* émergents ?

Les données fournies par l'ARS et Santé publique France sont progressivement devenues plus fines, nous permettant, notamment, d'analyser les tendances infra-départementales.

De quelles données disposiez-vous pour « territorialiser » les mesures de précaution, port du masque ou couvre-feux ?

Nombre de cas, taux d'incidence : ces données, lorsqu'elles ont été disponibles à l'échelle des communes nous ont servi à territorialiser certaines mesures de gestion en infra-départementale. Mais très rapidement, il a semblé plus simple et plus efficace de fixer des règles s'appliquant à la maille départementale, pour éviter la perte de lisibilité.

Dans son rapport relatif au contrôle qualité de la gestion de crise sanitaire, le Général Lizurey suggérait de procéder à un retour d'expérience détaillé sur l'articulation territoriale de la gestion de crise entre les ARS et les préfetures, sur l'association des collectivités territoriales à la gestion de crise, et sur la répartition des décisions entre administration centrale et territoriale. Quel serait votre retour d'expérience sur ces trois questions ?

La crise Covid a conduit à des évolutions très positives sur ces trois volets, en tout cas pour autant que j'ai pu le constater en Normandie.

La relation entre les préfets et les ARS a été refondée, simplifiée, fluidifiée, notamment pour faire face aux situations de gestion de crise ; les réflexes de coopération développés pendant la crise doivent se transformer en processus courants d'interaction entre deux acteurs complémentaires et non concurrents : le préfet, pilote généraliste et interministériel de la gestion de crise, et l'agence régionale de santé, centre d'expertise sanitaire et de déploiement de solutions techniques.

La relation entre l'État et les collectivités territoriales a été elle aussi resserrée, l'État ayant montré sa capacité à gérer cette crise et à apporter des réponses adaptées à chaque étape de la crise, même si, bien sûr, les décisions ont parfois dû être prises et déployées dans des délais qui ne favorisaient pas totalement la concertation.

Enfin, il me semble que, malgré quelques tâtonnements et erreurs, et peut-être grâce aux retours d'expérience rapides que ceux-ci ont générés, le curseur entre décision nationale centralisée et adaptation locale, à la main des préfets, a été le plus souvent bien positionné.

Technopolitique d'une crise sanitaire États-Unis, Allemagne, Japon, Royaume-Uni

Par Maurice RONAI

Ancien membre de la CNIL

La pandémie a révélé l'impréparation des systèmes de santé et les limites de la « transformation numérique » des administrations. Aux États-Unis, une commission d'enquête parlementaire concluait, en décembre 2022, que « la réponse de la nation à la crise du coronavirus a été affaiblie par une infrastructure de données de santé publique fracturée et obsolète ». Au Japon, la persistance du fax et la faible adoption de la carte MyNumber cristallisent un débat sur la « défaite numérique » du Japon. En Allemagne, le système de santé publique s'est débattu, tout au long de la crise avec un empilement de logiciels et de systèmes d'information. La «*fax Republik*» et un logiciel, Sormas, deviennent ainsi les symboles du « retard numérique allemand » (*digitaler Ruckstand*). Au Royaume-Uni, le numérique public et le système de surveillance épidémiologique, pris en défaut lors des premiers mois de la crise, ont fait preuve de capacités inédites de réactivité et d'innovation.

La pandémie a révélé les failles du numérique public. Aux États-Unis, en Allemagne, au Japon, au Royaume-Uni, notamment, l'heure est aux retours d'expérience¹.

En 2019, quelques mois avant la pandémie, le Global Health Security Index, qui mesure la capacité de 195 pays à se préparer aux futures épidémies et menaces biologiques – plaçait les États-Unis en tête de son classement, suivi par le Royaume-Uni, la France arrivant au onzième rang, l'Allemagne au quatorzième. Ces notations rassurantes, se sont avérées souvent trompeuses².

Au Japon, aux États-Unis comme en Allemagne, le sous-équipement numérique du système de santé ou celui des administrations ont entravé les réponses à la crise

¹ Dans une compilation de 67 évaluations *ex post* et retours d'expérience portant sur les administrations dans 31 pays, l'OCDE pointait, en janvier 2022, « les défis importants rencontrés par les gouvernements nationaux dans la collecte de données auprès des multiples acteurs de la santé impliqués dans la réponse à la crise : absence de normes claires et de processus homogènes pour la communication des données au gouvernement national, variété des systèmes informatiques utilisés par ces différents acteurs, fait que les enquêtes ne reflétaient pas les réalités du terrain », OCDE (2021), « First lessons from government evaluations of Covid-19 responses: A Synthesis ».

² Notamment pour l'une des six capacités évaluées : les capacités de détection et de notification précoces, c'est-à-dire la surveillance en temps réel et les ressources en personnel spécialisé en épidémiologie. Le Global Health Security Index, coproduit par la Nuclear Threat Initiative (NTI) et le Johns Hopkins Center for Health Security, mesure 140 items et évalue six familles de capacités.

sanitaire, ouvrant la voie à une introspection collective et à des révisions des politiques de transformation numérique. Ce qui frappe, dans le cas du Royaume-Uni, c'est le décalage entre une gestion politique chaotique de la crise sanitaire et l'excellence de son système de surveillance épidémiologique.

ÉTATS-UNIS : « UNE INFRASTRUCTURE DE DONNÉES DE SANTÉ PUBLIQUE FRACTURÉE ET OBSOLETE »

Tout au long de crise sanitaire, la presse américaine a pointé les dysfonctionnements numériques du système de santé : l'usage du fax entre les laboratoires et les services de santé publique, en charge du traçage des contacts³ ; des délais de dix jours pour la transmission des résultats des tests ; des informations manquantes comme les adresses des patients, indispensables pour localiser les résurgences du virus.

De mars à mai 2020, les autorités de santé ne publient pas de données nationales sur les décès et les cas au niveau national. Deux initiatives voient le jour pour combler ce vide. Une équipe à l'Université John Hopkins entreprend, dès février, d'agréger et de publier les chiffres des cas et des décès en temps quasi réel : chaque fois qu'une municipalité mettait à jour son décompte, les chiffres s'affichaient sur le tableau de bord. De son côté, le Covid Tracking Project, soutenu par *The Atlantic*, mobilisait des journalistes et des bénévoles pour compiler et maintenir à jour un tableau de bord à partir des pages *web* des services de santé et des conférences de presse dans chacun des États⁴.

En juillet 2020, le *New York Times* déplore « qu'avant de pouvoir gérer la pandémie, les responsables de la santé publique doivent gérer un système de données défaillant qui envoie des résultats incomplets dans des formats difficilement utilisables. Les États-Unis continuent de rencontrer des problèmes causés par leur système de santé fragmenté, un mélange de technologies anciennes et nouvelles et des normes de données qui ne répondent pas aux besoins des épidémiologistes »⁵.

Essayer de construire l'avion tout en le pilotant

Des difficultés de même nature entravent la mise en œuvre du suivi des contacts. En avril 2020, les services de santé des États ne disposaient, au total, que d'environ 11 000 agents pour les opérations de recherche de contacts. Leur nombre passe à plus de 70 000 en décembre 2021. « C'était un peu comme "essayer de construire l'avion tout en le pilotant..." ». La radio publique NPR déplore « une absence de *leadership* fédéral. Comme pour tant d'autres aspects de la pandémie, il n'y avait pas d'approche uniforme. Certains services de santé se sont tournés vers des centres d'appels privés, d'autres se sont appuyés sur des bénévoles »⁶.

³ Seuls 187 laboratoires sur plusieurs milliers disposaient alors d'un système électronique de notification des cas pour alerter automatiquement l'agence de santé publique dès que des cas étaient diagnostiqués.

⁴ En mai 2020, le CDC (voir note de bas de page n°8 ci-après) a publié son premier tableau de bord avec une ventilation État par État des cas et des tests. Le Covid Tracking Project a cessé ses activités en février 2021, après avoir constaté l'amélioration des données officielles.

⁵ "Bottleneck for US Coronavirus Response: The Fax Machine", *The New York Times*, 13 juillet 2020.

⁶ NPR (2021), "Why Contact-Tracing Couldn't Keep Up with The US Covid Outbreak".

Quant au VAMS⁷, le guichet unique ouvert en janvier 2021 par les CDC⁸ pour faciliter l'organisation de la campagne de vaccination, et financé à hauteur de 44 millions de dollars, il connaît de nombreux bogues (rendez-vous annulés au hasard, patients et personnels de santé empêchés d'accès), qui conduisent les États à faire appel à d'autres prestataires plutôt que d'utiliser le VAMS gratuitement⁹.

Politico dresse, en août 2021, un constat détaillé de ces dysfonctionnements : « Le Covid-19 a révélé l'incapacité de ce système bricolé à détecter avec précision quand et où le virus se propageait afin que les responsables de la santé publique puissent intervenir. Ces fissures semblent maintenant encore plus grandes, car le variant Delta rend l'identification rapide des épidémies et des grappes encore plus cruciales pour contenir le virus. Un sentiment de capitulation était courant tout au long de la pandémie. Face à des services de santé sous-financés et en sous-effectif, de nombreux responsables de l'État ont déclaré qu'ils n'étaient pas en mesure d'identifier et de contenir de manière adéquate les épidémies pendant les périodes de pointe. [...] Pour les responsables de la santé publique, la tâche de protéger leurs communautés contre le Covid-19 était comme sauter d'un avion avec un parachute parsemé de trous. Les fonctionnaires ont été contraints d'essayer de réparer leur parachute alors qu'ils étaient en chute libre. Certains ont trouvé un chemin vers le sol. D'autres non »¹⁰.

« Les États-Unis ne savent toujours pas comment suivre une pandémie »¹¹

« Alors que les États-Unis consacrent près d'un cinquième de leur produit intérieur brut aux soins de santé », observe le Pandemic Technology Project du MIT, « ils obtiennent des résultats pires que tout autre pays riche. Les soins de santé américains sont construits sur une mosaïque de systèmes incompatibles et archaïques. Chaque État décide de la manière dont il rapporte les résultats des tests de Covid-19. Le résultat est un système chaotique qui nuit à notre réponse à la pandémie. Les dossiers médicaux sont désordonnés, fragmentés et intensément cloisonnés par les institutions qui les possèdent, à la fois pour des raisons de confidentialité et parce que la vente de données médicales anonymisées est incroyablement rentable »¹².

« Le gouvernement fédéral a investi massivement pour moderniser les systèmes d'information des hôpitaux privés et des prestataires de soins de santé, distribuant plus de 38 milliards de dollars en incitations pour numériser les dossiers de santé des patients », ajoute le *New York Times*. « Alors que le secteur privé modernisait ses opérations et ses données, les services de santé nationaux et locaux se retrouvaient en grande partie avec les mêmes télécopieurs, feuilles de calcul, *e-mails* et appels téléphoniques pour communiquer »¹³.

⁷ Vaccine Administration Management System.

⁸ Centers for Disease Control and Prevention.

⁹ MIT PANDEMIC TECHNOLOGY PROJECT (2021), "What went wrong with America's \$44 million vaccine data system?"

¹⁰ "Inside America's Covid-reporting breakdown", *Politico*, 15 août 2021.

¹¹ Betsy Ladyzhets, "The US Still Doesn't Know How to Track a Pandemic" (2021), Fivethirtyeight.

¹² Cat Ferguson (2021), "It took a pandemic, but the US finally has (some) centralized medical data" *MIT Technology Review*.

¹³ Sharon LaFraniere, "Very Harmful" Lack of Data Blunts U.S. Response to Outbreaks", *New York Times*, 20 septembre 2022.

Une commission d'enquête parlementaire, à l'issue d'une impressionnante série d'auditions¹⁴, concluait, en décembre 2022, que « la réponse de la nation à la crise du coronavirus a été affaiblie par une infrastructure de données de santé publique fracturée et obsolète »¹⁵. Elle identifiait « des limitations dans la manière dont les CDC avaient collecté les données raciales, ethniques et socio-économiques pendant la pandémie, ce qui pourrait rendre plus difficiles la compréhension et le traitement des disparités. Les systèmes de surveillance de la santé publique ne disposent pas de données appropriées et fiables ». Elle recommandait « d'investir dans la modernisation des systèmes de données de santé publique pour les rendre plus flexibles, dynamiques et interopérables », rappelant que le Congrès avait déjà fourni 1,1 milliard de dollars aux CDC pour soutenir l'initiative de modernisation des données de l'agence¹⁶. Pour son rapporteur, « les États-Unis doivent pleinement moderniser leurs systèmes de données de santé publique, non seulement au niveau fédéral, mais aussi au niveau des services de santé locaux, afin que les responsables puissent utiliser des données complètes et à jour pour éduquer le public et éclairer l'élaboration des politiques »¹⁷.

LA GESTION DE LA CRISE SANITAIRE VÉCUE AU JAPON COMME « UNE DÉFAITE NUMÉRIQUE »

Sans confinement ni mesures contraignantes, le Japon était parvenu début 2020 à contenir la propagation. Après plusieurs flambées épidémiques et avec près de 58 000 morts, le Japon médite les échecs, les changements de posture et les revirements de la gestion politique de la crise sanitaire.

En juin 2021, le *Nikkei*, principal quotidien économique, évoque une « défaite numérique »¹⁸. Il s'appuie sur une déclaration du ministre de la Transformation numérique, Takuya Hirai : « Cette défaite numérique est notre dernière chance »¹⁹.

La carte MyNumber est devenue le symbole d'un Japon « numériquement impréparé », selon le *Nikkei*. Cet identifiant à 12 chiffres permet de réaliser des démarches administratives en ligne, d'ouvrir des comptes bancaires et d'autres services nécessitant une vérification d'identité. Le gouvernement avait lancé le projet en 2015 et dépensé 880 milliards de yens (8 milliards de dollars) pour fabriquer et distribuer les cartes. Seule 15 % de la population avait reçu une carte quand l'épidémie avait démarré. La

¹⁴ “Preparing for and preventing the next public health emergency. Lessons learned from the Coronavirus crisis”, Final Report, Décembre 2022.

¹⁵ « L'absence de normes de données communes, ce qui entraîne des données incohérentes et des difficultés à identifier ou à analyser les tendances ; le manque d'interopérabilité entre les différents systèmes de données de santé publique, ce qui ralentit la prise de décision lorsque les responsables de la santé et les hôpitaux doivent saisir manuellement les données dans plusieurs systèmes ; et l'absence totale d'infrastructure informatique de santé publique, ce qui a contraint certains États, au début de la pandémie, à collecter, traiter et transférer manuellement les données d'un endroit à l'autre, parfois par fax ».

¹⁶ L'un des objectifs étant de rendre plus complètes des données importantes, notamment, les données raciales et ethniques.

¹⁷ “Preparing for and preventing the next public health emergency. Lessons learned from the Coronavirus crisis”, Final Report, décembre 2022.

¹⁸ *Nikkei Asia*, “Covid gives Japan ‘last chance’ to reverse digital defeat”, 15 juin 2021.

¹⁹ NHK, “Will new agency save Japan from ‘digital defeat?’”, 2 septembre 2021.

lenteur du déploiement de l'identifiant MYNumber²⁰ a contraint les administrations, pendant la crise, à s'appuyer sur des processus papier et manuels : « Ce système en grande partie inchangé depuis des décennies s'est avéré extrêmement inefficace pendant la pandémie »²¹.

Au cœur des controverses, le programme d'aide financière d'urgence, lancé en avril 2020 (une aide de 100 000 yens attribuée à l'ensemble des résidents) exigeait que les résidents remplissent des formulaires et les envoient par la poste. Les municipalités devaient ensuite imprimer et poster les demandes aux ménages, mettre en place des centres d'appels pour répondre aux demandes de renseignements, et traiter manuellement chaque demande. Les résidents devaient aussi faire des copies de leurs documents d'identité, générant des files d'attente interminables dans les commerces équipés d'imprimantes.

La surveillance épidémiologique a également révélé des faiblesses²². Les décomptes quotidiens des infections étaient parfois incorrects en raison d'un signalement défectueux ou retardé des cas. Au début de la pandémie, les signalements étaient effectués par des médecins et des fonctionnaires remplissant et faxant des formulaires papier. Une méthode informatique a été introduite plus tard, mais elle n'était pas sans défauts non plus, avec de nombreux cas mal rapportés.

En février 2021, on apprend que COCOA, (le StopCovid japonais) n'alertait plus ses utilisateurs quand ils avaient été en contact étroit avec un autre utilisateur testé positif. Le ministre de la Santé admettait alors publiquement que l'application « ne fonctionnait pratiquement plus depuis septembre 2020 », faute de personnel qualifié²³. Le Premier ministre japonais Yoshihide Suga est alors contraint de présenter ses excuses pour l'échec du gouvernement à découvrir à temps une faille technique dans l'application.

Le Japon qui figurait au premier rang des nations technologiques s'interroge depuis au moins une décennie sur la persistance du fax et du *hanko*, ce sceau ancestral qui permet de signer les documents. La presse y scrute, chaque année, le recul du Japon dans les classements internationaux de compétitivité numérique²⁴. La thématique d'un Japon numériquement « à la traîne » a permis au gouvernement Suga de mettre à l'agenda une refonte des procédures administratives, afin de briser les silos construits au sein de chaque ministère au fil des décennies (une fragmentation connue sous le nom de *tatewari gyosei*), et d'unifier l'informatique publique. Une Agence numérique est créée en 2021 : elle supervisera, notamment, l'attribution de la carte MyNumber à l'ensemble de la population d'ici mars 2023, la mise en ligne de 98 % des procédures administratives d'ici 2025, et le transfert des données publiques vers le *cloud*.

En septembre 2022, le ministre japonais de la Transformation numérique, Taro Kono (le troisième en un an), déclarait vouloir mettre fin aux disquettes, encore largement

²⁰ Pour obtenir cette carte, pendant les restrictions liées au Covid, les Japonais devaient prendre rendez-vous : une fois celui-ci obtenu (avec prise d'une photographie, remise d'une photocopie des documents d'identité et création d'un mot de passe), ils devaient attendre ensuite plusieurs mois avant de recevoir leur carte.

²¹ Nikkei, "Asia, Covid gives Japan 'last chance' to reverse digital defeat", 15 juin 2021.

²² NHK, "Will new agency save Japan from 'digital defeat?', 2 septembre 2021.

²³ Des bogues étaient apparus pour la première fois lors de la mise à jour de COCOA en septembre 2020. Ces problèmes étaient alors passés inaperçus. Alors que les problèmes avaient été mis en évidence sur un forum en ligne permettant aux ingénieurs d'échanger leurs opinions, le ministère de la Santé avait tardé à partager les informations avec les développeurs. "Japan gov't Covid-19 app fiasco typifies its chronic IT irresponsibility", Mainichi, 20 avril 2021.

²⁴ Le Japon figure au 29^e rang (sur 69) dans le World Digital Competitiveness Ranking 2022.

utilisées : environ 1 900 articles dans les lois japonaises obligent les entreprises à soumettre des formulaires au gouvernement sur disquette. Une tentative précédente de mettre fin au *hanko* et aux télécopieurs s'était heurtée en 2021 à de vives résistances au sein des administrations comme dans la population²⁵.

LE FAX ET SORMAS, SYMBOLES DU RETARD NUMÉRIQUE ALLEMAND

La société allemande a découvert en 2020 avec stupeur que les laboratoires transmettent les résultats des tests par fax aux 375 centres de santé (*Gesundheitämter*), cellules de base de la gestion de la crise, qui doivent ensuite re-saisir ces données pour gérer les opérations de suivi des contacts, puis les transmettre aux autorités de santé fédérales²⁶.

L'Allemagne s'est débattue, tout au long de la crise, et encore aujourd'hui, avec un empilement de logiciels et de systèmes d'information : Demis et son logiciel client Survnet (pour la déclaration des cas et la notification des résultats des tests), Sormas (pour la recherche et le suivi des contacts), auxquels s'ajouteront Coronawarn (l'équivalent allemand de StopCovid) puis Luca (destiné lui aussi à la recherche des contacts) : un enchevêtrement de logiciels vétustes et d'autres plus récents, mais partiellement inachevés, à l'origine de problèmes aigus d'interfaçage entre outils de gestion locaux, applications de *reporting* et systèmes de surveillance fédéraux.

En janvier 2021, sous le titre « Avec du papier, des stylos et le fax contre Corona », la Deutsche Welle décrit un système embolisé : « Les centres de santé travaillent encore avec des systèmes obsolètes : listes manuscrites et tableurs Excel imprimés. Les données sont échangées par fax, puis re-saisies à la main [...]. Le ministère de la Santé sous Jens Spahn a alloué 50 millions d'euros en 2020 pour la numérisation des centres de santé. Un accès gratuit au logiciel Sormas leur était proposé : le ministre ne peut cependant pas l'imposer. La responsabilité de l'équipement des centres de santé et le choix des outils numériques incombent aux Länder et aux centres de santé eux-mêmes. [...] Le ministre fédéral de la Santé a décidé que les alertes et les données sur ces maladies ne seraient transmises que par voie électronique, déclarant que "le fax a fait son temps". 97 % des bureaux locaux de santé sont connectés à Demis, mais dans une version allégée, encore en phase de test. Seuls certains laboratoires peuvent transmettre par voie numérique les résultats des tests aux personnes concernées [...] Ces dernières semaines, des milliers de rapports ont été mis de côté par les centres de santé. Concentrés sur la recherche des contacts, ils reportaient à plus tard la transmission du nombre d'infections à l'Institut Robert Koch (RKI) *via* Survnet. Et pour compliquer le tout : les centres de santé ne sont pas seulement tenus de transmettre les chiffres sur les contaminations au RKI. Et ils le font, par *e-mail*. Résultat : le RKI a publié à plusieurs reprises dans son rapport de situation quotidien des chiffres d'infection différents de ceux rendus publics par les municipalités ou les Länder. Le gouvernement fédéral est également aux prises avec le système de *reporting* peu fiable. [...] Ces performances pourraient certainement être améliorées avec un outillage numérique approprié »²⁷.

Pour le ministre de la Santé, cet outillage numérique approprié, c'est Sormas²⁸. Jens Spahn presse depuis des mois les centres de santé pour qu'ils installent et utilisent ce logiciel. Sans grand résultat. Les centres de santé tardent à l'utiliser : pour ne pas

²⁵ "Why Japan's war on disks could prove to be another flop", *The Guardian*, 1^{er} septembre 2022.

²⁶ "Gesundheitsämter in der Corona-Krise: Ein unvollständiges Bild", *Netzpolitik*, 26 mars 2020.

²⁷ "Gesundheitsämter: Mit Papier, Stift und Fax gegen Corona", DeutscheWelle, 26 janvier 2021.

²⁸ Un logiciel *open-source*, développé en 2014 pour aider le Nigeria à faire face à l'épidémie Ebola et porté par le laboratoire HZI (Helmholtz Centre for Infection Research).

désorganiser les opérations alors qu'ils font face à une avalanche de cas, parce qu'ils disposent d'autres solutions. Cette situation exaspère la chancelière Merkel. Lors d'une conférence de presse, début 2021, elle interpelle les centres de santé : « Nous devons utiliser le numérique pour tracer les contacts, Sormas et Demis. [...] En collaboration avec les ministres-présidents, nous avons décidé qu'un système commun de suivi des contacts, à savoir Sormas, devrait être installé d'ici début janvier. Cela ne s'est pas fait »²⁹. En mars 2021, devant le Bundestag, elle plaide une nouvelle fois pour la généralisation de Sormas : « Les mois de la pandémie ont révélé de graves faiblesses, qu'il s'agisse de la numérisation au niveau fédéral ou de la mise en réseau numérique des services de santé. Avec beaucoup d'efforts, nous avons maintenant réussi à faire adhérer la grande majorité des Länder au système Sormas. Mais bien trop tard »³⁰. La presse prend le relais du feuilleton Sormas et enquête auprès des centres de santé pour savoir s'ils l'utilisent. Malgré le Pacte pour le service public de santé³¹, ces derniers continuaient en 2021 (et pour certains en 2022) d'ignorer le logiciel Sormas.

Dans un retour d'expérience, le Conseil des experts du ministère de la Santé déplore « l'absence de solutions numériques adéquates pour la gestion des contacts. Une solution intégrée compatible pour la gestion des personnes de contact, tant pour les services de santé locaux que dans le cadre du logiciel de notification utilisé en commun au niveau régional et fédéral (RKI), est nécessaire de toute urgence »³².

Sormas et la persistance du fax dans la gestion de la pandémie deviennent ainsi les marqueurs du « retard numérique allemand » (*digitaler Ruckstand*). La presse ironise sur la « *fax Republik* »³³. Le Conseil des experts du ministère de l'Économie élargit ce diagnostic technopolitique à l'ensemble des administrations et même de la société : « La pandémie a révélé le retard de l'Allemagne en matière de transformation numérique dans de nombreux domaines. La pandémie a mis en évidence des déficits partout : administrations, entreprises, écoles, universités, tribunaux. Dans le cadre de la pandémie, ces faiblesses ont massivement empêché la politique de répondre efficacement à la crise et de limiter les

²⁹ « Plusieurs Länder nous ont dit : "Nous avons d'autres systèmes équivalents et nous voulons des interfaces avec le système d'information de l'Institut Robert Koch". Et ils disent maintenant : "Nous allons passer à Sormas, mais pas tout de suite". Ou bien, comme en Rhénanie-Palatinat : "On ne peut pas passer comme ça du logiciel Mikado, que nous utilisons, à Sormas". Je plaide pour que tout le monde se décide très rapidement en faveur d'un système commun... Sinon, le développement ultérieur du système ne sera jamais harmonieux, car Mikado ne sera pas aussi performant que Sormas, et parce qu'il faudrait refondre l'interface de SurvNet encore et encore. En d'autres termes, une approche nationale uniforme est indispensable. Je continuerai de dialoguer avec les centres de santé, car nous avons renforcé le suivi des contacts. Tous ceux qui ont installé un système numérique – en particulier Sormas – peuvent réaliser le suivi des contacts dans les centres d'appels beaucoup plus facilement », Conférence de presse de la chancelière Merkel, 21 janvier 2021.

³⁰ Déclaration de la chancelière Merkel devant le Bundestag, 25 mars 2021.

³¹ L'ÖGD Pakt, conclu entre le gouvernement fédéral et les Länder, prévoit 800 millions d'euros d'ici à 2026 pour la numérisation et la mise en réseau des centres de santé.

³² « La documentation des contacts, en particulier au début de la pandémie en Allemagne, se faisait encore à la main dans de nombreux bureaux ou uniquement dans une application numérique locale (par exemple dans MS-Excel) qui ne permet pas la transmission dans le logiciel de déclaration lorsque les contacts deviennent des cas. En cas de foyers importants, cette procédure entraîne rapidement un travail de documentation inutile, la perte d'informations et des retards dus à la fusion parfois manuelle de déclarations provenant de différentes sources », Conseil d'experts pour l'évaluation de l'évolution du système de santé (2021) "Digitalisierung für Gesundheit, Ziele und Rahmenbedingungen eines dynamisch lernenden Gesundheitssystems".

³³ « Quand on parcourt les administrations, on a l'impression d'être transporté dans les années 1970. Les télécopieurs ronronnent, des coursiers distribuent le courrier dans les couloirs. La pandémie a mis en lumière la catastrophe allemande en matière d'e-gouvernement », "Digitale Verwaltung: Deutschland hat das Faxen dicke", *Handelsblatt*, 6 novembre 2021.

dommages économiques [...]. Il serait toutefois erroné de se concentrer uniquement sur le déploiement de moyens. Le retard de l'Allemagne en matière de numérisation est moins dû à un manque de moyens financiers qu'à des défaillances organisationnelles »³⁴.

Le *digitaler Rückstand* s'imposa finalement comme un des thèmes de la campagne législative. La coalition tricolore, qui parvient au pouvoir fin 2021, avait fait de la transformation numérique une de ses priorités. En janvier 2022, le comité d'experts Corona, tout juste créé par le nouveau gouvernement, équivalent de notre Conseil scientifique, consacre un de ses premiers avis aux « Mesures urgentes pour améliorer la collecte des données et la numérisation » : « La vague actuelle d'Omicron, avec son changement de dynamique infectieuse, renforce et met en évidence le déficit en matière des données en temps réel. L'Allemagne ne dispose toujours pas d'un système de saisie des données individuelles des patients. Pour l'instant, l'Allemagne se sert en priorité d'études étrangères pour évaluer la variante Omicron, par exemple en Grande-Bretagne, au Danemark et aux États-Unis, qui mettent à disposition des données à haute résolution temporelle sur l'infectiosité et la gravité de la maladie. L'Allemagne a besoin d'une numérisation complète du système de santé avec extraction, évaluation et publication de données anonymisées en temps réel. La mise en place du dossier patient électronique doit être mise en œuvre avec la plus haute priorité »³⁵.

En 2022, le public allemand découvre le « *Corona-Blindflug* » : médecins et experts alertent sur un système et des autorités de santé qui, faute de données, « navigueraient à vue » pour enrayer Omicron³⁶. Novembre 2022 marque la fin du feuilleton Sormas. « Autrefois salué comme une solution miracle, Sormas ne sera plus financé par le gouvernement fédéral à partir de 2023. Un autre chapitre de l'échec numérique »³⁷.

REVERS ET SUCCÈS D'UNE ÉPIDÉMIOLOGIE BRITANNIQUE « DE CLASSE MONDIALE »

Le fait marquant, dans le cas du Royaume-Uni, est probablement l'écart entre la gestion politique de la crise sanitaire, souvent erratique³⁸, et l'excellence de son système de surveillance épidémiologique : pris en défaut lors des premiers mois de la crise, celui-ci a fait preuve de capacités inédites de réactivité et d'innovation.

C'est une équipe britannique, celle de Neil Ferguson à l'Imperial College de Londres, qui alerte en février 2020 sur la sous-estimation par la Chine de la propagation réelle du virus. Ses projections indiquent en mars 2020 qu'en l'absence de mesures de freinage, le virus pourrait causer 510 000 morts au Royaume-Uni. Malgré cette alerte, le gouvernement britannique tarde à décider le confinement, qui n'intervient que le 24 mars³⁹.

À la sortie du premier confinement, comme la plupart des pays européens, le gouvernement britannique met en place en Angleterre une « force sanitaire » (*Test and Trace*) pour remonter les contacts, tester les personnes susceptibles d'avoir été contaminées et

³⁴ Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), « Digitalisierung in Deutschland – Lehren aus der Corona-Krise ».

³⁵ Quatrième avis du Conseil d'experts du gouvernement fédéral sur le Covid-19, « Mesures urgentes pour améliorer la collecte des données et la numérisation ».

³⁶ « Intensivmediziner: Krankenhäuser im Corona-Blindflug », WDR, 15 janvier 2022.

³⁷ « Sormas : Pandemie-Bekämpfungssystem vor Aus », ZDF, 17 novembre 2022.

³⁸ Le 5 juin, le Royaume-Uni est le premier et seul pays européen à dépasser le seuil des 40 000 décès dus au Covid-19 à l'issue de la première vague, et le deuxième pays au monde après les États-Unis.

³⁹ L'équipe de Neil Ferguson élabore le 12 mars 2020 des projections pour la France : on sait qu'elles eurent un poids décisif dans le processus de décision qui conduira au premier confinement.

les isoler⁴⁰. Après une décennie d'austérité et de contraction des effectifs des services de santé publique, le gouvernement confie cette mission à trois entreprises privées : le cabinet Deloitte, pour l'organisation des tests, Serco et Sitel pour les centres d'appel et la recherche des contacts. Pour un budget initial (tests et traçage) de 12 milliards de livres. Quelque 25 000 personnes sont recrutées par Serco et ses sous-traitants. Si le programme "Test and Trace" a renforcé la capacité de tests de 2 000 par jour à environ 300 000 par jour, les délais de transmission des résultats limitent l'efficacité de la recherche de contacts. Entre 25 % et un tiers des personnes qui ont été en contact avec une personne testée positive pour le virus restent en dehors des radars et ne sont pas contactées par les centres d'appel. Selon le *New York Times*, « le déploiement de la recherche de contacts porte la marque des autres efforts désastreux de la Grande-Bretagne pour répondre au coronavirus : des données aléatoires, un accent mis sur le théâtre politique et une forte dépendance à l'égard du secteur privé »⁴¹.

Un rapport parlementaire porte en mars 2021 un jugement sévère sur le programme NHS Test and Trace (NHST&T), dont le coût total a atteint 43 milliards d'euros sur deux ans. « NHST&T publie de nombreuses données sur les performances, mais celles-ci ne démontrent pas à quel point le test et le traçage sont efficaces pour réduire la transmission du Covid [...] NHST&T a toujours du mal à faire correspondre systématiquement l'offre et la demande pour ses services de tests et de traçabilité, ce qui entraîne soit des performances inférieures aux normes, soit une capacité excédentaire [...] S'il a dû agir rapidement, NHST&T reste encore trop tributaire de sous-traitants et de personnels temporaires. NHST&T doit réduire considérablement sa dépendance à l'égard de consultants coûteux »⁴².

Tirant les « premières leçons de la réponse du gouvernement à la pandémie de Covid-19 », la Commission des comptes publics de la Chambre des Communes s'interrogeait, en juillet 2021, sur « la capacité du gouvernement à prendre des décisions éclairées », une capacité « entravée par la lenteur des progrès réalisés pour résoudre les problèmes de longue date liés aux données et à l'héritage informatique [...] Ces problèmes ont atteint leur paroxysme pendant la pandémie »⁴³. La Commission des comptes publics pointe ainsi une série de défaillances. « En raison de l'absence ou de l'inexactitude des numéros de téléphone figurant dans les dossiers des patients du NHS, les services en charge de la recherche des contacts et de leur accompagnement pour l'isolement n'ont pas pu assurer le suivi des lettres adressées à 375 000 personnes vulnérables par des appels téléphoniques [...] Les autorités locales n'ont pas eu accès à des informations clés provenant de NHS Test and Trace et les responsables de la santé publique n'ont pas reçu d'informations sur les tests effectués dans des laboratoires privés [...] Ces informations manquantes limitaient l'utilité des résultats des tests pour comprendre et gérer les épidémies au sein d'une communauté, mettant ainsi la santé publique en grand danger ».

⁴⁰ L'Écosse et le Pays de Galles s'étaient tenus à l'écart ce dispositif, préférant s'appuyer sur les collectivités et les services de santé locaux.

⁴¹ « En près de trois semaines depuis le début du système, certains traceurs de contact n'ont pas réussi à atteindre une seule personne. Certains gestionnaires d'appels, dispersés dans des bureaux et des maisons loin des personnes avec lesquelles ils parlent, ont tenté par erreur d'envoyer des patients en Angleterre vers des sites de test de l'autre côté de la mer en Irlande du Nord. Et un ministre du gouvernement a menacé lors d'une conférence téléphonique de cesser de se coordonner avec les dirigeants locaux sur le système de suivi des virus s'ils évoquaient publiquement ses échecs », "England's 'World Beating' System to Track the Virus Is, Anything But", *New York Times*, 17 juin 2020.

⁴² House of Commons, Committee of Public Accounts, "Unimaginable cost of Test & Trace failed to deliver central promise of averting another lockdown", 10 mars 2021.

⁴³ House of Commons Committee of Public Accounts, "Initial lessons from the government's response to the Covid-19 pandemic", Thirteenth Report, juillet 2021.

Ces défaillances ne doivent pas éclipser la capacité globale britannique à assurer la continuité des services publics. Selon le *think tank* Institute for Government (IFG), « le gouvernement a bien utilisé la technologie numérique au début de la crise pour gérer les défis émergents, souvent inédits... de nombreux nouveaux services ont été fournis en un temps record et le travail de l'administration centrale s'est poursuivi avec seulement quelques petits accroc »⁴⁴. Parmi les réussites, l'IFG mentionne le basculement des administrations vers le télétravail⁴⁵, les programmes d'aide financière du ministère des Recettes et des Douanes⁴⁶, l'utilisation de la visioconférence par les tribunaux⁴⁷, Gov.uk – le point d'accès unique aux services des administrations⁴⁸. *Satisfecit* aussi pour les « plateformes numériques du gouvernement qui ont permis aux administrations centrales et aux collectivités locales de répondre à la crise rapidement et efficacement »⁴⁹. « La pandémie a montré », nuance toutefois l'IFG, « que la technologie, bien que précieuse, n'est pas une panacée pour tous les problèmes ». L'IFG pointe ici l'échec de l'application de notification des contacts, le StopCovid britannique⁵⁰.

S'agissant des aspects proprement épidémiologiques, un rapport parlementaire souligne, en octobre 2021, « l'absence de données adéquates sur la propagation du Covid-19, en raison de l'insuffisance de l'opération de dépistage au Royaume-Uni » et « une confiance excessive dans des modèles mathématiques spécifiques alors qu'il y avait trop d'incertitudes »⁵¹. Pour comprendre « l'un des plus importants échecs de santé publique au Royaume-Uni », le rapport consacre de longs développements aux données qui ont manqué ou qui n'ont pas été suffisamment ou adéquatement partagées. « Pour un pays disposant d'une expertise de classe mondiale en matière d'analyse de données, faire face à la plus

⁴⁴ Whitehall Monitor 2021, Institute for government, 21 janvier 2021.

⁴⁵ « Les ministères ont dû s'adapter à une échelle sans précédent. Même si tous les ministères disposaient avant la crise de dispositifs pour le travail à distance, la part de fonctionnaires travaillant à domicile un jour donné ne dépassait pas 3 %. Ce chiffre est rapidement passé à plus de 90 % pour tous les ministères. L'absence d'une plate-forme standard pour la visioconférence dans l'ensemble de l'administration a constitué un problème crucial ». Au moins cinq plateformes différentes étaient utilisées par défaut dans différentes parties de l'administration, et de nombreux ministères empêchaient activement leur personnel d'utiliser les plateformes utilisées par d'autres. Le Government Digital Service a lancé le Project Unblock pour résoudre ce problème et faciliter les échanges entre fonctionnaires. Le 15 juillet, une seule plateforme (Microsoft Teams) était accessible aux fonctionnaires de tous les services.

⁴⁶ Pour le chômage partiel (“Coronavirus Job Retention Scheme”), l'aide aux indépendants (“Self-Employed Income Support Scheme”) et aux arrêts-maladie (“Statutory Sick Pay Scheme”). « Ces systèmes ont été mis en place en l'espace de quelques semaines : entre mars et décembre 2020, ils ont géré des paiements d'une valeur de plus de 69,4 milliards de livres (82 Mds Euros) ».

⁴⁷ Déployée entre avril et juillet dans la plupart des tribunaux, avec toutefois « des préoccupations importantes soulevées à propos des procédures pénales virtuelles pour des questions d'équité ».

⁴⁸ « Pendant la crise, les organisations gouvernementales ont créé de nouveaux sites *web* et des tableaux de bord en ligne qui ont fourni des informations en temps réel aux fonctionnaires et au public ». Fin mai, le gouvernement avait lancé 69 nouveaux services. La plupart d'entre eux avaient des fonctions étroites qui répondaient à des besoins nouveaux et spécifiques.

⁴⁹ Depuis sa création en décembre 2011, le Government Digital Service a développé un ensemble de composants et de processus numériques standard réunis sous le label “Government as a Platform”, qui ajoutent des fonctions spécifiques à d'autres services : en particulier Notify (une messagerie automatisée), Pay (un service de paiement) et Verify (garantie d'identité). « Ces composants ont eu des résultats mitigés, mais ont vraiment montré leur valeur pendant la crise ».

⁵⁰ Cet épisode révèle « les risques liés à l'application d'une nouvelle approche technologique à un nouveau problème. Les solutions numériques réussies fonctionnent lorsque la technologie ou le problème sont déjà bien compris. Dans tous les cas, le point de départ doit être le problème, jamais la technologie », *Idem*.

⁵¹ “The House of Commons and Science and Technology Committee and Health and Social Care Committee Coronavirus: lessons learned to date”, Sixth Report, 12 octobre 2021.

grande crise sanitaire depuis cent ans avec pratiquement aucune donnée à analyser a été un revers presque inimaginable ».

En matière de données, le sursaut britannique est spectaculaire. En octobre 2020, le National Core Studies (NCS) est mis en place « pour garantir que les questions critiques peuvent être répondues rapidement et au mieux de nos capacités »⁵². Le NCS s'organise autour de six programmes d'études, pilotés par huit responsables : « Épidémiologie et surveillance⁵³, Transmission et environnement⁵⁴, Infrastructure des essais cliniques⁵⁵, Immunité⁵⁶, Santé et bien-être longitudinal⁵⁷, Données et connectivité »⁵⁸. Le NCS peut s'appuyer sur la toute nouvelle agence de santé publique, UK Health Security Agency, issue de la fusion de Public Health England, du NHS Test and Trace et du Joint Biosecurity Center.

UN SYSTÈME DE SURVEILLANCE « SANS PAREIL À L'ÉCHELLE MONDIALE »

Cet effort de gouvernance et de structuration va s'avérer décisif. Il va permettre, par exemple, la mise en place et le financement d'études répétées de prévalence auprès d'échantillons aléatoires de la population, comme l'ONS Covid Infection Survey et les études React. L'ONS Covid Infection Survey, piloté par l'Office for National Statistics, était une étude de cohorte à l'échelle du Royaume-Uni. Un chargé d'enquête se rendait périodiquement dans près de 100 000 foyers pour administrer un questionnaire, remettre des kits de test (prise de sang et test nasal), puis les récupérer une fois les prélèvements effectués. En mars 2021, l'enquête avait collecté plus de 3,5 millions d'échantillons provenant de plus de 200 000 ménages britanniques différents. Les études React, pilotées par l'Imperial College, pour leur part, examinaient la prévalence du virus dans la population. Dans le cadre de React-1⁵⁹, chaque mois, 100 000 foyers étaient sélectionnés au hasard et recevaient des kits d'auto-prélèvement : les résultats étaient analysés ensuite pour estimer le nombre de personnes infectées à un moment donné dans l'ensemble de la population, et calculer le taux de reproduction. En mars 2022, à l'issue des 19 vagues, React-1 avait recueilli et analysé les tests de 1 542 510 adultes. Dans le cadre de React-2⁶⁰ un million de personnes, sélectionnées de manière aléatoire, ont accepté de réaliser un test sérologique rapide. Cette étude a permis de comprendre, au fil du temps, combien

⁵² « Le but n'est pas d'essayer de répondre à toutes les questions ou de couvrir toute la recherche mais de s'assurer que nous disposons des informations clés dont nous avons besoin maintenant et pour les prochains mois afin d'orienter les politiques et les questions opérationnelles ». Sir Patrick Vallance, conseiller scientifique en chef du gouvernement, National Core Studies commencement letter, 28 octobre 2020.

⁵³ « Collecter et analyser des données pour comprendre comment le Covid-19 affecte le Royaume-Uni, y compris la prévalence du Covid-19 dans la population générale et son évolution au fil du temps, ainsi que les impacts économiques et sociétaux du Covid-19 ».

⁵⁴ « Comprendre la transmission du Covid-19 sur le lieu de travail, dans les transports et dans les lieux publics ».

⁵⁵ « Accélérer les essais Covid-19 à grande échelle pour les médicaments et les vaccins ».

⁵⁶ « Comprendre l'immunité contre le Covid-19 en prédisant le risque individuel, en travaillant pour se protéger contre l'infection, en prévenant la réinfection et en se préparant aux futurs défis pandémiques ».

⁵⁷ « Comprendre les impacts à long terme de la Covid-19 sur la santé mentale, physique et économique ».

⁵⁸ « Rendre les données sanitaires et administratives à l'échelle du Royaume-Uni disponibles et accessibles à tous ».

⁵⁹ Real-time Assessment of Community Transmission Study.

⁶⁰ A Nationwide Coronavirus Antibody Study.

de personnes avaient été infectées, d'identifier les groupes les plus à risque, de mesurer le déclin des anticorps au fil du temps, et l'impact du programme de vaccination sur la prévalence des anticorps dans la population⁶¹.

C'est aussi dans le cadre du NCS qu'ont été coordonnés le programme de surveillance des eaux usées⁶² (qui couvrait jusqu'à 74 % de la population à son apogée début 2022⁶³) ou les opérations de séquençage pour confirmer les variants et permettre des analyses virologiques détaillées. « Le Royaume-Uni a multiplié les séquençages du virus, à un rythme sans pareil à l'échelle mondiale. Depuis mai 2020, les Britanniques ont assuré plus d'un quart de tous les séquençages du Sars-CoV-2 réalisés dans le monde entier, bien qu'ils n'aient enregistré que 4 % des résultats positifs », rapporte *The Economist*⁶⁴. Le Covid Infection Survey et React permettaient de réaliser un séquençage représentatif des souches du virus en circulation. Selon l'épidémiologiste suisse Emma Hodcroft, « ce que le Royaume-Uni a fait avec le séquençage est le *Moonshot* de la pandémie. Ils ont décidé qu'ils allaient faire du séquençage et ils ont tout simplement mis en place un programme absolument incroyable à partir de rien »⁶⁵.

Les conseils scientifiques et les autorités de santé du monde entier se sont largement appuyés sur les données britanniques pour percer le brouillard épidémiologique.

« S'il y a quelque chose dans la réponse du Royaume-Uni au Covid-19 dans lequel nous avons excellé [*world-beating*], c'est bien notre système de surveillance », observe le *Guardian*. « De l'OMS aux CDC aux États-Unis, les experts de santé publique du monde entier ont rendu hommage aux capacités britanniques de suivi des infections, et largement tiré parti de nos données »⁶⁶.

Paradoxe britannique : alors que la Grande-Bretagne avait mis au point des outils de surveillance épidémiologique performants, le ministre de la Santé annonçait en mars 2022 l'arrêt du financement de l'étude React-1 et de plusieurs autres projets de recherche⁶⁷. Cette décision est accueillie avec consternation par les scientifiques du monde entier. Pour Sylvia Richardson, présidente de la Royal Statistical Society, l'ONS Covid Infection Survey et React sont uniques au monde. Nous devrions en être fiers. Le gouvernement dit que nous devons apprendre à vivre avec le Covid, mais pour apprendre à le faire, nous avons besoin de données suffisamment agiles et suffisamment fiables, comme celles des

⁶¹ « Les résultats hebdomadaires de ces enquêtes étaient au cœur des analyses épidémiologiques ; même si elles n'étaient pas disponibles aussi rapidement que les données du dépistage de masse (produites quotidiennement), elles fournissaient une estimation décalée de la prévalence dans la population. L'analyse épidémiologique a donc continuellement triangulé les études de surveillance les plus représentatives (mais décalées) avec les données de cas de test les plus récentes (mais souvent biaisées) », « A technical report for future UK Chief Medical Officers, Government Chief Scientific Advisers, National Medical Directors and public health leaders in a pandemic », décembre 2022.

⁶² Environmental Monitoring for Health Protection.

⁶³ Il n'a pas été possible, toutefois, « de standardiser de manière cohérente des échantillons comparables entre et au sein des sites, de sorte que la surveillance des eaux usées n'a pas été utilisée pour les estimations de prévalence », « Technical report on the Covid-19 pandemic in the UK », décembre 2022.

⁶⁴ *The Economist*, « Britain has long been a leader in genome-sequencing », 29 janvier 2022.

⁶⁵ « US Is Blind to Contagious New Virus Variant, Scientists Warn », *The New York Times*, 6 janvier 2021.

⁶⁶ « World-beating? Testing Britain's Covid response and tracing the explanation », *The Guardian*, 12 mars 2022.

⁶⁷ Comme l'application Zoe Covid, qui permet, avec ses 800 000 contributeurs réguliers, de comprendre les symptômes ; l'étude Siren qui suit les infections chez les professionnels de santé ; l'étude Vivaldi de l'University College London, qui suit les infections dans les EHPAD ; ou l'enquête CoMix sur les contacts sociaux, menée par la London School of Hygiene and Tropical Medicine.

enquête ONS et React »⁶⁸. Pour le Professeur Marc Lipsitch, directeur scientifique du tout nouveau Centre américain de prévision et d'analyse des épidémies, « le Royaume-Uni peut être fier à juste titre du système dont il dispose. D'un point de vue scientifique, React et l'ONS Covid Infection Survey ont fourni au Royaume-Uni un niveau de connaissance de la pandémie qui était exceptionnellement bon. Les échantillons aléatoires sont l'étalon-or pour comprendre la pandémie. La meilleure façon de se préparer aux futures vagues ou à d'autres virus est de maintenir cette capacité »⁶⁹.

BIBLIOGRAPHIE

Blog QuelleForceSanitaire, <https://quelleforcesanitaire.blogspot.com/>

OCDE (2022), "First lessons from government evaluations of Covid-19 responses: A synthesis".

PITTET D. *et al.* (2021), « Mission indépendante nationale sur l'évaluation de la gestion de la crise Covid-19 et sur l'anticipation des risques pandémiques ».

« Réponses numériques à la crise sanitaire » (2021), *Annales des Mines - Enjeux numériques*, n°14, juin.

⁶⁸ "World-beating? Testing Britain's Covid response and tracing the explanation", *The Guardian*, 12 mars 2022.

⁶⁹ *Idem.*

Structuration évolutive d'une surveillance multisource pour répondre à une infection émergente : l'expérience française face à la Covid-19

Par Julie FIGONI, au nom du groupe Surveillance de la Covid-19
Direction des maladies infectieuses, Santé publique France

L'émergence de la Covid-19 a confronté l'ensemble des pays à de nombreux défis tant sanitaires qu'économiques, sociétaux et politiques. L'un d'entre eux a été le déploiement rapide d'un système de surveillance multisource réactif, adaptable au cours du temps, permettant de produire les indicateurs épidémiologiques nécessaires à l'aide à la gestion de l'épidémie. Cet article décrit la construction du système de surveillance de la Covid-19 en France par Santé publique France et ses partenaires à partir du mois de janvier 2020 et son évolution au cours de la pandémie. La progression rapide des connaissances sur le Sars-CoV-2, en particulier sur sa transmission, l'infection qu'il provoque, les populations qu'il affecte le plus et les différents facteurs de risque de maladie, d'hospitalisation ou de décès, a rendu le défi d'autant plus grand, nécessitant une adaptation continue des modalités de surveillance et des mesures de prévention contre la diffusion du virus.

Lors de l'apparition d'une maladie émergente, trois phases peuvent se succéder : l'introduction de l'agent pathogène en cause dans un territoire, sa diffusion (limitée dans un premier temps, puis soutenue au sein de la population) et sa pérennisation. Afin d'aider à mettre en place les mesures de gestion pour éviter ou ralentir le passage d'une phase à la suivante, un système de surveillance doit être déployé au plus tôt après la détection de l'émergence.

Le premier objectif de la surveillance doit être la détection rapide des premiers cas sur le territoire à des fins d'investigation et de mesures de contrôle rapides. Si une transmission interhumaine est suspectée (puis documentée), lorsque les premiers cas, souvent sporadiques, sont détectés, le second objectif est d'éviter l'apparition de chaînes de transmission secondaires et de cas groupés. Pour cela, l'investigation des cas doit alors intégrer l'identification et le suivi de l'ensemble des personnes contacts qu'ils ont pu contaminer (*contact-tracing*).

Dans les premières phases de l'émergence, les mécanismes de transmission ne sont pas nécessairement connus (mode de transmission, période d'infectiosité au regard des manifestations cliniques, contagiosité des personnes asymptomatiques, etc.). Il est donc nécessaire d'émettre des hypothèses sur la base de la description des premiers cas et d'expériences passées. Ce sont ensuite les résultats de la recherche (clinique, microbiologique, etc.) et des investigations épidémiologiques autour des premiers cas qui permettent de mieux caractériser le phénomène et d'affiner au mieux les outils de la surveillance et de gestion.

Lorsque des chaînes de transmission sont découvertes et se multiplient, il est important de poursuivre l'identification des cas et de leurs contacts afin de ralentir la diffusion de la maladie sur le territoire. Cela est d'autant plus important que tous les outils de prévention à l'échelle d'une population ne sont pas nécessairement disponibles dans les premiers temps d'une épidémie (*a fortiori* d'une pandémie liée à un virus émergent), en particulier la vaccination. Néanmoins, dès l'identification des premiers cas, il est nécessaire d'anticiper l'évolution de la surveillance pour être en mesure d'apprécier l'ampleur de la diffusion de la maladie et en évaluer l'effet potentiel sur la population et le système de santé.

La construction par Santé publique France¹ du système de surveillance de la Covid-19 en France s'est basée sur les expériences existantes en matière de surveillance épidémiologique des maladies infectieuses, qu'il s'agisse de modalités existantes concernant les risques d'importation de maladies émergentes (Ebola, Sars, MERS-CoV, A(H1N1)) ou de suivi d'épidémies d'infections respiratoires saisonnières (grippe, infections à VRS...), voire d'événements exceptionnels non infectieux tels que la canicule.

De manière très réactive devant l'ampleur et la rapidité de la propagation de l'épidémie, des systèmes de surveillance existants ont été adaptés et complétés par la mise en place de nouvelles modalités, adaptées aux caractéristiques de cette infection émergente et des besoins d'action en santé publique. À la dimension individuelle de la surveillance initiale centrée autour des cas s'ajoute alors une dimension populationnelle, les deux types de surveillance ayant coexisté pendant plusieurs mois.

Notre objectif dans cet article est de décrire la construction, au fil de l'évolution de l'épidémie, du dispositif de surveillance multisource pour l'aide à la décision, son adaptation progressive, ses forces et ses limites dans un contexte de pandémie².

CHRONOLOGIE DE LA CONSTRUCTION DE LA SURVEILLANCE DE LA COVID-19

Phase précédant l'introduction du Sars-CoV-2 en France : détecter une potentielle introduction

Les premières informations concernant un *cluster* de pneumopathie d'origine inconnue à Wuhan ont été diffusées fin décembre 2019 avant que les autorités de santé chinoises alertent l'OMS de manière formelle le 31 décembre 2019. Dès le 10 janvier 2020, Santé publique France, en lien avec le ministère des Solidarités et de la Santé (MSS) et en collaboration avec le Centre national de référence-virus des infections respiratoires (CNR-VIR), les cliniciens experts des maladies émergentes de la mission COREB (Coordination opérationnelle – risque épidémique et biologique) et les infectiologues, élaborait une première définition de cas d'infection par le nouveau coronavirus. Cette définition de cas permettait de structurer et d'organiser la prise en charge des signalements de cas suspects d'infection par le Sars-CoV-2. Elle comprenait une définition pour les cas possibles, probables et confirmés adaptée de la définition de cas utilisée pour le MERS-CoV. Une technique diagnostique fiable et sensible était mise au point par le CNR-VIR le 16 janvier 2020.

¹ Santé publique France a pour missions, entre autres, la mise en place et la coordination de la surveillance des maladies, ainsi que la prévention et l'alerte sanitaire. Cette agence d'expertise scientifique est constituée d'un siège en région parisienne et d'équipes en région afin d'assurer la continuité entre les missions d'expertise et les mesures de gestion relatives à la santé au sein des territoires.

² Les résultats issus de ce dispositif ne sont pas détaillés dans cet article.

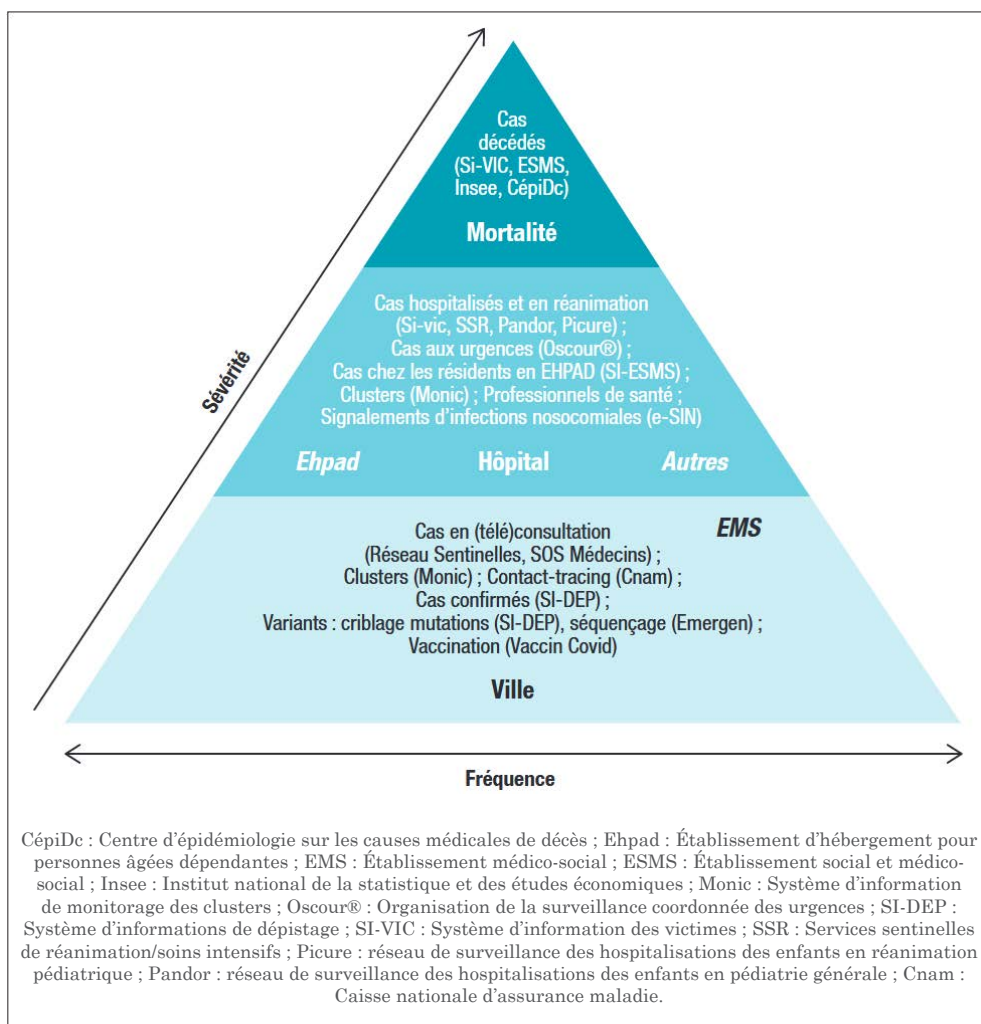


Figure 1. Pyramide de la surveillance de la Covid-19 en France.

Les enjeux du système de surveillance étaient, à ce stade, de pouvoir détecter tous les cas d'introduction de cette nouvelle infection respiratoire sur le territoire national, afin d'éviter une transmission autochtone de la maladie, avec une remontée centralisée au niveau national des signalements, et d'enrichir les connaissances disponibles.

Phase d'introduction : éviter les chaînes de transmission autochtones

Les trois premiers cas ont été confirmés par le CNR-VIR le 24 janvier 2020. La définition de cas a ensuite évolué avec les connaissances sur sa diffusion au plan international. Chaque cas confirmé donnait alors lieu à une investigation pour l'identification de l'ensemble des personnes contacts à risque sur le territoire, afin d'éviter ou d'interrompre toute chaîne de transmission par l'isolement, le dépistage des personnes contacts asymptomatiques et le diagnostic des personnes contacts en cas de symptômes.

Premières chaînes de transmission – premiers regroupements de cas (*clusters*) : éviter la diffusion

Début février 2020, une première chaîne de transmission locale a été identifiée : les investigations réactives autour des cas et l'isolement des personnes contacts ont permis de l'interrompre. Au total, douze cas ont été confirmés dans une station de sports d'hiver dans les Alpes. Si le nombre total de cas confirmés est resté limité durant cette période en France, le système en place, très sensible, a permis l'identification d'un grand nombre de cas suspects, mettant en exergue la nécessité de faire rapidement évoluer l'outil de recueil d'informations. Un outil, Go.Data³, a été adapté et mis en place afin de recueillir au sein d'une même base de données les informations sur les cas suspects et leurs contacts. En parallèle, afin d'augmenter le volume de tests, la technique diagnostique a été progressivement transférée par le CNR-VIR aux laboratoires hospitaliers, puis aux laboratoires de ville. Devant le nombre croissant de laboratoires acquérant la technique diagnostique, et l'augmentation du nombre de tests réalisés, le système de surveillance a évolué : un circuit d'envoi de tous les résultats des laboratoires hospitaliers vers les ARS et Santé publique France a été mis en place à partir de la fin du mois de février 2020. Le réseau 3-Labos, déjà utilisé pour la surveillance de plusieurs maladies infectieuses et composé de laboratoires privés centralisateurs, représentant une part importante des prélèvements réalisés hors hôpitaux sur le territoire⁴ a été également sollicité, permettant ainsi une mise à disposition rapide des résultats des RT-PCR dès le 14 mars 2020. Bien que ne couvrant qu'une proportion des prélèvements réalisés sur le territoire, le réseau a permis la production du taux de positivité, l'un des premiers indicateurs de circulation du virus et son suivi dans le temps.

Phase de diffusion et de circulation du virus

Un premier *cluster* dans l'Oise, puis un événement de super-propagation dans le Haut-Rhin, donnant lieu à un nombre exponentiel de cas de Covid-19 et à des chaînes de transmission dans de très nombreuses régions, ont été détectés fin février 2020. Dans ce contexte de diffusion, les outils de détection des cas et de suivi des contacts en place ont été rapidement dépassés, engendrant l'impossibilité de mener autour de chaque cas et sur l'ensemble du territoire des actions d'identification des contacts et la mise en place de mesures individualisées (*contact-tracing*). Les objectifs ont alors été adaptés à une surveillance populationnelle visant à suivre l'impact de la maladie en termes de dynamique temporo-spatiale, de sévérité et ses conséquences sur le système de santé tout en poursuivant l'identification des cas et de leurs contacts à risque pour continuer à ralentir la diffusion de l'épidémie, et préserver le système de soins mais également aider à cibler les mesures de gestion, puis en évaluer l'effet.

Les premiers indicateurs de surveillance ont été construits à partir de systèmes et de collaborations existants, notamment ceux de la surveillance de la grippe. La surveillance syndromique, basée sur des indicateurs sanitaires non spécifiques, a été adaptée dès fin février 2020 à la surveillance de la Covid-19. Complétant les résultats des cas confirmés des laboratoires de biologie médicale, elle a permis une surveillance des cas suspects de Covid-19 basés sur les données des associations SOS Médecins et des services d'urgence hospitaliers (réseau OSCOUR®). Ces deux dispositifs, basés sur une remontée automatique des actes avec diagnostics médicaux, quasi exhaustive et en temps réel depuis plusieurs années, ont permis de suivre les tendances épidémiologiques dans les différentes

³ Initialement développé par l'OMS pour les investigations de fièvres hémorragiques virales en Afrique sub-saharienne.

⁴ Laboratoires Pasteur-Cerba et Eurofins-Biomnis initialement, rejoints par Inovie ensuite.

classes d'âges et à différentes échelles géographiques, en s'affranchissant du délai de confirmation virologique⁵. Leur principale limite résidait *a contrario* dans le manque de spécificité de la définition de cas, reposant au moins au début de l'épidémie uniquement sur des données cliniques. Par ailleurs, les médecins généralistes du réseau Sentinelles ont complété la surveillance des cas suspects de Covid-19 vus en médecine de ville.

Afin de suivre la dynamique épidémique et d'estimer le poids sur le système hospitalier, une surveillance des cas hospitalisés a été construite à partir d'un outil préexistant, le système d'information pour le suivi des victimes d'attentats et de situations sanitaires exceptionnelles (SI-VIC). Cet outil, initialement conçu pour évaluer l'impact sur l'hôpital des attentats, a été adapté pour produire dès le 18 mars 2020, des indicateurs hospitaliers quotidiens, aux différentes échelles géographiques. Ces indicateurs hospitaliers, basés sur un enregistrement exhaustif des cas confirmés biologiquement ou radiologiquement, ont permis, avant l'implémentation d'un outil de remontée automatisée des cas confirmés biologiquement, le suivi de la dynamique épidémique, à la différence des premiers indicateurs basés sur les données de laboratoires.

Pour répondre au besoin d'identification des nouveaux cas, un nouveau système de surveillance virologique, le système d'information de dépistage (SI-DEP), a été élaboré sous la coordination du ministère de la Santé, pour obtenir une remontée automatique de tous les tests réalisés par l'ensemble des laboratoires de biologie médicale sur le territoire français. Le système a été développé en deux mois et activé en mai 2020 au sortir de la première vague. Des indicateurs épidémiologiques de suivi de l'évolution de l'épidémie ont été construits, produits et mis à disposition de manière quotidienne à partir du SI-DEP. Cette base de données permettait également d'alimenter celle de l'Assurance maladie (Contact-Covid, Cnam) chargée, en mai 2020, d'assurer le *contact-tracing* en relais des ARS et des équipes de Santé publique France en région. Santé publique France a également produit, analysé et restitué à différents échelons géographiques les indicateurs issus de la base de données Contact-Covid, en collaboration avec l'Assurance maladie.

Le délai nécessaire à la consolidation des données de laboratoires (en moyenne 3 jours) et les variations de stratégies de dépistage ont imposé le maintien d'une surveillance multisource afin de détecter les modifications de tendances de manière précoce.

Au-delà du suivi quotidien de l'épidémie *via* ces données d'observation, la mise en place⁶, du suivi des nombres de reproduction effectifs des cas, des passages aux urgences ou des hospitalisations a permis d'apprécier en temps réel la dynamique épidémique et les tendances prévisibles pour les semaines à venir, sous l'hypothèse de l'absence de modification des comportements individuels ou des mesures de contrôle collectives.

Alors que le nombre de cas diminuait, suite à la première vague épidémique, l'attention s'est de nouveau portée sur la surveillance des *clusters*. En effet, lorsque l'incidence est redevenue basse, les *clusters* pouvaient être à l'origine de la plupart des nouvelles contaminations, et donc de reprises épidémiques, s'ils n'étaient pas maîtrisés rapidement. Un outil de surveillance à visée d'alerte a été mis en place en population générale au sein de chaque région *via* la base de données de MONItoring des Clusters (MONIC), permettant leur description, leur suivi, et une évaluation de leur criticité en termes de sévérité et de risque de diffusion communautaire. Ces données ont permis d'informer rapidement les autorités de santé nationales, mais également locales, pour la mise en œuvre d'actions spécifiques autour de ces situations à risque. La surveillance des *clusters* a également permis de mieux comprendre les modes de transmission et d'amplification de l'épidémie au sein de collectivités ou secteurs d'activité.

⁵ Ces systèmes ont assuré en parallèle le maintien de la surveillance des autres pathologies que la Covid-19 motivant un recours aux soins d'urgence.

⁶ En collaboration avec l'Unité de modélisation des maladies infectieuses de l'Institut Pasteur.

Surveillance de la sévérité et impact sur le système de soins

Parallèlement à l'objectif de suivi de la dynamique de l'épidémie, les systèmes mis en place ont également permis d'évaluer l'impact et le poids de la maladie sur la population et le système de santé en France.

Le système SIVIC a permis d'évaluer en temps réel le fardeau de la maladie en termes de formes sévères, et le niveau de saturation des hôpitaux français tout au long de la crise selon le type de service, et, notamment, les services de soins critiques dont les réanimations. Les indicateurs hospitaliers ainsi générés, mis à disposition en temps réel des équipes de modélisation, ont permis d'estimer la sévérité de la maladie chez les personnes infectées en début d'épidémie, permettant ensuite de réaliser des projections sur la dynamique de l'épidémie au niveau hospitalier selon différentes hypothèses quant aux mesures de contrôle mises en œuvre au niveau individuel ou collectif. Parmi les limites des données issues de SI-VIC, la principale est liée aux évolutions dans le temps des modalités d'admission à l'hôpital ou en soins critiques, en particulier en fonction de l'âge et du degré de saturation des services hospitaliers. Les indicateurs issus de SI-VIC ne pouvaient toutefois être déclinés qu'en régions ou départements d'hospitalisation, alors que la majorité des indicateurs de circulation du virus l'étaient en régions ou départements de résidence.

Afin de limiter la charge de travail liée à la saisie des données dans le dispositif SI-VIC, et en assurer la qualité et l'exhaustivité, très peu d'informations concernant les caractéristiques des cas hospitalisés y sont recueillies. Une surveillance sentinelle, basée sur l'expérience de la grippe et un réseau de services de réanimation volontaires, a permis d'obtenir des données détaillées sur les comorbidités, le degré de sévérité ou le devenir des patients hospitalisés en réanimation.

Enfin, pour estimer et suivre la mortalité liée à la Covid-19, plusieurs sources de données ont été rapidement adaptées : décès des patients dans les établissements de santé, décès des résidents à l'hôpital ou en ESMS (établissement social et médico-social), certification électronique des décès. En revanche, les décès survenus en milieu communautaire incluant les décès survenus à domicile n'ont pas pu être pris en compte avec réactivité du fait de la trop faible utilisation de la certification électronique des décès en dehors des établissements de santé. La surveillance de l'excès de mortalité toutes causes à partir des données d'état civil transmises par l'Insee a ainsi montré, dès les premières semaines, le poids direct et indirect de la propagation de la Covid-19 dans la population française en termes de mortalité, et pointé également des différences à l'échelle régionale ou même départementale.

Surveillances spécifiques de sous-groupes de population

Les différentes populations à risque ont été identifiées dès les premières semaines, notamment les personnes les plus âgées résidant dans les EHPAD où un nombre important de cas groupés a été détecté avec des taux de mortalité très élevés. Un outil spécifique de surveillance de la Covid-19 dans les collectivités de personnes âgées (EHPAD et autres types d'établissements médico-sociaux) a été mis à disposition de ces établissements par l'agence à partir du 28 mars 2020.

S'agissant des personnels de santé, le système de signalement des infections associées aux soins (*e-SIN*) incluait, à partir du 3 mars 2020 les cas de Covid-19 au sein des établissements de soins, permettant ainsi d'évaluer leur impact sur le système de soins et contribuant au dispositif de surveillance des *clusters* à visée d'alerte.

Fin avril 2020, en France et dans d'autres pays, des cas de myocardites évocatrices de maladie de Kawasaki chez des enfants ayant un antécédent récent de Covid-19 ont été signalés. Santé publique France et l'ensemble des sociétés savantes de pédiatrie ont mis en place, dès le 30 avril 2020, une surveillance active de ces syndromes, ensuite nommés syndromes inflammatoires multi-systémiques pédiatriques, afin d'en évaluer l'incidence et d'améliorer les connaissances pour leur prise en charge.

En 2021, plusieurs signalements relatifs à la survenue de complications particulièrement graves chez les femmes enceintes et les nouveau-nés ont été partagés avec Santé publique France. Un système de surveillance du nombre de nouveau-nés, nés dans un contexte d'infection au Sars-CoV-2, hospitalisés en soins critiques de niveau 3, a été mis en place en novembre 2021.

Surveillance virologique (séquençage et criblage)

Après plusieurs mois de circulation du virus, l'amélioration des connaissances sur la diffusion du Sars-CoV-2 et ses caractéristiques virologiques a mis en évidence dès fin 2020 l'émergence de mutations et lignages influençant de manière significative sa transmission ou sa capacité d'adaptation au système immunitaire de l'hôte, sa sévérité et la performance des tests de diagnostic. Ainsi, l'émergence des variants Alpha fin 2020, puis Bêta et Gamma en outre-mer, Delta au printemps 2021 et enfin Omicron fin 2021 à l'échelle mondiale, ont conduit à renforcer la surveillance génomique du Sars-CoV-2. Le consortium EMERGEN⁷ a été créé en janvier 2021 sous la coordination de l'agence et l'ANRS|MIE et en lien avec leurs partenaires pour fédérer l'ensemble des capacités de séquençage, publiques et privées, disponibles. En plus des indications de séquençage à visée interventionnelle en cas de *cluster*, d'échec vaccinal, de réinfection ou chez les cas au retour d'un séjour à l'étranger, ses objectifs étaient de caractériser les variants circulants au moyen d'enquêtes représentatives répétées de manière régulière (enquêtes #flash hebdomadaires) et d'être en capacité de détecter de manière précoce tout nouveau variant émergent. Les données de cette surveillance ont été par ailleurs utilisées pour des analyses de risque conduites deux fois par mois, puis de manière mensuelle pour classifier les différents variants selon leurs caractéristiques (les variants qualifiés de préoccupants faisant l'objet de mesures de gestion ciblées) et leur impact potentiel sur la santé publique.

Les délais propres au transfert des prélèvements et au séquençage (plusieurs jours) étaient toutefois incompatibles avec un rendu de résultat permettant d'orienter ces mesures de gestion. Dès lors, une stratégie de dépistage exhaustive et réactive des mutations spécifiques de certains variants préoccupants (VOC) a été mise en place dans tous les laboratoires sur la base de RT-PCR dite « de criblage », dont le résultat est disponible en quelques heures. L'intégration des résultats de ces tests était réalisée au sein de la base SI-DEP afin de mettre en place certaines mesures différenciées en amont des résultats de séquençage, mais également de suivre la diffusion temporo-spatiale des variants préoccupants de manière plus réactive dans les différentes régions et territoires.

Surveillance sérologique populationnelle

La diffusion du Sars-CoV-2 dans la population a engendré progressivement une augmentation de la séroprévalence conférant une immunité relative naturelle à une grande partie de la population exposée, de même que la couverture vaccinale dans un second temps. Des études de séroprévalence répétées dans le temps, sur des échantillons prélevés à partir

⁷ Consortium pour la surveillance et la recherche sur les infections à pathogènes EMERgents *via* la GENomique microbienne.

du mois de mars 2020, ont été réalisées pour connaître la part de la population exposée au virus et ayant développé des anticorps contre le Sars-CoV-2, qu'ils soient liés à une immunité naturelle ou vaccinale⁸. Ces analyses permettent de prendre en compte les formes asymptomatiques, dont seule une proportion est captée par les stratégies de dépistage, ainsi que l'ensemble des formes symptomatiques (incluant donc celles ne faisant pas l'objet d'un test diagnostique).

Surveillance de la couverture vaccinale

En parallèle du début de la campagne de vaccination contre la Covid-19, une surveillance de la couverture vaccinale dans la population française élaborée par Santé publique France a été mise en place en février 2021. La base de données VAC-SI, alimentée par les professionnels de santé pratiquant la vaccination, et gérée par l'Assurance maladie (Cnam), a été analysée quotidiennement pour estimer les couvertures vaccinales par classes d'âge, par lieu de vaccination, mais également au sein de populations spécifiques comme les professionnels de santé ou les résidents et les professionnels exerçant en EHPAD.

Des études de couvertures vaccinales plus ciblées ont également été mises en œuvre auprès de ces populations spécifiques, et reproduites à plusieurs reprises afin d'en suivre l'évolution et de guider les mesures de sensibilisation dans les territoires ou groupes de populations les moins bien vaccinés.

Enquêtes de suivi de l'évolution des comportements et de la santé mentale

Dès le 23 mars 2020, Santé publique France met en place une série d'enquêtes en population générale, « CoviPrev », au moyen de questionnaires auto-administrés en ligne à un échantillon de 2 000 personnes, de manière répétée. Ces enquêtes visent à mesurer les comportements liés directement à la pandémie et leur degré d'adoption (gestes barrières, confinement, intention vaccinale) et ceux indirects (consommation d'alcool, de tabac, alimentation, activité physique). Un volet évalue également l'évolution de l'état de santé mentale de la population.

ANALYSE INTÉGRANT L'ENSEMBLE DES INDICATEURS ET RÉTRO-INFORMATION

Si chaque indicateur pris séparément permet d'évaluer un aspect épidémiologique (tendance de la dynamique de circulation du virus, gravité, mortalité, etc.), leur analyse conjointe a permis d'évaluer les situations à des échelles géographiques très fines ou dans des sous-groupes de populations. Ainsi, l'apparition de cas groupés difficilement maitrisables dans certaines zones géographiques a donné lieu à la mise en place des actions de santé publique pour en limiter la diffusion.

L'analyse fine des indicateurs par classe d'âge parmi les enfants a conduit à mettre en place des mesures ciblées en milieu scolaire, dans l'objectif de ralentir la propagation du virus tout en maintenant au maximum les écoles ouvertes. Le suivi des indicateurs issus de Contact-Covid (Cnam), incluant les lieux d'exposition présumés des cas, a permis d'appuyer certaines hypothèses sur l'interprétation des tendances évolutives (par

⁸ Ces études se basent sur l'analyse des « fonds de tubes » issus de prélèvements sanguins effectués en laboratoires de biologie médicale privés ou publics dans le cadre d'un examen de biologie spécialisée autre que la recherche du Sars-CoV-2 (examens réalisés par les laboratoires Cerba ou Eurofins Biomnis).

Quelles données pour suivre l'épidémie ?

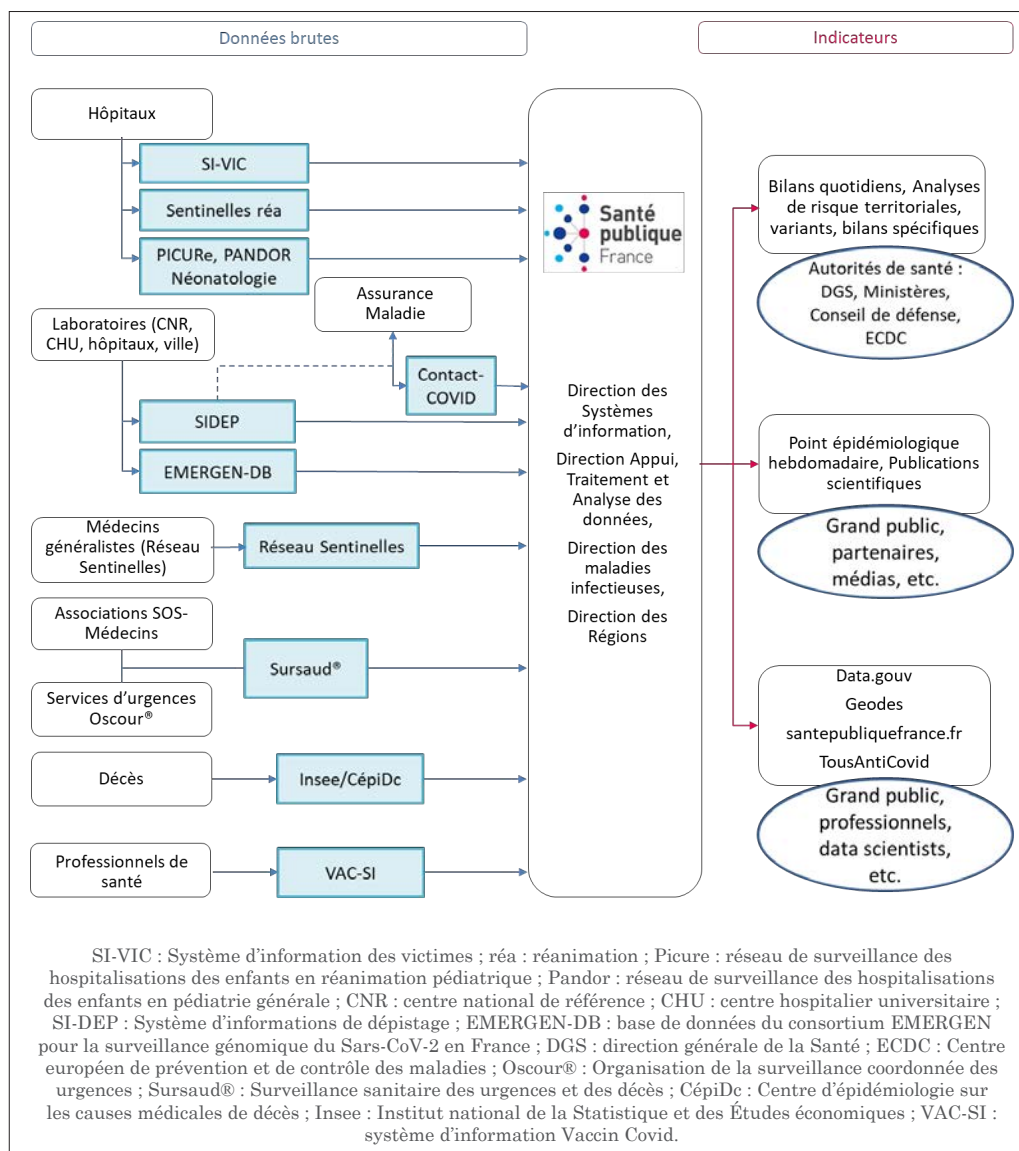


Figure 2. Schéma de production et de remontée des données des principales sources de suivi des cas de Covid-19, au mois de mars 2022 (les données des enquêtes CoviPrev n'apparaissent pas dans cette figure limitée aux systèmes de surveillance ayant généré des indicateurs pérennes de l'impact de la Covid-19 sur la population).

exemple, augmentation du taux d'incidence chez les enfants et augmentation des contacts en milieu scolaire lors des rentrées des classes ou augmentation du taux d'incidence chez les adultes jeunes et augmentation de la fréquentation des bars et restaurants).

L'ensemble de ces indicateurs ont été partagés avec les autorités sanitaires sous différentes formes. Les indicateurs de circulation du Sars-CoV-2 et de couverture vaccinale étaient transmis quotidiennement au Centre de crise sanitaire de la direction générale de la Santé et alimentaient les décisions des Conseils de défense. Au niveau territorial, l'ensemble des indicateurs analysés par les équipes en région de Santé publique France

étaient partagés en temps réel avec les Agences régionales de santé. Plus d'une centaine d'indicateurs produits par Santé publique France à partir des bases de données SI-DEP, SI-VIC, VAC-SI, SurSaUD® étaient restitués sur l'observatoire cartographique Géodes, où les premiers indicateurs de surveillance de la Covid-19 ont été partagés dès le 18 mars 2020 et le tableau de bord (InfoCovidFrance) de l'agence depuis le 24 novembre 2022, ainsi que sur la plateforme Data.gouv.fr du gouvernement. La plupart de ces données était mise à jour quotidiennement, week-end compris. Les indicateurs en *open data* servaient à alimenter différents outils – publics ou non – de restitution des données (tableaux de bord nationaux ou internationaux, application TousAntiCovid, etc.).

En parallèle de ces indicateurs, une analyse complète des situations nationale et régionales était partagée publiquement en ligne chaque semaine dans les points épidémiologiques nationaux et régionaux disponibles, accompagnée d'un temps d'échange avec les médias. Une analyse de risque territorialisée contextualisée était également faite par les cellules régionales de Santé publique France de manière quotidienne, puis hebdomadaire, pour alimenter les concertations avec les ARS, les acteurs locaux et le ministère de la Santé.

Par ailleurs des bilans fréquents ont été réalisés sur différentes thématiques telles que l'évolution des contaminations chez les enfants en âge scolaire, les PIMS (syndrome inflammatoire multisystémique pédiatrique de l'anglais *Pediatric inflammatory multisystem syndrom*) ou l'évolution des contaminations des personnels soignants en établissement de santé, analyse de risque sur les variants émergents du Sars-CoV-2, etc.

L'agence a aussi partagé l'ensemble des données épidémiologiques françaises avec l'ECDC (European Centre for Disease Control and prevention), le projet EuroMOMO (European mortality monitoring) pour les données d'excès de mortalité et avec l'initiative

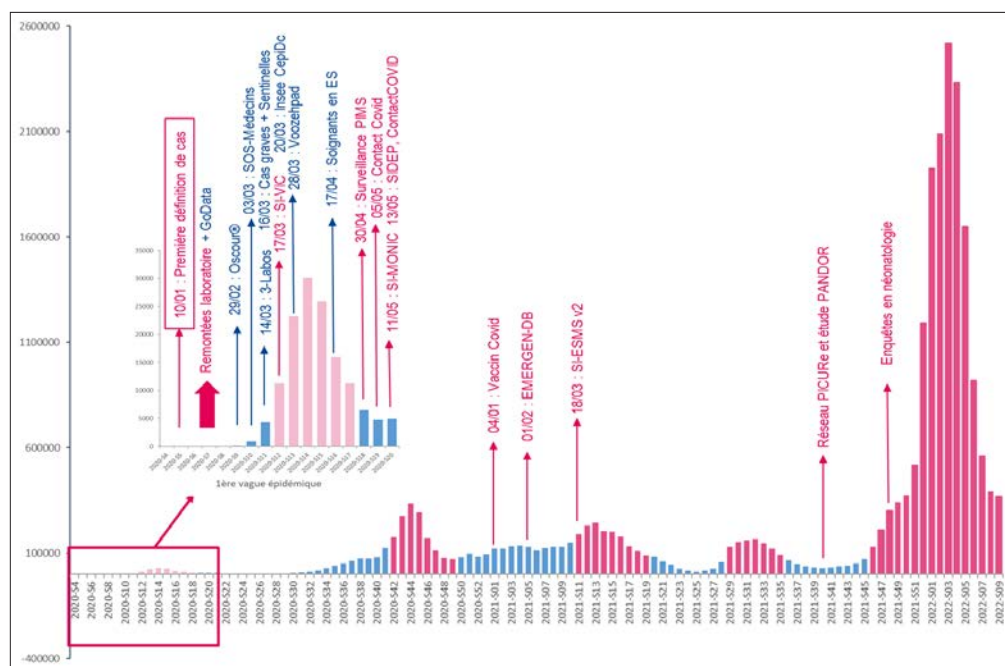


Figure 3. Nombre de cas de Covid-19 détectés au cours du temps et systèmes de surveillance principaux mis en place, Santé publique France, janvier 2020 – mars 2022 (Texte rose : systèmes spécifiques à la Covid-19 ; Texte bleu : systèmes préexistants adaptés à la Covid-19 ; Barres roses : pics épidémiques).

internationale GISAID (Global Initiative on Sharing Avian Influenza Data). Elle a participé aux échanges internationaux par les différents canaux de réponse aux crises sanitaires (l'outil d'alerte Early Warning and Response System par exemple).

DISCUSSION

La mise en place de ce système de surveillance multisource, qui a évolué au fil du temps pour tenir compte de l'accumulation progressive des connaissances, mais aussi des mesures mises en place au fur et à mesure de l'évolution de la pandémie, a permis de produire les indicateurs nécessaires au suivi et à la compréhension de la dynamique épidémique en temps réel en France, au plus près des territoires.

Aucun indicateur seul n'étant suffisant pour interpréter les tendances observées, c'est la diversité et la complémentarité des sources qui ont permis, tout au long de l'épidémie et quels que soient le niveau de circulation ou les mesures mises en place, de pouvoir interpréter avec un niveau de confiance important les tendances épidémiologiques observées à tous les échelons géographiques. En effet, les modifications des tendances observées sur certains indicateurs ont pu être confirmées ou infirmées grâce à la concordance des données issues des autres sources. Et inversement lorsqu'un événement pouvait être identifié comme perturbant un indicateur précis, la tendance pouvait être suivie grâce aux sources non touchées par cet événement. Par exemple, en mai 2020, alors que les systèmes spécifiques n'étaient pas encore déployés sur l'ensemble du territoire, les critères de déconfinement ont été définis sur la base des données issues du système syndromique OSCOUR®. Lors de la mise en place des différentes politiques de dépistage (mise à disposition des tests antigéniques, augmentation du dépistage en prévision des fêtes de fin d'année et des rassemblements, mise en place du passe sanitaire, déremboursement des tests), influençant fortement les indicateurs (taux de dépistage, d'incidence et de positivité), il était possible de focaliser l'analyse de la situation sur les surveillances syndromique et hospitalière, beaucoup moins touchées par ces événements.

Parmi les limites identifiées de ce système de surveillance, certaines sont bien connues. Le temps nécessaire à la collecte et la consolidation des données, la difficulté à intégrer les inégalités sociales et territoriales dans les indicateurs de suivi, ou les systèmes nécessitant une saisie supplémentaire d'informations par les professionnels de santé sur le terrain en sont quelques exemples. De même, l'exhaustivité était difficile à évaluer pour certaines sources, notamment dans les premières phases de l'épidémie, avant la mise en place de SI-DEP. L'exhaustivité globale de la surveillance dépendait aussi de la disponibilité des tests au cours du temps et de l'accès aux soins pour certaines populations, en particulier les plus précaires.

Compte tenu des enjeux majeurs que cette crise a mis en lumière (enjeux sanitaires d'abord, mais aussi économiques, sociétaux, politiques, médiatiques), la gestion de l'épidémie a imposé à l'ensemble des acteurs un besoin de réactivité sans précédent, en s'affranchissant du mieux possible du temps réel, de la pression, et des incertitudes qu'il engendre. Raison pour laquelle un certain nombre d'indicateurs étaient basés sur des données à J-3 (par exemple indicateurs issus de SI-DEP) pour garantir la réactivité nécessaire à la prise de décision, et le recul suffisant pour que les données soient consolidées. Cela a pu également amener à choisir des indicateurs plus réactifs mais parfois moins robustes comme, entre autres, les données par date de déclaration plutôt que par date d'événement (date de prélèvement d'un test ou date d'admission à l'hôpital). Ces choix ne permettaient pas nécessairement de toujours respecter le temps de consolidation des données avant leur partage, amenant parfois à créer des artefacts de surveillance nécessitant une correction dans un second temps.

Par ailleurs, lors des premiers temps d'une émergence, les définitions de cas doivent respecter un difficile équilibre entre sensibilité – pour « passer le moins possible à côté »

d'un cas – et spécificité – pour éviter de surcharger les laboratoires référents, les équipes spécialisées de soins et de santé publique en charge des investigations, avec de « faux » cas. Les définitions de cas ont permis d'identifier rapidement les premiers cas symptomatiques rapportés après l'alerte lancée par la Chine. Il a cependant été montré dans les mois suivants que des patients présentant des anticorps spécifiques contre le Sars-CoV-2 dès le mois de novembre 2019 avaient été possiblement exposés dans les semaines, voire les mois précédents. Ces patients n'ont cependant pas semblé avoir contribué à une diffusion soutenue du Sars-CoV-2 dans la population avant le mois de février 2020. Ces différents éléments soulignent la difficulté à reconnaître un phénomène émergent dans les toutes premières phases de son introduction, comme cela a pu être le cas par le passé. Cela pose également la question de la performance du dispositif d'identification des introductions durant la première phase en termes de capacité à identifier les importations. En effet, les cas importés identifiés dans les premières semaines n'ont pas été à l'origine de transmissions secondaires connues, et la plupart des « événements super propagateurs » ont été identifiés alors que les premières chaînes de transmission étaient déjà installées, indiquant qu'à l'époque de nombreuses introductions n'ont pas été détectées.

Enfin, l'une des limites majeures, identifiée au cours de la crise de Covid-19, a été la construction de systèmes de surveillance ayant peu d'interopérabilité entre eux, ou ne permettant pas l'interconnexion qui définit en partie l'intégration d'un système de surveillance. Il est en effet important de pouvoir rapprocher les bases de données individuelles pour relier, par exemple, le statut vaccinal des cas ou le type de variant en cause avec les données d'hospitalisation, et limiter au maximum les efforts de saisies multiples par les professionnels. De tels rapprochements n'ont pu être faits au sein de Santé publique France que ponctuellement, dans des cas très précis, notamment pour des études d'efficacité vaccinale ou concernant la sévérité des cas. L'appariement des bases de données pour lesquelles l'identifiant était un pseudonyme créé à partir des traits d'identité (nom, prénom, date de naissance) a montré des limites importantes liées à la difficulté d'assurer le respect de la procédure de création du pseudonyme par l'ensemble des acteurs de la surveillance. Les barrières réglementaires qui n'ont pu être levées dans les temps très contraints de l'urgence n'ont pas permis à Santé publique France d'accéder à un identifiant unique robuste tel que l'INS (identifiant national de santé) ou un identifiant créé à partir de l'INS. Faire en sorte que cet accès soit possible pour la gestion de futures émergences, voire plus largement pour certaines surveillances de routine, apparait comme une priorité à mettre en œuvre au décours de la crise, tout en veillant au respect strict des règles en termes de protection de l'anonymat des personnes.

Les données produites par Santé publique France ont été mises à disposition de nombreux partenaires pour l'aide à la décision ou à des fins de recherche. Les données ont été mises en *open data* dès le 29 février 2020 de manière quotidienne.

Au-delà de la rétro-information quotidienne et hebdomadaire de ces données aux autorités de santé nationales, elles ont alimenté de nombreux travaux des équipes de modélisation partenaires de l'agence, et ont été partagées avec les différents comités d'experts (Haut Conseil de la Santé publique, Haute Autorité de Santé, Conseil scientifique de la Covid-19, etc.). Elles ont ainsi contribué à guider certaines décisions publiques (couvre-feux, confinements ou stratégies de vaccination). Les données étaient également mises à disposition de l'ensemble des acteurs locaux dans les différents territoires, et ont permis l'élaboration de mesures, telles que le renforcement des gestes barrières (port du masque dans différents lieux) ou les campagnes de vaccination ciblées dans le cas de situations critiques. Enfin, les données de surveillance ont pu être utilisées afin d'évaluer l'effet de ces différentes mesures de gestion tout au long de la crise.

Le système de surveillance multi-source mis en place en France a répondu aux principales attentes et standards internationaux en termes d'effets couverts (directs et indirects) et de qualité des données. Les choix dans les modes de surveillance dépendent de

multiples facteurs tels que l'organisation des soins, les ressources techniques et humaines disponibles, ou mêmes les pratiques diagnostiques de chaque pays. Des choix différents ont été proposés dans d'autres pays et, notamment, au Royaume-Uni, où des enquêtes de prévalence répétées dans le temps ont permis une évaluation de la circulation virale populationnelle⁹. Le suivi du taux de positivité des tests au cours du temps a permis, entre autres indicateurs moins atteints par les différentes politiques de dépistage en France, d'avoir une estimation correcte du poids et de la dynamique de l'infection dans la population.

Par ailleurs, la rétro-information du grand public et la mise à disposition très large des données de surveillance ont probablement été à l'origine d'effets directs sur la dynamique de circulation du virus. En effet, il a été observé lors des annonces d'aggravation de la situation épidémiologique que les comportements se modifiaient probablement en amont des prises de décisions telles que les couvre-feux ou confinements. L'étude Comcor¹⁰ a permis d'identifier les lieux et les circonstances de contamination. Des études de surveillance des connaissances, attitudes et pratiques répétées dans le temps (enquête CoviPrev) ont également pu mesurer l'effet des campagnes d'information et de la rétro-information sur la population et ses comportements.

Enfin, au-delà de la surveillance de la maladie et de ses impacts directs, de nombreuses études épidémiologiques et programmes de surveillance ont également été menés ou utilisés pour en évaluer les impacts indirects comme ceux des mesures de contrôle sur la santé mentale, sur la sédentarité ou sur les recours aux soins pour des pathologies cardiovasculaires.

La pandémie de Covid-19 a permis d'apprécier notre capacité à penser et mettre en œuvre un système de surveillance pour produire de nombreux indicateurs, mais également de tirer des leçons quant à ses faiblesses. Certaines difficultés ont pu être surmontées et des systèmes de grande envergure ont été élaborés en un temps très contraint, comme SI-DEP qui a, notamment, aidé à contourner le problème d'accès généralisé à des données structurées des laboratoires.

La pérennisation et l'extension d'un tel outil devrait permettre d'améliorer la surveillance de nombreuses autres maladies infectieuses ou non transmissibles dans le futur. De la même manière, les activités de séquençage s'étaient développées en France depuis plusieurs années, mais l'absence de recensement de ces capacités sur le territoire et leur coordination insuffisante ne permettaient pas, dans un contexte de crise, de les coordonner autour d'un même pathogène et objectif. La mise en place du consortium EMERGEN a rendu possible la mise en commun de ces compétences pour produire de nouveaux indicateurs utiles à la surveillance de la Covid-19. Sa pérennisation devra ouvrir la voie à un élargissement de l'utilisation de ce consortium à la surveillance génomique d'autres agents pathogènes dans le futur.

L'un des points mis en exergue par la crise est également la nécessité d'intégrer la Covid-19 à la catégorie des infections virales saisonnières (virus de la grippe, de la bronchiolite, de la gastro-entérite). Une telle surveillance est désormais en cours d'élaboration.

Enfin, la pandémie de Covid-19 rappelle l'importance du partage des données et des méthodes de recueil de ces dernières, afin de mieux comprendre les dynamiques épidémiologiques nationales mais également internationales des infections émergentes, et le besoin permanent d'adapter les outils. Il est notamment nécessaire de développer des

⁹ À notre connaissance, un tel dispositif n'a pas fait l'objet d'une évaluation formelle en termes de contribution à la gestion et à la limitation du nombre de cas de Covid-19.

¹⁰ Menée par l'Institut Pasteur en partenariat avec la Caisse nationale d'Assurance maladie, l'Institut Ipsos et Santé publique France,

systèmes d'information automatisés s'appuyant sur les logiciels métiers existants et en anticipant leur interopérabilité. Il paraît également nécessaire de déployer plus largement la certification électronique des décès afin de permettre une surveillance de la mortalité réactive par causes en tout lieu de décès incluant l'hôpital, les EHPAD, le domicile et la voie publique¹¹.

Le système présenté ici a donc vocation à poursuivre son évolution dans les mois et années à venir, afin d'être en capacité de répondre aux nouveaux enjeux qui se présenteront.

Cet article est une adaptation de l'article : FIGONI J., CAMPÈSE C., SPACCAFERRI G., ROLLAND P., CASERIO-SCHÖNEMANN C., CHE D., au nom du groupe Surveillance de la Covid-19, Structuration évolutive d'une surveillance multi-sources pour répondre à une infection émergente : l'expérience française face à la Covid-19, *Bulletin épidémiol hebdomadaire* 2023;(1):2-16 :

http://beh.santepubliquefrance.fr/beh/2023/1/2023_1_1.html

Remerciements :

Les équipes de Santé publique France remercient l'ensemble de leurs partenaires impliqués dans la surveillance depuis le début de la pandémie de Covid-19 : le CNR-virus des infections respiratoires (Institut Pasteur, Hospices civils de Lyon), le ministère des Solidarités et de la Santé (direction générale de la Santé, direction générale de l'Organisation des Soins, direction générale de la Cohésion sociale, direction de la Recherche, des Études, de l'Évaluation et des Statistiques), les ARS, la Caisse nationale d'Assurance maladie, l'Inserm (CépiDc), l'Insee, la FEDORU, le Geres, les établissements hospitaliers, la COREB, les médecins hospitaliers, libéraux (SOS Médecins, Réseau Sentinelles), SAMU, Centre 15, laboratoires de biologie médicale hospitaliers et de ville, les sociétés savantes d'infectiologie (Spilf), de réanimation, de médecine d'urgence (SFMU), de pédiatrie, le réseau de laboratoire ANRS | MIE, les partenaires du consortium EMERGEN, et tous les professionnels de santé impliqués dans la surveillance et la prise en charge de la Covid-19.

BIBLIOGRAPHIE

AUVIGNE V., VAUX S., LE STRAT Y., SCHAEFFER J., FOURNIER L., TAMANDJOU C. *et al.* (2022), "Severe hospital events following symptomatic infection with Sars-CoV-2 Omicron and Delta variants in France, December 2021 – January 2022: A retrospective, population-based, matched cohort study", *medRxiv*.

CAUCHEMEZ S., KIEM C.T., PAIREAU J., ROLLAND P. & FONTANET A. (2020), "Lockdown impact on Covid-19 epidemics in regions across metropolitan France", *Lancet*.

FOUILLET A., PONTAIS I. & CASERIO-SCHONEMANN C. (2020), "Excess all-cause mortality during the first wave of the Covid-19 epidemic in France, March to May 2020", *Euro Surveill*.

¹¹ À ces fins, le décret n°2022-284 en date du 28 février 2022 renforce l'obligation d'établir les certificats de décès par voie électronique, en précisant que l'élaboration ou la transmission du certificat de décès sur support papier sera possible à titre exceptionnel.

GAYMARD A., BOSETTI P., FERI A., DESTRAS G., ENOUF V., ANDRONICO A. *et al.* (2021), "Early assessment of diffusion and possible expansion of Sars-CoV-2 Lineage 201/501Y.V1 (B.1.1.7, variant of concern 202012/01) in France, January to March 2021", *Euro Surveill.*

LASBEUR L. L., RAUDE J., LÉON C., BONMARIN I., DU ROSCOËT E. *et al.* (2020), « Adoption des mesures de prévention recommandées par les pouvoirs publics face à l'épidémie de Covid-19 pendant la période de confinement en France métropolitaine, Enquête CoviPrev », *Bull Epidemiol Hebd.*

LEFRANCQ N., PAIREAU J., HOZE N., COURTEJOIE N., YAZDANPANA H. Y., BOUADMA L. *et al.* (2021), "Evolution of outcomes for patients hospitalised during the first 9 months of the Sars-CoV-2 pandemic in France: A retrospective national surveillance data analysis", *Lancet Reg Health Eur.*

LE VU S., JONES G., ANNA F., ROSE T., RICHARD J. B., BERNARD-STOECKLIN S. *et al.* (2021), "Prevalence of Sars-CoV-2 antibodies in France: results from nationwide serological surveillance", *Nat Commun.*

SALJE H., TRAN KIEM C., LEFRANCQ N., COURTEJOIE N., BOSETTI P., PAIREAU J. *et al.* (2020), "Estimating the burden of Sars-CoV-2 in France", *Science.*

SPACCAFERRI G., LARRIEU S., POUHEY J., CALBA C., BENET T., SOMMEN C. *et al.* (2020), "Early assessment of the impact of mitigation measures to control Covid-19 in 22 French metropolitan areas, October to November 2020", *Euro Surveill.*

THIAM M. M., PONTAIS I., FORGEOT C., PEDRONO G., SURSA UDRFP, MEDECINS SOS *et al.* (2022), "Syndromic surveillance: A key component of population health monitoring during the first wave of the Covid-19 outbreak in France, February-June 2020", *PLoS One.*

TRAN KIEM C., CREPEY P., BOSETTI P., LEVY BRUHL D., YAZDANPANA H. Y., SALJE H. *et al.* (2021), "Lockdown as a last resort option in case of Covid-19 epidemic rebound: A modelling study", *Euro Surveill.*

Épidémiologie participative : quand le public participe à la surveillance et à la compréhension du Covid-19

Par Sophie PÈNE

Professeure émérite, Université de Paris, Laboratoire Dicen-CNAM

Et Maurice RONAI

Ancien membre de la CNIL

Dès mars-avril 2020, face aux limites des données recueillies par les services d'urgence et les hôpitaux, l'idée s'impose un peu partout de s'appuyer sur le public pour compléter la connaissance de l'épidémie. En quelques semaines, une floraison de questionnaires en ligne et d'enquêtes voit le jour pour identifier les symptômes et enrichir le tableau clinique, dénombrer les cas, cartographier la propagation, et pour comprendre les mécanismes de transmission. À l'origine de ces dispositifs d'enquête et d'appel aux contributions figurent des agences de santé publique, des offices statistiques, des hôpitaux, des universités et centres de recherche, des ONG, des entreprises et *start-up* de santé numérique, souvent en partenariat. Si la contribution volontaire du public est le facteur commun à l'ensemble de ces dispositifs, on observe une grande diversité des modes de recrutement. Certains panels sont aléatoires, reposant sur des appels à participation *via* les réseaux sociaux, avec des relais dans la presse. D'autres mobilisent des instituts de sondage, ou des cohortes préexistantes, constituées de populations spécifiques (âge, patients chroniques à risque).

En avril 2020, une équipe de recherche¹ entreprend l'étude du *cluster* de Covid-19 alsacien, apparu en février lors d'un événement rassemblant 2 500 personnes à Mulhouse. Une enquête d'une centaine de questions est adressée à tous les habitants du Haut-Rhin, *via* la presse. Du 22 avril au 4 juin 2020, 1 226 ménages résidant dans le département du Haut-Rhin, représentant 3 350 individus, ont pris part à cette enquête. 883 (72,0 %) ont déclaré au moins un cas suspect, et 1 516 personnes ont connu les symptômes communément attribués au Covid-19. L'enquête met au jour le rôle du rassemblement évangélique (du 17 au 21 février 2020) dans la propagation, et documente le délai d'apparition des symptômes, la dépendance aux variables personnelles, le trajet de la propagation avant et après l'événement religieux, en particulier dans les milieux scolaires, professionnels et associatifs.

¹ L'enquête est conduite par deux physiciens, Giacomo Cacciapaglia (Institut de Physique des Deux Infinis, CNRS, Lyon) et Vincent Breton (Laboratoire de physique de Clermont - LPC), qui cherchent à identifier des paramètres permettant de modéliser la propagation dans un *cluster*. Elle sera poursuivie par une étude épidémiologique combinant les résultats de l'enquête et les données d'hospitalisation (GERBAUD L., GUIGUET-AUCLAIR C., BREYSSE F., ODOUL J., OUCHCHANE L., PETERSCHMITT J., DEZFOULI-DESFER C. & BRETON V. (2020), "Hospital and population-based evidence for Covid-19 early circulation in the East of France", *Int J Environ Res Public Health*.

Au Royaume-Uni, le King's College London et la société technologique Zoe mettent en service l'application mobile Covid Symptom Study en mars 2020. Dans les 24 heures, l'application est téléchargée plus d'un million de fois. Les volontaires se voient proposer des questionnaires quotidiens les invitant à décrire leur état de santé. La fièvre et la toux continue sont alors les deux symptômes les mieux connus des autorités de santé britannique. Fin mars 2020, les données quotidiennes de l'état de santé de 2 400 000 répondants *via* Covid Symptom Study décrivent d'autres symptômes fréquents : courbatures, frissons, fatigue, maux de tête et diarrhées, perte de l'odorat et du goût. L'enquête montre que ce dernier symptôme est trois fois plus élevé chez les personnes testées positives. Les chercheurs du King's College peuvent ainsi déterminer la perte d'odorat et de goût comme un très bon prédicteur d'infection, et préconiser l'auto-isolément immédiat des personnes atteintes. Le 16 mai, le ministère britannique de la Santé ajoutait la perte du goût et de l'odorat à la liste officielle des symptômes, bientôt suivi par l'OMS².

Ces deux enquêtes, la première mobilisant de petits effectifs et centrée sur un département, l'autre portant sur de grands nombres et déployée à l'échelle d'un pays, ne resteront pas isolées. Elles témoignent de l'intérêt de faire participer le public à la surveillance et à l'étude de l'épidémie.

Dès mars-avril 2020, face aux limites des données recueillies par les services d'urgence et les hôpitaux, qui ne recensent que les cas graves, l'idée s'impose un peu partout de s'appuyer sur le public pour compléter la connaissance de l'épidémie. En quelques semaines, une floraison de questionnaires en ligne et d'enquêtes voit le jour pour identifier les symptômes et enrichir le tableau clinique, dénombrer les cas, cartographier la propagation, et pour comprendre les mécanismes de transmission. D'autres enquêtes entreprennent d'évaluer l'adhésion du public aux mesures de précaution, les effets sociaux, psychologiques et économiques des confinements et plus largement de l'épidémie, ou encore d'en mesurer la prévalence.

À l'origine de ces dispositifs d'enquête et d'appel aux contributions figurent des agences de santé publique, des offices statistiques, des hôpitaux, des universités et des centres de recherche, des ONG, des entreprises et *start-up* de santé numérique, souvent en partenariat. Ils s'appuient sur des expertises et des dispositifs préexistants, comme les observatoires de la grippe du réseau Influenza.net, sur des cohortes déjà constituées, ou sur des plateformes de sciences participatives.

Ces dispositifs d'enquête s'inscrivent, parfois, explicitement dans une démarche de science citoyenne ou de sciences participatives, plus rarement dans celui de l'épidémiologie participative (*participatory epidemiology*)³ ou de la *Community-based participatory research* (CBPR).

En octobre 2020, le Conseil scientifique appelait, d'ailleurs, au lancement de « programmes de science participative pour mieux comprendre les modalités de transmission »⁴.

² Examinant les données des 400 000 personnes qui avaient signalé des symptômes mais qui n'avaient pas encore subi de test de dépistage du Covid-19, les chercheurs constatèrent, en outre, que 13 % d'entre elles étaient susceptibles d'être infectées, sans que cela soit encore confirmé, soit 50 000 personnes supplémentaires.

³ Au-delà d'une simple participation du public à la collecte des données, l'épidémiologie participative intègre les différentes parties prenantes d'une épidémie au processus de recherche et de production de connaissances, jusqu'à la discussion des décisions opérationnelles qui se déduisent des résultats.

⁴ « Les modalités de transmission du virus restent encore mal connues, faute de données précises. Dans une démarche de science participative, garantissant le consentement et l'anonymat des personnes, et dans le cadre de projets de recherche opérationnelle, chacun pourrait contribuer grâce au numérique à faire mieux comprendre les modalités de transmission, en fonction des lieux ou des temps d'exposition par exemple » : *Un nouvel ensemble numérique pour lutter contre le Sars-CoV-2*, Avis du Conseil scientifique Covid-19, 20 octobre 2020.

SURVEILLANCE SYNDROMIQUE PARTICIPATIVE

En mars 2020, en France, on ne teste que les cas graves. On mesure alors mal la proportion de cas asymptomatiques ou peu symptomatiques. Un certain brouillard flotte aussi sur les symptômes les plus prédictifs comme sur les profils de risque sous-jacents, pour prioriser les personnes à tester. Le 30 mars, l'Inserm et Santé publique France rebaptisent la plateforme GrippeNet.fr⁵ (destinée à la surveillance de la grippe) en Covidnet.fr⁶. La plateforme Covid.net adresse chaque semaine aux inscrits un questionnaire de cinq minutes pour décrire leurs éventuels symptômes ou indiquer si tout va bien. D'autres questions sont posées, sur le respect des gestes barrières ou sur le nombre de personnes croisées au cours des derniers jours. Malgré le soutien de l'Inserm et de Santé publique France, le pivotement de GrippeNet en Covidnet n'est jamais parvenu à mobiliser, même au sommet des différentes vagues, plus de quelques milliers de volontaires⁷.

On a observé en Europe le même pivotement des plateformes de surveillance de la grippe (réunies au sein du réseau Influenza.net) en plateformes de surveillance du Covid, avec l'adaptation des questionnaires pour recueillir d'autres symptômes respiratoires, les risques d'exposition et les comportements en matière de soins de santé liés au coronavirus. Avec, là aussi, des résultats modestes en termes de participation.

Aux États-Unis, en mars 2020, alors que les autorités sanitaires peinent à dénombrer les cas et les décès, une équipe d'épidémiologistes et de bio-informaticiens du Boston Children's Hospital lance, à partir de la plateforme Flu Near You⁸, le projet Covid Near You, un outil de suivi des symptômes en *crowdsourcing*. La refonte de Flu Near You en Covid Near You bénéficie du soutien de développeurs d'Apple, d'Amazon et de Google Alphabet. En quelques jours, plus de 444 000 personnes aux États-Unis transmettent leurs symptômes et 400 000 au Canada. Comme Flu Near You, Covid Near You cartographie les données pour identifier les points chauds. Le signalement est rapide, simple et anonyme⁹, avec une simple question d'introduction : « Comment vous sentez-vous ? » En août 2020, la plateforme avait recueilli plus d'un million de rapports, fourni des informations sur la symptomatologie du Covid et les principaux facteurs de risque démographiques (Chan et Brownstein, 2020). Issu de la fusion de Flu Near You et de Covid Near You, OutBreaks Near Me comptait, quand cet article a été rédigé, plus de 7 millions d'utilisateurs.

⁵ GrippeNet.fr est un projet de recherche sur la grippe mis en place en 2012 par l'Inserm, Sorbonne Université et Santé publique France. Il permet de compléter les données des systèmes de surveillance traditionnels de la grippe issues des cabinets de médecins libéraux et des hôpitaux, avec des données collectées directement auprès de la population.

⁶ « Quels que soient l'état de santé, l'âge ou la nationalité, il est possible de s'inscrire sur le site Covidnet.fr par le biais d'une simple adresse électronique et compléter un questionnaire préliminaire (âge, lieu d'habitation, composition du foyer, mode de déplacement, activité principale, statut vaccinal, allergies...). Puis, vous devrez répondre chaque semaine à un questionnaire de cinq minutes sur d'éventuels symptômes constatés depuis votre précédente connexion. La participation est anonyme et bénévole. »

⁷ 9 433 participants entre septembre 2020 et mai 2021 (soit 14,4 participants pour 100 000 habitants). Durant cette période, ils ont rempli 206 955 questionnaires hebdomadaires (5 609 par semaine en moyenne). Entre novembre 2021 et mai 2022, la participation chutait à 7 673 participants, avec 103 782 questionnaires hebdomadaires (3 992 par semaine en moyenne).

⁸ Flu Near You avait été créé en 2012 par Ending Pandemics, le Boston Children's Hospital et l'American Public Health Association.

⁹ Le site ne demande pas aux gens de s'identifier, au-delà de leur âge, sexe et code postal. Il ne limite pas non plus la saisie de données aux personnes qui ont consulté un médecin ou qui ont un résultat de test.

Covid Symptom Study, déjà évoqué plus haut, s'appuyait, lui aussi, sur une plateforme préexistante, développée à Harvard et destinée au suivi de la santé des infirmières¹⁰. 4,6 millions de Britanniques auront téléchargé l'application en juillet 2021. Elle enregistre la localisation, l'âge et les principaux facteurs de risque pour la santé. Les participants signalent quotidiennement leurs symptômes, les consultations médicales effectuées, les résultats des tests, s'ils sont en mode « isolement » ou leurs attentes en termes de prise en charge. Avec 850 000 contributeurs quotidiens, enregistrant plus de 480 millions de rapports sur la santé, Covid Symptom Study a donné lieu à 50 articles scientifiques dans des revues à comité de lecture. Selon son concepteur, Tim Spector, Professeur d'épidémiologie au Kings College de Londres, « Covid Symptom Study a changé le cours de la pandémie, en tenant le public, les professionnels de la santé et le gouvernement britannique informés de l'évolution des taux de Covid-19 en temps quasi réel. L'étude a également créé un nouveau modèle pour la façon dont les chercheurs engagent les participants à l'étude. Covid Symptom Study fournit d'abord toutes les données et les résultats collectés aux contributeurs, sous la forme de données et de contenus facilement compréhensibles, afin qu'ils puissent voir exactement ce que leur participation permet. Les commentaires des contributeurs influencent également la conception des études, les sujets que nous choisissons d'étudier, la création du contenu et l'expérience de l'application »¹¹.

DIVERSITÉ DES MODES DE RECRUTEMENT DES PARTICIPANTS ET DES NIVEAUX D'ENGAGEMENT

On a beaucoup interrogé les Français au cours de cette crise. Santé publique France, la direction statistique du ministère de la Santé (Drees), l'Institut Pasteur, l'Inserm, le CNRS, des équipes universitaires ont fait feu de tout bois : questionnaires en ligne, enquêtes auto-administrées *via* les panels des instituts de sondage ou des cohortes.

En avril 2020, l'Inserm recensait une dizaine d'enquêtes en cours, réalisées *via* des questionnaires en ligne. Il est permis de s'interroger sur la manière dont ces questionnaires improvisés sont parvenus à la connaissance du public, sur les taux de réponse et leur représentativité.

Pour inciter les personnes à répondre, les fiches de présentation de ces enquêtes mettaient en avant la contribution des participants à la production de connaissances. Comme ici, par exemple, dans la notice de l'enquête SocialCov¹², qui visait à comprendre l'effet du confinement sur les vies sociales et professionnelles : « Recueillir ces informations à grande échelle est essentiel pour affiner les modélisations dans le cadre du confinement, et permettre ainsi aux modélisateurs de mieux comprendre et analyser la propagation du virus en France pendant cette période si particulière ». Au total, 42 036 participants ont répondu au questionnaire SocialCov durant le mois d'avril 2020.

Les panels des instituts de sondage ont souvent constitué le vivier des répondants. Santé publique France s'est appuyée sur le panel de BVA pour les enquêtes CoviPrev (destinées à mesurer les comportements liés directement à la pandémie et leur degré d'adoption

¹⁰ The Nurses' Health Study (NHS) a été lancée en 1976 avec plus de 121 700 infirmières participantes (280 000 aujourd'hui), afin d'examiner les facteurs de risque des principales maladies chroniques chez les femmes.

¹¹ Re baptisée ZoeHealthStudy en 2022, le champ de l'application a été élargi pour inclure les maladies cardiaques, le microbiome intestinal, le sommeil et les facteurs qui améliorent la santé à long terme. ZoeHealthStudy compte aujourd'hui 4,8 millions d'utilisateurs au Royaume-Uni et en Amérique du Nord. La société Zoe a levé un financement de 30 millions de dollars, qui valoriserait Zoe à 250 millions de dollars.

¹² Conduite par l'Institut Pasteur, l'Université de Versailles Saint-Quentin, l'Université Paris Saclay et l'Inserm.

Nom	Thème
Comet	Apparition et développement de détresse psychologique pendant la pandémie
COH-FIT	Impact de la pandémie et de l'isolement social sur le bien-être physique et mental
Global Drug Survey	Consommation d'alcool et de drogues durant la pandémie
Le temps confiné	Situation de confinement et rapport au temps
Copaco-Eu20	Effet du confinement sur le quotidien en fonction de l'âge
Confinement	Qualité du sommeil et collecte des rêves durant le confinement
Confinement, attention et distractibilité	Capacités attentionnelles (adultes et jeunes 6-17 ans)
Odorat et qualité de vie	Covid-19, qualité de vie, troubles de l'odorat et du goût
Epidemic	Impact psychologique du confinement afin d'en prévenir les conséquences et de développer des outils d'aide adaptés

Enquêtes portant sur l'impact du Covid, recensées par l'Inserm en avril 2020.

– gestes barrières, confinement, intention vaccinale – et ceux indirects – consommation d'alcool, de tabac, alimentation, activité physique¹³). L'enquête Coconel (COronavirus et CONfinement : Enquête Longitudinale), qui visait à suivre la réponse psychologique, émotionnelle et comportementale de la population française à l'épidémie de Covid-19 et au confinement, s'appuyait sur le panel de l'IFOP¹⁴.

Pour les enquêtes CoVaPred, dont l'objectif était de comprendre l'adoption des mesures de protection et d'évaluer les intentions de vaccination, Santé Publique France, l'Inserm et le CNRS avaient opté pour une méthodologie mixte, combinant deux échantillons représentatifs fin juin et décembre 2020, constitués à partir du panel BVA et des appels à participation spontanée sur des sites officiels (Santé publique France et Ameli) et sur les réseaux sociaux (Facebook, Twitter et Instagram). Une publication en 2021 faisait état de 1 942 répondants.

Pour le projet Sapriss¹⁵, le choix a été fait en avril 2020 de s'adresser à quatre grandes cohortes nationales totalisant plus de 600 000 personnes. Deux questionnaires en ligne, adressés en avril et mai aux 270 000 participants disposant d'un accès Internet, ont recueilli au total 130 000 réponses.

Pour l'étude Comcor, qui visait à décrire les lieux et les circonstances de contamination par le Sars-CoV-2, l'Institut Pasteur, l'Assurance maladie, l'Institut Ipsos et Santé publique France avaient mis en place un double mode de recrutement : les personnes

¹³ En septembre 2022, trente-cinq vagues de cette enquête avaient été réalisées auprès de 2 000 personnes *via* ce panel. Les personnes étaient interrogées par téléphone.

¹⁴ Les quatre vagues de l'enquête Coconel, pilotée par un consortium réunissant l'UMR Vitrome, le Centre d'investigation clinique Cochin-Pasteur, l'École des hautes études en santé publique (EHESP) et l'Observatoire régional de la santé Sud-Provence-Alpes-Côte d'Azur, ont totalisé 4 000 répondants.

¹⁵ Le projet SAPRIS (Santé, pratiques, relations et inégalités sociales en population générale pendant la crise de Covid-19) a été conduit par une équipe associant des chercheurs de l'Inserm, de l'INED, du CNRS et des universités.

diagnostiquées positives (et répertoriées dans la base Contact-Covid) recevaient un courriel de l'Assurance maladie les invitant à répondre à un questionnaire en ligne. Les cas témoins, non contaminés, étaient recrutés par IPSOS : sélectionnés et appariés par l'institut pour avoir le même âge, même sexe, et même lieu de résidence que les personnes positives¹⁶. En novembre 2021, 180 000 personnes avaient participé aux quatre vagues d'enquête.

Un examen systématique de cette profusion d'enquêtes qui dégagerait les biais liés aux modes de recrutement, aux modes de recueil et au défaut de représentativité dépasse les limites de cet article. Retenons, à ce stade, que les taux de réponse s'échelonnent entre 8 et 48 %. Le total des répondants aux quatre principales enquêtes françaises (Sapris, Epicov, Socialcov et Comcor) se situe autour de 500 000. Un chiffre à mettre au regard des quatre millions de Britanniques mobilisés par les questionnaires de Covid Symptom Study.

SURVEILLANCE PARTICIPATIVE DE LA PRÉVALENCE ET DE L'IMMUNITÉ

Répondre ponctuellement ou de manière régulière à un questionnaire exige un effort modéré de la part des participants. Il n'en va pas de même quand l'objectif est de connaître la circulation passée et présente du virus au sein de la population. Il faut alors recruter des volontaires qui vont accepter de réaliser eux-mêmes, chez eux, des auto-prélèvements ou des prises de sang.

Cette démarche a été esquissée en France. Dans le cadre de Sapris, un kit permettant au participant de piquer légèrement le bout de son doigt pour transférer une goutte de sang sur un buvard a été envoyé en mai et juin 2020 à 98 000 participants. Au total, plus de 88 000 échantillons ont été ainsi récupérés et analysés. Cette campagne d'études inédite a permis aux chercheurs de confirmer qu'à l'issue de la première vague, seule 5 % de la population française avait été exposée au virus. Dans le cadre d'EpiCov, 12 400 personnes ont réalisé des tests sérologiques lors de la première vague (mai 2020), puis 83 800 personnes lors de la seconde (octobre 2020).

Afin de connaître le niveau d'infection de la population et la prévalence du virus, les épidémiologistes britanniques ont adopté une approche plus exigeante, avec la constitution d'échantillons de population qui acceptaient de réaliser des auto-tests ou des prélèvements sur une base mensuelle, recrutés au travers d'un panel ou d'un échantillon aléatoire.

L'Office statistique (ONS) a entrepris, dans le cadre du Covid Infection Survey, de constituer un panel représentatif de 20 000 foyers à qui il était demandé de réaliser des prises de sang et des prélèvements. Un chargé d'enquête se rendait périodiquement dans le foyer pour administrer un questionnaire, remettre les kits de test (prise de sang et test nasal), puis les récupérer une fois les prélèvements effectués. Le Covid-19 Infection Survey est passé de 28 000 tests par quinzaine à 150 000 en octobre 2020. En mars 2021, l'enquête avait collecté plus de 3,5 millions d'écouvillons provenant de plus de 200 000 ménages britanniques différents. Ce dispositif d'enquête a été étendu en 2021 à la surveillance de la vaccination.

¹⁶ En mars 2021, les auteurs de l'étude faisaient état d'1,2 million de courriels envoyés aux personnes recensées dans la base Contact-Covid depuis le 28 octobre 2020. Pour la période du 17-29 octobre 2020, ils mentionnaient un taux de réponse de 8 %. Sur les 370 000 mails envoyés avec invitation à participer à l'étude, 30 330 questionnaires avaient été retournés par des personnes ayant très vraisemblablement été infectées entre le 17 et le 30 octobre 2020 (période du couvre-feu) : 25 644 concernaient des cas index non soignants, et 4 686 des personnels soignants.

L'Imperial College, pour sa part, est à l'origine de deux grands programmes de surveillance : React-1 (Real-time Assessment of Community Transmission Study) et React-2 (A Nationwide Coronavirus Antibody Study). Dans le cadre de React-1, chaque mois, 100 000 foyers étaient sélectionnés au hasard et recevaient des kits d'auto-prélèvement : les résultats étaient analysés ensuite pour estimer le nombre de personnes infectées à un moment donné dans l'ensemble de la population, et pour calculer le taux de reproduction. En mars 2022, à l'issue des dix-neuf vagues, React-1 avait recueilli et analysé les tests de 1 542 510 adultes. Dans le cadre de React-2, un million de personnes, sélectionnées de manière aléatoire, ont accepté de réaliser un test sérologique rapide. Cette étude a permis de comprendre, au fil du temps, combien de personnes avaient été infectées et d'identifier les groupes les plus à risque. Elle a également permis de mesurer le déclin des anticorps au fil du temps, et l'effet du programme de vaccination sur la prévalence des anticorps dans la population.

Compte tenu de la taille des échantillons mobilisés (trois millions d'adultes pour le programme React, 200 000 foyers pour le Covid Infection Survey), ce n'est pas sans raison que les Britanniques qualifient ces enquêtes de "*gold standard*" de l'épidémiologie.

LE RENDEZ-VOUS MANQUÉ DES APPLICATIONS DE TRAÇAGE AVEC L'IMPLICATION DES CITOYENS

Dès mars 2020, des épidémiologistes plaident pour le recours à des solutions numériques pour automatiser le traçage. Pour le Professeur Fraser, « au stade actuel de l'épidémie, la recherche des contacts ne peut plus être effectuée efficacement par les responsables de la santé publique [...] car le coronavirus se propage trop rapidement [...] Nous avons besoin d'une solution numérique instantanée et anonyme pour confirmer l'historique de nos contacts de personne à personne ». Une trentaine de gouvernements misèrent sur ce type d'applications pour enrayer la pandémie. Si les choix fonctionnels et techniques de ces applications donnèrent lieu en Europe à d'âpres controverses (modèle décentralisé ou centralisé, recours ou pas à l'interface de programmation proposée par Google et Apple), peu de voix se firent entendre pour prévoir une « voie de retour ». Au fil de leurs versions successives, ces applications (comme StopCovid-TousAntiCovid en France) se virent adjoindre de nouvelles fonctionnalités : flux descendant d'actualités sanitaires, codes QR comme preuve des tests de dépistage, certificats de vaccination et contrôle du pass sanitaire. L'aménagement sur ces applications d'un circuit de remontée d'informations, au travers de questionnaires (un peu sur le principe de Covid Symptom Study) n'a jamais été mis en œuvre. Il aurait permis de mener des enquêtes, générales ou ciblées, auprès des millions de personnes qui avaient fait l'effort d'installer ces applications.

TROIS ANS PLUS TARD, L'ÉPIDÉMIOLOGIE PARTICIPATIVE A-T-ELLE PROGRESSÉ ?

Très tôt, dès mars 2020, les autorités de santé, les organismes de recherche et les médecins comprennent la nécessité d'aller chercher l'information au-delà de l'hôpital, auprès de répondants qui vivent en temps réel l'expérience de la maladie et de la contagion, les questionnaires en ligne permettant une remontée des données en boucle courte. Le Covid-19 a confronté les scientifiques à une immense course de vitesse pour comprendre au plus vite la biologie, la propagation et les implications du virus sur la santé et le bien-être. On a ainsi pris la mesure, à l'occasion de cette crise sanitaire, de l'intérêt d'impliquer le public dans la production des données et des connaissances. Les enquêtes jouent un rôle important dans l'identification précoce des symptômes (quand ceux-ci étaient encore obscurs), la compréhension des mécanismes de circulation, puis la compréhension, la reconnaissance

et la prise en charge du Covid long. Et cela, soit en privilégiant les grands nombres (avec un maximum de volontaires), soit en constituant des échantillons représentatifs.

Si la contribution volontaire du public est le facteur commun à l'ensemble de ces dispositifs, on observe une grande diversité des modes de recrutement. Certains panels sont aléatoires, reposant sur des appels à participation *via* les réseaux sociaux avec des relais dans la presse. D'autres mobilisent des instituts de sondage, ou des cohortes préexistantes, constituées de populations spécifiques (âge, patients chroniques à risque). On constate aussi que des équipes de recherche, par exemple travaillant sur le sommeil et le rêve, ou l'attention et la concentration, vont voir dans l'épidémie une opportunité d'enquête en situation de crise qui renouvelle leurs approches thématiques.

D'où un effet certain de dispersion et de manque de coordination, les initiatives semblant parfois redondantes alors qu'une conception commune aurait pu amplifier la capacité d'action et la puissance des résultats.

Cette diversité vaut aussi pour les modes d'implication, plus ou moins exigeants, selon la nature, la régularité et l'intensité de l'effort demandé aux participants. C'est, en effet, une chose de répondre ponctuellement à une enquête. C'en est une autre de s'engager à répondre chaque jour ou chaque mois à un questionnaire. Et c'en est encore une autre que d'accepter de réaliser un test sérologique et ou prélèvement nasal, ponctuellement ou tous les mois. Bien que la plupart des enquêtes reposent sur des collectes d'informations somme toute classiques, leur régularité, réitération et durée expliquent l'évolution participative des enquêtes épidémiologiques au fil de deux ans. Tim Spector, le fondateur de Covid Symptom Study (citée ci-avant) met l'accent sur deux transformations : les données quotidiennes des états de santé de la population volontaire ont alimenté prioritairement le tableau de bord des autorités de santé, professionnelles et politiques. Elles ont aussi donné un rôle actif aux informateurs. Car, pour maintenir l'engagement, il fallait leur montrer ce que leur contribution produisait comme connaissance et comme décision, et donc donner à la médiation scientifique, aux *feedbacks* entre chercheurs et usagers, une part accrue qui va, dans le cas de Covid Symptom Study, jusqu'à prendre les commentaires des contributeurs en compte dans le choix des futurs sujets. Ce qui est un pas vers une épidémiologie réellement participative, dépassant le stade du *crowdsourcing*.

À cet égard, il est significatif que Covid Symptom Study soit devenu Zoe Health Study (Grande-Bretagne et États-Unis), une application de veille participative sur un large éventail de thématiques de santé publique, fondée sur ce même principe de collecte quotidienne auprès de 800 000 contributeurs réguliers.

L'épidémie, par ailleurs, a créé un effet d'aubaine, mettant à la disposition de la recherche une population disponible pour les enquêtes, sidérée par l'épidémie et désireuse de contribuer à la maîtriser. Ceci n'est pas propre au domaine de la santé. Les confinements et l'épidémie ont aussi fait de l'éducation un vivier d'enquêtes innombrables sur l'apprentissage à distance, les usages numériques des familles, les options de matériels et de logiciels retenues par les enseignants, apportant à la fois une accélération inattendue des pratiques de formation numérique et d'importantes ressources pour orienter une politique éducative.

L'ÉPIDÉMIE EST-ELLE UNE AVANCÉE POUR LA DÉMOCRATIE SANITAIRE ?

La démocratie sanitaire est définie par la participation active des usagers à l'élaboration des politiques de santé. Elle suppose d'améliorer la participation et la concertation. Les enquêtes participatives ont-elles nourri le débat public ?

Si cet article se limite aux enquêtes instaurées par les organismes de recherche et les autorités de santé, le foisonnement de dispositifs d'enquêtes faisant appel à la participation du public mériterait un examen plus systématique¹⁷ dans la perspective des sciences citoyennes, sans sous-estimer la part des initiatives citoyennes constituées sur la dénonciation ou la compensation des carences des systèmes de santé des États. Ainsi dans le cas du Covid long, les initiateurs de communautés de patients dénoncent l'aveuglement des dirigeants (*"flying blind"*) face à une catastrophe sanitaire à retardement et silencieuse. Ils entendent résister à un délaissement social, voire à une stigmatisation. Ils critiquent une médecine d'austérité, qui n'a plus de disponibilité pour prendre en considération leurs malaises invalidants. Les communautés du Covid long se distendront dès que les hôpitaux répondront par une prise en charge et une reconnaissance du tableau clinique. N'oublions pas que la participation est un outil de lutte pour l'expression.

Enfin, cette longue épidémie a aussi permis une acculturation aux données de santé, les indicateurs hebdomadaires d'évolution de la pandémie étant suivis comme une météo épidémiologique par des publics non spécialistes, *via* les commentateurs (presse, télévision, réseaux sociaux) ou StopCovid et les sites de santé, et l'*open data* en santé devenant un pôle de débat public, grâce à la publication de tableaux de bord de référence comme CovidTracker. Si les médias numériques ont favorisé la relation entre épidémiologistes et patients, en multipliant les accès rapides à des panels même improvisés, on peut se demander quel rôle joueront dans les évolutions ultérieures de l'épidémiologie une littératie des données de santé, et les formes diverses d'engagement et d'expertises des publics expérimentées en deux ans et plus de collectes régulières.

BIBLIOGRAPHIE

DONNELLY E., TOOF R. & SILKA L. (2021), "Community-Based Participatory Research During the Covid-19 Crisis: Lessons for Partnership Resiliency", *Journal of Higher Education Outreach and Engagement*, Vol. 25.

FREIFELD C. C., CHUNARA R., MEKARU S. R., CHAN E. H., KASS-HOUTT., IACUCCI A. A. & BROWNSTEIN J. S. (2010), "Participatory epidemiology: Use of mobile phones for community-based health reporting", *PLoS medicine*.

TURBE A. (2021), "Citizen investigating the potential of citizen science to respond to emerging challenges. A Covid-19 review and case study analysis", Citizen Science Track.

¹⁷ Le collectif Citizen Science Track a étudié 25 projets de science citoyenne axés sur le Covid-19. 40 % des projets examinés portaient sur le suivi de la propagation du Covid à partir des symptômes déclarés, 24 % sur l'impact du Covid sur le bien-être des personnes, 16 % sur les caractéristiques biologiques ou chimiques de la protéine CoV-2 du Sras. 72 % de ces projets étaient entièrement nouveaux.

Le *making of* du suivi de la crise du Covid-19 au *Monde*

Par Les Décodeurs du *Monde*

Journal *Le Monde*

En quelques semaines, une « pneumonie atypique » apparue en Chine est devenue une pandémie mondiale, bouleversant nos vies. Comment rendre compte de l'ampleur, des effets et de la propagation de cette maladie qui allait devenir le Covid-19 ? Depuis le début de la pandémie, le service des Décodeurs du journal *Le Monde* a tenté de suivre au jour le jour l'étendue de cette urgence de santé publique mondiale.

Raconter comment nous avons tenté de rendre compte de l'étendue de l'urgence sanitaire depuis les premiers cas – recensés de manière artisanale –, c'est raconter une histoire de l'épidémie et de l'impréparation des agences sanitaires en matière de données ouvertes. De fait, ces dernières eurent un intérêt capital pour nos lecteurs, puisque c'est en fonction de divers indicateurs – contaminations, R0, hospitalisations, décès, etc. – que se sont décidées des politiques sanitaires qui allaient avoir un impact majeur sur nos vies.

C'est au moment où la France se remettait doucement d'une longue grève contre la réforme des retraites que la nouvelle d'une « pneumonie atypique » apparue en Chine est arrivée jusqu'à nous. Information presque insignifiante en premier lieu, comme il en existe tant dans le flux de l'actualité. Et pourtant. Cette maladie inconnue est devenue en quelques semaines une préoccupation majeure, un sujet total dans lequel nous étions plongés tant comme journalistes que citoyens, d'une ampleur telle qu'elle a bouleversé chaque pan de nos vies et de nos sociétés. En 2020 et 2021, le Covid-19 a été le thème quasi unique de notre travail aux Décodeurs.

En temps normal, notre mission consiste à vérifier les informations qui pourraient être fausses, à expliquer l'actualité, à manier la donnée (publique ou non), à enquêter, à essayer de nouvelles manières d'écrire des articles et de raconter l'actualité. Ce service du journal *Le Monde* créé en 2014 est composé d'une vingtaine de personnes qui ont un profil rare : tous sont journalistes ; la plupart ont également des compétences ou une formation techniques dans le développement informatique, les bases de données, la cartographie, etc.

En sus des articles de vérification et d'explication, ces compétences juxtaposées nous ont amenés à nous intéresser à la question de ce que l'on appelle improprement les « chiffres » d'une épidémie qui allait devenir pandémie mondiale. Nul besoin de refaire la chronologie de cette période dont chacun se souvient – d'autant plus qu'hélas, elle n'est pas close et ne le sera peut-être pas avant des lustres. Mais l'histoire des données liées au Covid-19 raconte en creux la chronologie d'une maladie dont nous avons découvert en temps réel l'ampleur (contaminations), les effets (hospitalisation, mortalité), la propagation géographique et la propension à se diffuser par vagues successives.

PREMIERS SUIVIS DE CE QUI N'ÉTAIT ALORS QU'UNE MALADIE



Figure 1. Le premier tableau de suivi du Covid-19 du *Monde*, publié le 24 janvier 2020, proposait une synthèse des décès dus au coronavirus recensés dans le monde (Sources : OMS, ministère de la Santé de Singapour, NGC/Chine).

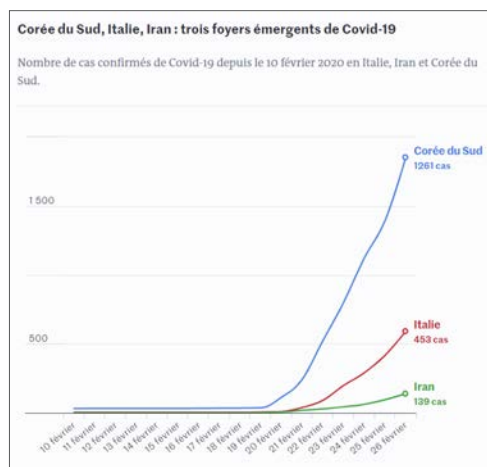


Figure 2. En dehors de la carte, le premier tableau de bord, publié le 27 février 2020, contenait un graphique qui ne suivait « que » les foyers actifs de la maladie, lesquels étaient particulièrement surveillés (Source : Université John Hopkins CSSE).

Aux Décodeurs, tout a commencé le 24 janvier 2020 avec la publication d'un simple tableau (voir la Figure 1 ci-contre), renseigné à la main, qui recensait les quelques centaines de cas déclarés en Chine et les premières contaminations hors du pays. Lorsque nous l'avons publié, nous nous sommes demandé quel serait son destin. Soit cette maladie émergente demeurait à une ampleur limitée comme le fut le Sars-CoV-1 vingt ans plus tôt ; soit le nombre de cas explosait et ce décompte artisanal s'avèrerait rapidement dépassé.

Dans les semaines qui ont suivi, le monde, petit à petit, a pris la mesure de l'ampleur de la crise sanitaire, justifiant son confinement progressif par la diffusion des cas. Comment rendre compte à nos lecteurs de l'avancée d'un virus se jouant des frontières ?

Nous avons publié le 27 février 2020 un premier tableau de bord¹ mettant l'accent sur les cas confirmés des trois foyers actifs hors de Chine : la Corée du Sud, l'Iran, et l'Italie. « La France », écrivions-nous alors, « n'est pour le moment pas considérée comme un foyer épidémique, mais cette situation pourrait changer. »

Le graphique (voir la Figure 2 ci-contre) et le planisphère (voir la Figure 3 page suivante) de cet article (actualisé quotidiennement) étaient basés sur le travail de mise à jour de l'Université Johns Hopkins (JHU, États-Unis), qui était la seule institution proposant des données ouvertes actualisées chaque jour, bien avant que l'Organisation mondiale de la santé ne publie son propre tableau de bord. Ce système artisanal nous a permis dans un premier temps d'automatiser la mise à jour à un rythme important. Cette masse de données est rapidement devenue ingérable : le tableur source n'a cessé de s'agrandir et est devenu un vrai château de cartes, fondé sur une ribambelle de formules, lesquelles

¹ https://web.archive.org/web/20200227235003/https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2020/02/27/en-carte-visualisez-la-propagation-mondiale-de-l-epidemie-de-coronavirus_6031092_4355770.html

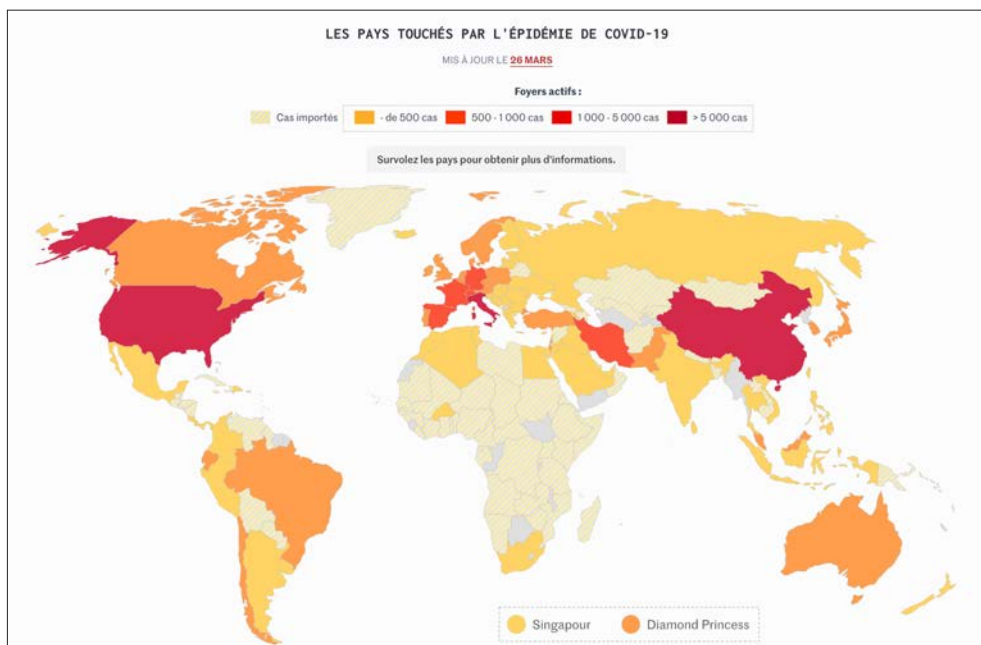


Figure 3. Le premier vrai tableau de bord de suivi du Covid-19, publié le 26 mars 2020, comportait en premier lieu une carte du monde des contaminations, en différenciant à l'époque les cas dits « importés » des transmissions intra-nationales (Source : Université John Hopkins CSSE).

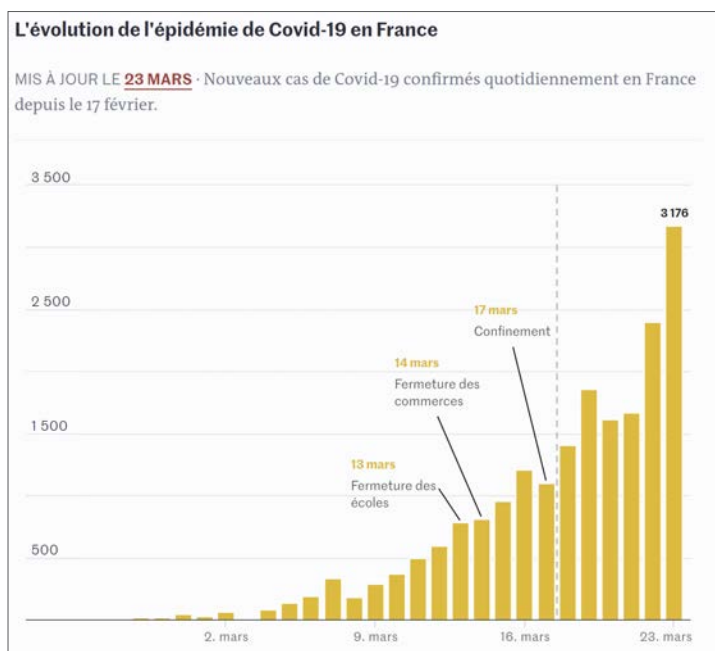


Figure 4. Le premier graphique de suivi des cas en France, publié le 23 mars 2020, d'après les annonces quotidiennes de Jérôme Salomon, le directeur général de la santé, à la presse tous les soirs. Le graphique est annoté des quelques événements qui ont jalonné le mois de mars 2020.

pouvaient faire tomber l'intégralité du flux de données en cas d'irrégularités. D'autant plus que la création et la maintenance n'étaient opérées que par une seule personne.

Entre février et fin mars 2020, les autorités françaises ont rencontré beaucoup de difficultés² pour communiquer les données dont elles disposaient. Pendant les premières semaines, le nombre de cas, d'hospitalisations ou de décès étaient communiqués à l'oral vers 19 heures lors du point presse de Jérôme Salomon et saisies à la main par la rédaction du Monde.fr. Il a fallu attendre la fin mars, soit deux semaines après le début du confinement, et le zèle d'Etalab, le bras armé numérique de Matignon, pour disposer des données collectées par Santé publique France (SPF).

Un premier jeu de données hospitalières³ déposé sur Data.gouv.fr le 27 mars 2020 nous a ainsi permis de publier début avril, en amont du tableau de bord principal, un article détaillant les hospitalisations et décès par département⁴. Ces données locales ont attiré de nombreux lecteurs.

Le même jour, Etalab a mis en ligne le premier “*dashboard*”⁵ du gouvernement sur le Covid-19 et les données brutes sur Data.gouv.fr. Pour la première fois, les données de SPF sont enfin accessibles en *open data* et peuvent rendre compte, dans notre tableau de bord, de l'évolution de l'épidémie en France sans plus passer par les données de JHU, mais bien par des sources nationales et officielles.

Face à l'émergence de ces nouveaux indicateurs et au succès rencontré par le tableau de bord, il a été décidé mi-avril de construire une page de suivi plus complète, plus réfléchie et plus ambitieuse, aussi bien techniquement qu'éditorialement.

CRÉER UN REPÈRE DURABLE POUR LES LECTEURS

Pour ce nouveau tableau de bord, l'objectif a été de proposer un objet durable aux lecteurs, ce qui impliquait plusieurs choses : il fallait qu'il soit aussi facile que possible à maintenir, que le flux de données soit plus robustement géré, et que son design soit pérenne et utilise des codes visuels adaptés au suivi d'une crise sanitaire.

Les flux ont été gérés par des scripts automatisés qui aspiraient directement les sources officielles. Ils sont accessibles *via* des URL d'un sous-domaine du Monde.fr capable de supporter un trafic important.

Figure 5. Reprenant ce que proposait le premier tableau de bord, le second tableau de bord publié le 6 mai 2020 s'ouvrait par une synthèse de la situation mélangeant texte et graphiques mis à jour automatiquement (Source : Université John Hopkins CSSE).



² https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2020/04/15/covid-19-le-sursaut-des-administrations-pour-fournir-des-donnees-chiffrees_6036687_4355770.html

³ <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/donnees-hospitalieres-relatives-a-lepidemie-de-covid-19/>

⁴ https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2020/04/01/coronavirus-visualisez-le-nombre-de-personnes-hospitalisees-departement-par-departement_6035199_4355770.html

⁵ <https://web.archive.org/web/20200328082306/https://dashboard.covid19.data.gouv.fr/>

Quelles données pour suivre l'épidémie ?

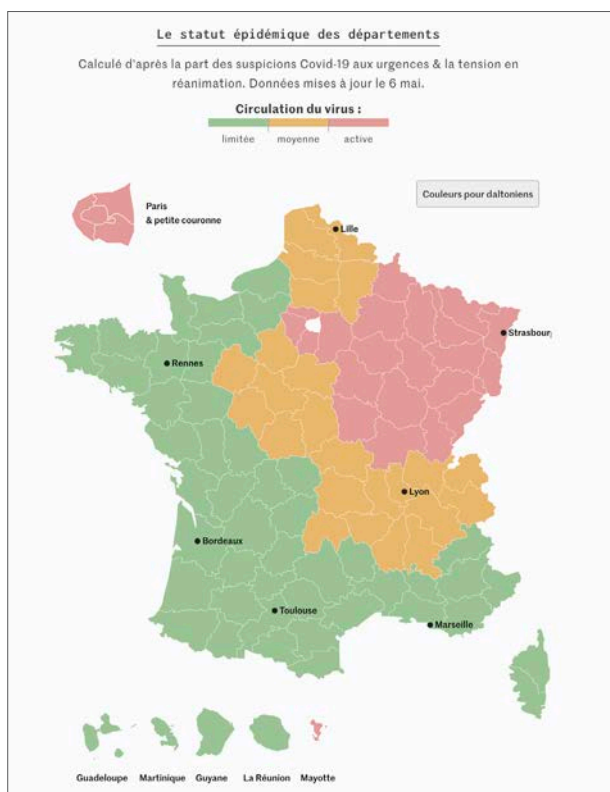
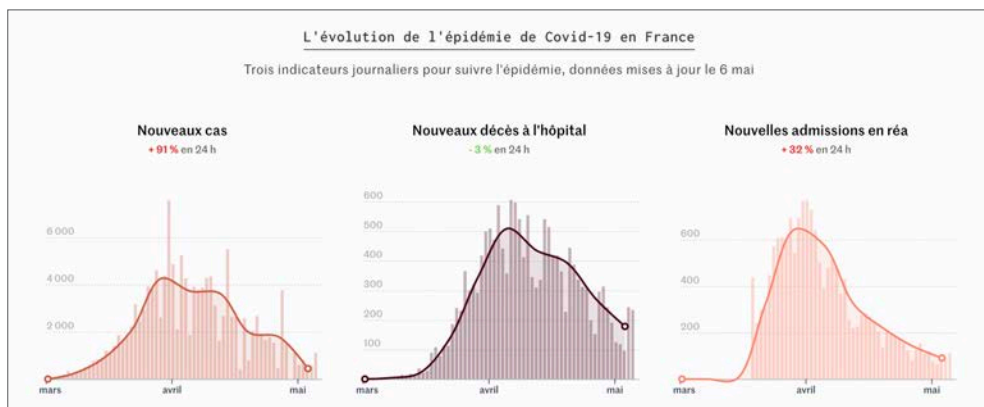


Figure 6 ci-contre. Désormais obsolète, cette carte, publiée le 6 mai 2020, était au début du second tableau de bord dévolue à synthétiser chaque jour le « statut épidémique » des départements décrété par le gouvernement. Une métrique imparfaite qui a été abandonnée au bout de quelques mois.

Figure 7 ci-dessous. Ce second tableau de bord, publié le 6 mai 2020, proposait aussi de suivre les statistiques gouvernementales en distinguant les nouvelles données quotidiennes en barres de tendances à moyen terme (les moyennes glissantes sur sept jours) incarnées par des lignes. Une combinaison qui deviendra rapidement un standard dans les visualisations dédiées au Covid-19.



L'accent a aussi été mis sur le design de la page, conçu avec les équipes de la direction artistique du journal pour harmoniser les visuels et proposer une lecture simple, claire, et agréable aux lecteurs. C'est passé par une refonte des codes couleur qui différenciait les multiples données (les contaminations, les hospitalisés, admis en réanimation, et les décès, principalement). Les nuances ont été choisies afin de refléter une « gradation » de gravité, du simple cas jusqu'au décès, en prenant soin d'obtenir un « espacement » chromatique similaire entre chaque.

Après trois semaines de télétravail (nous étions alors tous confinés), de design et de « couture » tant éditoriale que technique entre les différentes parties du tableau de bord, le projet a fini par prendre forme.

Alors, quand le tableau de bord a été publié, le 5 mai 2020⁶, des doutes nous ont encore traversés : cette page de suivi n'arrivait-elle pas trop tard ? Serait-elle utile aux lecteurs et lectrices, alors que certains scientifiques professaient qu'il n'y aurait « pas de deuxième vague » ? Ces inquiétudes ont été vite démenties par le succès du tableau de bord.

LA NÉCESSITÉ DE S'ADAPTER, DE MAINTENIR ET DE FAIRE ÉVOLUER

La publication du tableau de bord n'a cependant pas signifié la fin du travail autour de cet objet éditorial. Il s'agissait désormais de maintenir les flux de données au gré des pannes techniques ou des modifications de la structure des données fournies par les organisations publiques, en particulier Santé publique France (SPF). C'étaient d'ailleurs parfois des lecteurs assidus qui pointaient les *bugs*, notamment quand ces derniers survenaient le soir ou en fin de semaine.

Pour certains, il suffisait d'adapter nos scripts d'importation des données, en les rendant plus stricts et en prévoyant la détection et le traitement des erreurs possibles. Pour d'autres, il s'agissait de modifier le code de nos graphiques en fixant un maximum dans l'échelle des ordonnées pour éviter qu'un rattrapage statistique fait par un pays n'aplatisse le graphique des cas confirmés correspondant à celui-ci. En mai 2020, des corrections concernant les données des décès en EHPAD ont aussi donné lieu à des adaptations pour éviter d'afficher des valeurs négatives de morts. Les modifications plus légères des données de SPF, par exemple en mars 2021, après que l'agence a décelé une surestimation de ses indicateurs de suivi des tests virologiques, ont été automatiquement apportées dans nos graphiques de suivi, ceux-ci étant branchés sur des fichiers régulièrement mis à jour *via* des *cron jobs*, c'est-à-dire des actions automatisées depuis notre serveur.

Dans plusieurs cas, un article d'explication a été publié en parallèle du tableau. Pour les informations moins importantes, un système de « messagerie » a permis de placer un encart au-dessus d'un graphique, donnant du contexte sur les changements ou pannes. L'objectif était toujours d'expliquer ce qui s'était passé aux lecteurs et lectrices, de leur rappeler constamment les définitions, les limites et les précautions à prendre avec les données qui étaient partout dans le discours public.



Figure 8.

Le premier tableau de bord, publié le 30 mai 2020, proposait une synthèse de l'état de la pandémie dans le monde avec un graphique en barres empilées au temps T (inspiré par Reuters Graphics) et un graphique historique.

⁶ https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2020/05/05/coronavirus-age-mortalite-departements-pays-suivez-l-evolution-de-l-epidemie-en-cartes-et-graphiques_6038751_4355770.html

Nous avons d'ailleurs toujours gardé en tête que les données restaient au cœur des enjeux politiques : régulièrement, nous avons décidé d'ajouter ou de retirer des graphiques de notre page de suivi. Nous avons par exemple décidé d'intégrer, début 2021, des données réclamées aux autorités sanitaires depuis longtemps : la distinction entre les hospitalisations de personnes soignées « pour » Covid-19 et celles de personnes porteuses du Covid-19 mais hospitalisées pour un autre motif.

Au total, entre le 5 mai 2020 et le 15 décembre 2022, le tableau de bord a été republié – et donc modifié – 549 fois, soit en moyenne tous les deux jours. La majorité de ces republications était destinée à réparer des *bugs*, le reste à modifier, ajouter ou retirer des visuels ou des textes. Certaines ont été de plus grande envergure : en mai 2021, pour le premier anniversaire de notre outil, une refonte importante a été publiée, incluant des évolutions graphiques : placement de la partie française en haut de page, évolution de la présentation des visuels, optimisation sur écrans mobiles, ajout de certains indicateurs et retrait d'autres, comme le profil des morts.

UN TABLEAU DE BORD PEUT EN CACHER D'AUTRES

Mi-juillet 2020 a été créé sur le même modèle un article de suivi des tests virologiques par département, accompagnant la montée en puissance du dispositif national de dépistage pendant l'été, puis un autre mi-novembre (à la faveur du second confinement) classant les 101 départements français selon la tendance des hospitalisations. En 2021, deux autres “trackers” ont été publiés : un article sur l'évolution des variants du coronavirus Sars-CoV-2, mais surtout un suivi du fait majeur de la première moitié de 2021 : la campagne de vaccination.

Après la première injection, le 27 décembre 2020, les jeux de données sur la vaccination sont arrivés rapidement en libre accès (toujours sur Data.gouv.fr, le portail officiel d'*open data* de l'État français), ce qui nous a permis de lancer un nouveau tableau de bord, aussi important que celui sur le suivi de la pandémie en elle-même. Les mêmes règles de design ont été appliquées afin d'en faire une page jumelle de celui du printemps 2020. Dans les semaines et les mois qui ont suivi le déploiement de la vaccination contre le Covid-19 en France, ce nouveau tableau de bord a connu un succès d'audience certain.

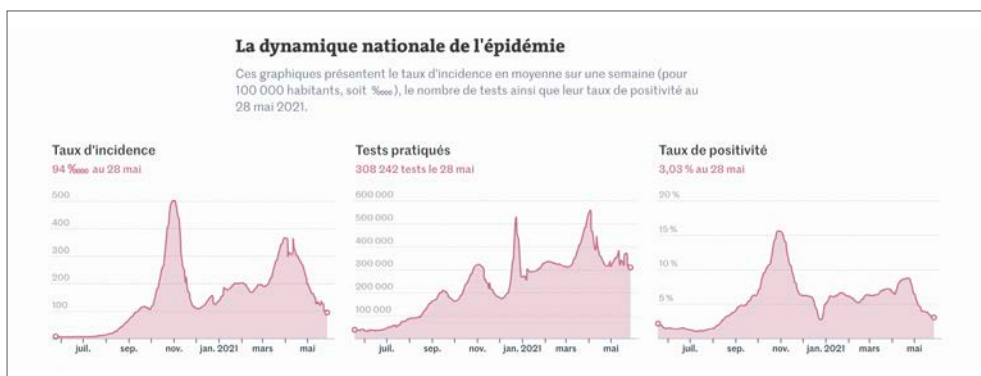


Figure 9. Les données virologiques, publiées le 28 mai 2021, font partie des nouvelles métriques mises progressivement en *open data* par les services gouvernementaux, et que l'on a choisies de représenter afin de mieux comprendre les évolutions du nombre de cas détectés.

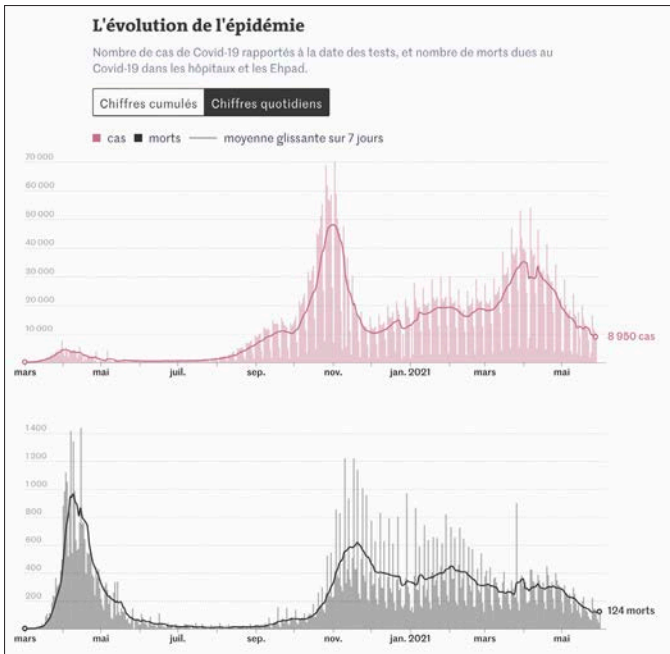


Figure 10.
Un an après sa première publication, le 18 juin 2021, le principal tableau de bord de suivi a subi une mise à jour majeure de son design, plus cohérent et plus travaillé.



Figure 11. Le planisphère a été revu et corrigé pour proposer, le 14 décembre 2022, en plus des cas et des morts, un onglet « dynamique » qui visualise les tendances récentes de chaque pays.

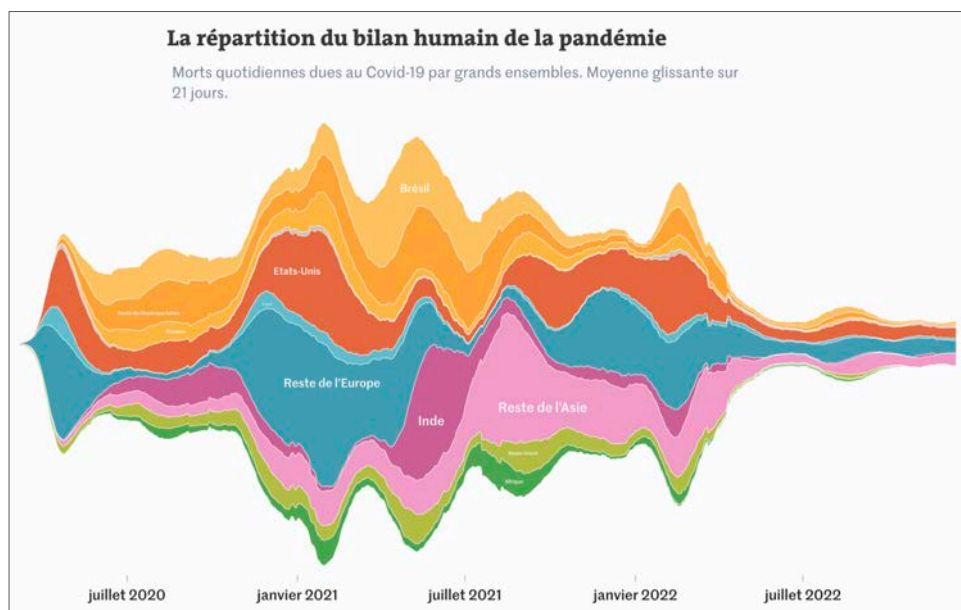


Figure 12. Ce tableau de bord mis à jour s'est enrichi, le 14 décembre 2022, de quelques visualisations, dont ce "streamchart" permettant de visualiser la répartition des décès dus au Covid-19, par grand bloc géographique (inspiré de l'excellent travail du *Financial Times* en la matière).

UN SUCCÈS D'AUDIENCE CERTAIN ET UNE MONTÉE EN COMPÉTENCES

Le tableau de bord principal dédié au Covid-19 est l'article le plus lu de l'histoire du site du *Monde*, notamment grâce à sa longévité. Au 15 décembre 2022, il cumule plus de 30 millions de visites. Plus largement, sur la même période, les huit articles de suivi du Covid-19 publiés aux Décodeurs en 2020 et 2021 ont attiré près de 60 millions de visites.

Si l'exploitation de données était déjà au cœur des pratiques éditoriales des Décodeurs, la création et la maintenance des tableaux de bord du Covid nous ont appris beaucoup sur la visualisation des données, sa mise en contexte et sa hiérarchisation.

Grâce à la montée en compétences induite par ce projet, le format « tableau de bord » est également entré dans nos habitudes. Nous l'avons ainsi décliné sur l'élection présidentielle, ou la production d'électricité.

Comment vulgariser les données du Covid ?

Par Nicolas BERROD

Journaliste au *Parisien*

Depuis le début de la pandémie de Covid-19, au début de l'année 2020, les données sont indispensables pour suivre l'évolution de l'épidémie et tenter d'anticiper la suite des événements. Taux d'incidence, nombre de patients hospitalisés, part de chaque variant du Sars-CoV-2 parmi les nouveaux cas positifs, couverture vaccinale... Ces indicateurs sont fournis à un rythme quotidien, hebdomadaire ou mensuel par plusieurs organismes officiels. En tant que journalistes, nous avons comme mission de les utiliser et de les vulgariser dans nos articles et commentaires publiés sur les réseaux sociaux. Et lorsque l'on travaille au *Parisien*, journal très grand public, il nous faut aussi parvenir à rendre ces données accessibles à tous. Voici comment nous avons procédé.

PLUSIEURS SOURCES DE DONNÉES

Les choses seraient simples si toutes les données nécessaires étaient disponibles à un seul endroit. Malheureusement, mais sans surprise, ce n'est pas le cas. Voici les principales sources disponibles.

Santé publique France

L'agence sanitaire nationale publie, quotidiennement, de très nombreux indicateurs liés à la pandémie de Covid-19 : taux d'incidence (c'est-à-dire nombre de cas positifs pour 100 000 habitants sur la semaine écoulée), nombre de patients hospitalisés, nombre de personnes recevant une première dose, une deuxième dose, ou une dose de rappel de vaccin quotidiennement, part de chaque mutation détectée dans les tests positifs passés au criblage, etc. Regroupés en différentes bases de données (SI-DEP pour les tests, SI-VIC pour l'hôpital et VAC-SI pour la vaccination), ils sont généralement disponibles à l'échelle départementale et régionale, sur [Data.gouv.fr](https://data.gouv.fr) et sur le site Géodes¹.

Santé publique France est, de très loin, le premier fournisseur de données Covid dans le pays. Néanmoins, à plusieurs reprises, nous avons eu du mal à comprendre que des données publiées dans ses rapports hebdomadaires ne soient pas disponibles en *open data*, nous empêchant ainsi de les exploiter facilement. Je pense, par exemple, à la part de cas positifs symptomatiques et asymptomatiques.

L'Assurance maladie

Fin mai 2021, l'Assurance maladie a mis en ligne ses propres données de vaccination, téléchargeables en fichiers facilement exploitables². Le principal avantage, par rapport aux indicateurs publiés par Santé publique France, est que l'on dispose des couvertures

¹ <https://geodes.santepubliquefrance.fr/>

² <https://datavaccin-covid.ameli.fr/pages/home/>

vaccinales par type de comorbidités. Ainsi, il est possible d'estimer la part de personnes obèses (particulièrement à risque de forme grave) vaccinées et donc non vaccinées, par exemple.

La Drees

La Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques (Drees) s'est, notamment, fait connaître pour ses données d'efficacité de la vaccination. À partir de l'été 2021, l'organisme dépendant directement du ministère de la Santé a publié chaque semaine, en *open data*³, les nombres de patients testés positifs, hospitalisés, admis en soins critiques et décédés en fonction de leur statut vaccinal. En rapportant ces valeurs à la population de chaque groupe (les non-vaccinés, les vaccinés avec une seule dose, les vaccinés avec dose de rappel, etc.), on obtient des taux rapportés à un même nombre d'habitants. Il est possible d'en déduire, par exemple, que le risque d'hospitalisation apparaît X fois moins élevé chez une personne vaccinée que chez une autre n'ayant reçu aucune dose de vaccin. Mais ces données comportent de nombreuses limites, sur lesquelles nous reviendrons dans la suite de cet article.

Mais aussi l'Insee, l'Inserm, l'OMS, Our World in Data...

D'autres institutions officielles fournissent des données utiles pour le suivi de la pandémie de Covid-19. L'Insee, par exemple, « produit » le nombre de décès toutes causes confondues recensés chaque jour en France⁴. Les vagues de Covid-19, et notamment les premières d'entre elles, ont évidemment eu un lourd impact. Le Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès (CépiDc) de l'Inserm, de son côté, fournit le nombre de décès liés au Covid-19, c'est-à-dire pour lesquels le terme « Covid » apparaît sur le certificat de décès⁵.

Enfin, des sources de données internationales se sont également révélées très utiles. L'Organisation mondiale de la santé (OMS), par exemple, met régulièrement à jour les nombres de cas positifs et de décès recensés chaque jour dans de nombreux pays dans le monde⁶. Ces informations sont également visibles sur la plateforme Our World in Data⁷, qui facilite les comparaisons internationales à partir d'un très grand nombre d'indicateurs.

COMMENT VULGARISER LES DONNÉES ?

De précieuses infographies

L'un des premiers réflexes face à des données chiffrées listées dans un tableau, c'est de se demander sous quelle forme les rendre visuelles et les mettre en images. Nous avons la chance, au *Parisien*, de disposer d'un service infographie très efficace qui peut réaliser de nombreuses figures variées.

Le type de graphique le plus classique, et qui « fonctionne » toujours très bien, est la courbe. Ceci vaut pour l'évolution du taux d'incidence dans plusieurs départements, par

³ <https://data.drees.solidarites-sante.gouv.fr/explore/dataset/covid-19-resultats-par-age-issus-des-appariements-entre-si-vic-si-dep-et-vac-si/export/>

⁴ <https://www.insee.fr/fr/statistiques/6206305>

⁵ <https://opendata.idf.inserm.fr/cepidc/covid-19/>

⁶ <https://covid19.who.int/data>

⁷ <https://ourworldindata.org/explorers/coronavirus-data-explorer>

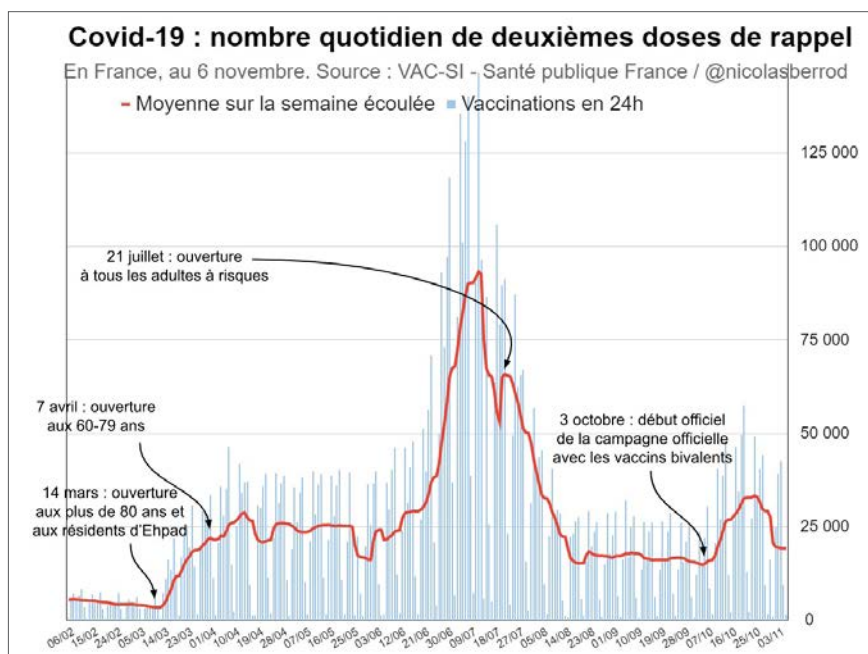


Figure 2. Nombre quotidien de deuxièmes doses de rappel contre le Covid-19 en France au 6 novembre 2021 (© Nicolas Berrod, Source : Santé publique France).

forte circulation du virus. Mais d'un autre côté, si ce taux a fortement diminué durant les jours précédents, ceci constitue l'information la plus importante.

Des vaccins soi-disant inefficaces

Un autre exemple très marquant porte sur les données de la Drees. En novembre 2021, les vaccinés sont devenus plus nombreux que les non-vaccinés parmi les patients diagnostiqués Covid-19 admis chaque jour à l'hôpital. Certaines personnes en ont déduit que la vaccination ne marchait pas, à tort. En effet, plus la couverture vaccinale d'une population augmente, plus la part de patients vaccinés parmi ceux hospitalisés est susceptible d'augmenter elle aussi.

Prenons le cas extrême (et purement théorique) d'une population vaccinée à 100 %. Comme les vaccins ne protègent pas à 100 % contre les formes graves (mais plutôt autour de 90 % durant les premiers mois), certaines personnes tomberaient malades et seraient hospitalisées. Au final, 100 % des patients admis à l'hôpital seraient... vaccinés. Pour bien interpréter ces données, il faut ainsi rapporter le nombre de personnes hospitalisées à la « population » de chaque groupe, celui des vaccinés et celui des non-vaccinés¹⁰.

Gare aux biais d'interprétation

Un autre piège à éviter porte sur les biais, qu'il faut toujours avoir en tête. Prenons les admissions quotidiennes à l'hôpital. Les valeurs pour le samedi et le dimanche sont toujours beaucoup plus basses que les autres jours de la semaine. La raison est simple :

¹⁰ « Covid-19 : pourquoi y a-t-il désormais plus de vaccinés que de non-vaccinés admis à l'hôpital ? », *Le Parisien*, 18 novembre 2021, <https://www.leparisien.fr/societe/covid-19-pourquoi-y-a-t-il-desormais-plus-de-vaccines-que-de-non-vaccines-a-lhopital-18-11-2021-4OUPPBewanBRXMC6EIZWS725CU.php>

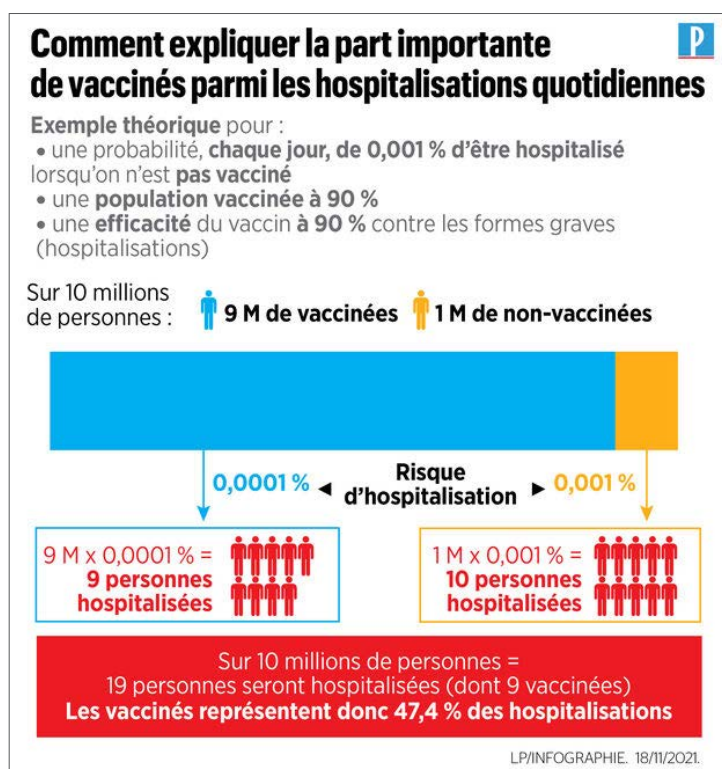


Figure 3. La part des vaccinés parmi les hospitalisations quotidiennes
 (Source : *Le Parisien*).

le personnel est moins nombreux le week-end, donc il a moins facilement l'opportunité et la possibilité de faire « remonter » les données dans la base SI-VIC¹¹. Se contenter du chiffre annoncé le samedi et le comparer à celui de la veille pourrait conduire à dire que les admissions à l'hôpital sont en baisse.

Il faut toujours calculer la moyenne glissante sur sept jours, généralement sur la semaine écoulée, afin de lisser les variations quotidiennes. Mais ceci ne résout pas tout. Lorsqu'un jour férié tombe en semaine, ce qui arrive plusieurs fois chaque année, ces moyennes glissantes vont être touchées puisque le jour férié en question (avec très peu de tests réalisés ou de remontées d'informations) va remplacer un jour « normal ». Là aussi, mentionner ce biais est primordial¹².

Et si des données s'avèrent erronées ?

Lorsque l'on utilise des données fournies par des instances officielles, on part du principe qu'elles sont correctes. Il est cependant arrivé, à plusieurs reprises, qu'elles s'avèrent erronées. Ce qui implique d'y revenir *a posteriori*. Deux exemples permettent de l'illustrer.

¹¹ « Coronavirus : pourquoi y a-t-il moins de morts annoncés le dimanche ? », *Le Parisien*, 18 avril 2020, <https://www.leparisien.fr/societe/coronavirus-pourquoi-y-a-t-il-moins-de-morts-annonces-le-dimanche-18-04-2020-8301816.php>

¹² « Covid-19 : pourquoi le taux d'incidence va artificiellement chuter ce jeudi soir ? », *Le Parisien*, 8 avril 2021, <https://www.leparisien.fr/societe/covid-19-pourquoi-le-taux-d-incidence-va-mecanique-ment-chuter-ce-jeudi-soir-08-04-2021-YDM7FWYIM5HW7ALOH3RVK2WSJU.php>

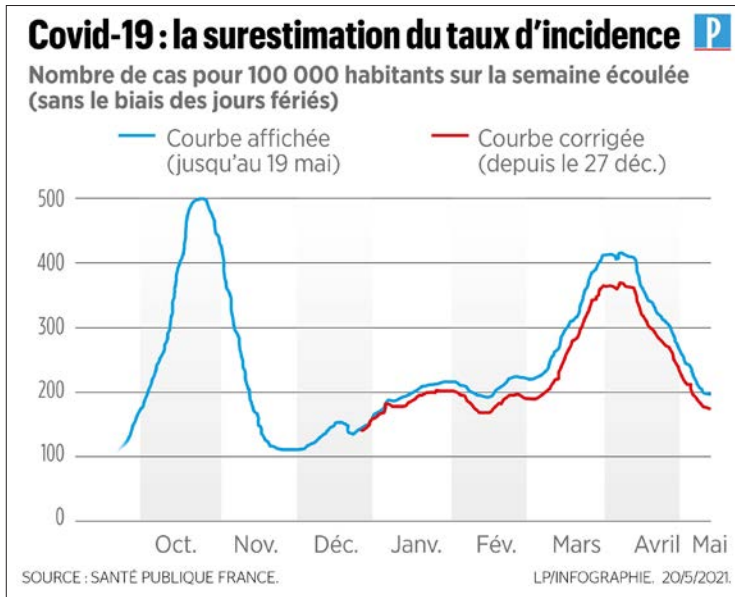


Figure 4. La surestimation du taux d'incidence (Source : Santé publique France dans *Le Parisien*).

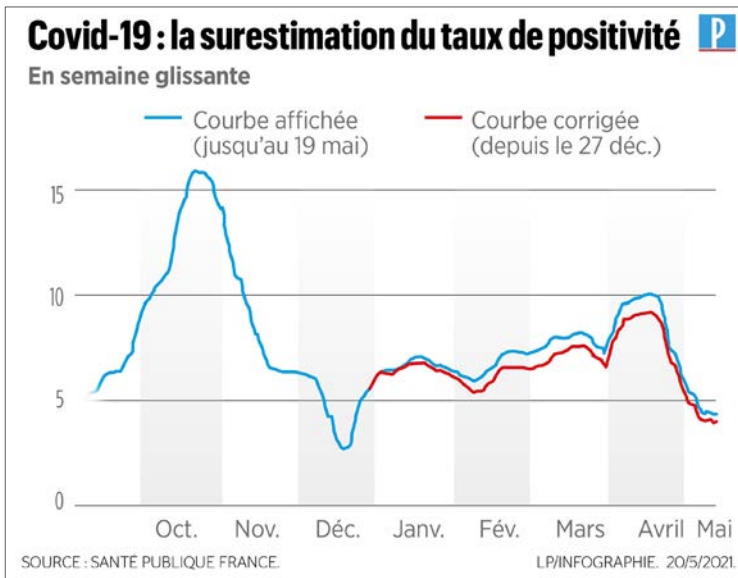


Figure 5. La surestimation du taux de positivité du Covid-19 (Source : Santé publique France dans *Le Parisien*).

Taux d'incidence surestimé

En mars 2021, nous apprenons que le taux d'incidence en France est surestimé « de l'ordre de 10 % ». Lorsqu'une même personne se faisait tester à deux reprises durant un court intervalle de temps, par exemple avec un test antigénique puis un test PCR (afin de

« cribler » le prélèvement antigénique positif), elle pouvait apparaître à deux reprises dans le décompte des cas positifs quotidiens. L'explication est simple : il suffisait d'une faute de tiret ou d'accent lors de la première étape, par exemple, pour que la même personne ne soit pas reconnue à celle d'après¹³.

Cet écart a été corrigé deux mois plus tard. On pourrait penser que cela n'a pas eu d'effet sur le quotidien des Français. En réalité, lorsque le taux d'incidence dépassait le seuil d'alerte de 250, le gouvernement pouvait décider de placer le territoire sous surveillance renforcée et de prendre telle ou telle mesure. Certains territoires ont donc pu être concernés... à tort¹⁴.

Quelle part de non-vaccinés ?

L'autre exemple porte sur les couvertures vaccinales, et en particulier les parts d'habitants non vaccinés. Plusieurs sources fournissent des estimations : Santé publique France, la Drees, l'Assurance maladie... Fin 2022, on atteignait généralement environ 7 % de personnes majeures en France n'ayant reçu aucune dose de vaccin.

En réalité, d'après une analyse fouillée de la Drees parue en octobre 2022¹⁵, cette part serait plutôt comprise entre 8,5 et 12 %. Il fallait, tout d'abord, prendre en compte les individus décédés au fil du temps. Ensuite, il était indispensable de sortir du décompte les personnes vaccinées (et donc qui apparaissent dans la base VAC-SI)... mais qui n'habitent pas en France, à commencer par les personnes résidentes à l'étranger et vaccinées lors d'un passage en France. Après plusieurs autres corrections méthodologiques, on obtient des estimations par tranche d'âge sans doute plus conformes à la réalité.

LE SYNDROME DE L'« ENFANT GÂTÉ »

Par rapport à d'autres pays, nous avons la chance, en France, de disposer d'un grand nombre de données Covid mises à jour régulièrement. Cependant, on aimerait toujours en avoir plus. C'est ce que l'on appelle parfois, pour plaisanter entre nous, le syndrome de « l'enfant gâté ». Et on regarde jalousement ce qui peut être fait dans certains pays étrangers.

Se battre pour obtenir des données

Certaines informations figuraient, au début de la pandémie, dans les points épidémiologiques de Santé publique France, mais elles n'étaient pas disponibles dans les données en *open data* et n'étaient donc pas exploitables. On peut de nouveau citer, par exemple, la part de cas positifs symptomatiques et asymptomatiques parmi tous ceux recensés chaque jour. Malgré nos demandes, nous n'avons jamais pu obtenir ces données.

En revanche, Santé publique France a satisfait à plusieurs reprises à nos attentes. On sait depuis le début de l'épidémie qu'une partie des malades diagnostiqués Covid-19 et admis chaque jour à l'hôpital ou en soins critiques sont infectés par le Sars-CoV-2... mais

¹³ « Covid-19 : pourquoi le taux d'incidence est surestimé de l'ordre de 10 % », *Le Parisien*, 14 mars 2021, <https://www.leparisien.fr/societe/covid-19-pourquoi-le-taux-dincidence-est-surestime-de-lordre-de-10-14-03-2021-OSXEB73FGRH6JMQXVIQYIMFWHI.php?ts=1667746479061>

¹⁴ « Cas de Covid surestimés : la fin d'un écart qui durait depuis plusieurs mois », *Le Parisien*, 20 mai 2021, <https://www.leparisien.fr/societe/cas-de-covid-19-surestimés-la-fin-dun-bug-qui-a-fausse-les-chiffres-pendant-des-mois-20-05-2021-MMVPEY2IKNGVXNPX7ZS4QS7FBU.php>

¹⁵ <https://drees.solidarites-sante.gouv.fr/publications-communique-de-presse/drees-methodes/les-taux-de-personnes-vaccinees-et-non-vaccinees>

soignés pour un autre motif. C'est ce que l'on appelle les malades « avec Covid »¹⁶. Pendant près de deux ans, cette distinction n'existait pas en *open data*.

Fin 2021, lorsque le variant Omicron – moins virulent et entraînant énormément d'infections – est arrivé, on s'attendait à ce que la part de malades « avec Covid » augmente. Il nous semblait alors primordial d'obtenir cette information, notamment pour la faire apparaître sur les graphiques. Après de multiples sollicitations, Santé publique France a publié fin janvier 2022 ces données en *open data*, par région et par tranche d'âge.

Les yeux rivés vers l'Angleterre

L'Angleterre nous a toujours fait envie, en raison du grand nombre et de la qualité impressionnante des rapports et des *data* que ses agences officielles produisent sur la pandémie de Covid-19. Le tableau de bord de l'UK Health Security Agency est particulièrement bien fait et il est très simple d'y télécharger les jeux de données que l'on souhaite, par exemple¹⁷.

Par ailleurs, l'Office for National Statistics publie chaque semaine des taux de prévalence et d'incidence réels, c'est-à-dire la part de population porteuse du virus à l'instant T ou bien nouvellement infectée sur une période précise¹⁸. Ces données sont capitales, car elles permettent de contourner le biais lié au nombre de tests réalisés, qui influence fortement le nombre de cas positifs recensés. En France (et dans beaucoup d'autres pays), aucune enquête de ce type sur un large échantillon d'habitants n'est réalisée.

CONCLUSION

Exploiter et analyser les données disponibles demande de l'imagination, pour les rendre les plus visuelles et compréhensibles possibles, mais aussi de l'attention, afin de rester conscients des biais et des limites possibles. Cela nécessite, aussi, que les journalistes soient formés aux bases statistiques et scientifiques.

¹⁶ « Un quart de "Covid accessoire" : qui sont ces patients admis à l'hôpital pour un autre motif ? », *Le Parisien*, 22 janvier 2022, <https://www.leparisien.fr/societe/sante/un-quart-de-covid-accessoire-qui-sont-ces-patients-admis-a-lhopital-pour-un-autre-motif-22-01-2022-3USJV5TLWRAT7J37DUFEGVIAOY.php>

¹⁷ <https://coronavirus.data.gov.uk/>

¹⁸ <https://www.ons.gov.uk/peoplepopulationandcommunity/healthandsocialcare/conditionsanddiseases>

Modélisation mathématique de l'épidémie de Covid-19 en France, et comparaison internationale

Par Samuel ALIZON

Directeur de recherche au CNRS et directeur de l'équipe
Écologie et Évolution de la santé au Centre de Recherche
interdisciplinaires en Biologie (CIRB) du Collège de France

Et Mircea T. SOFONEA

Maître de conférences en épidémiologie & évolution
des maladies infectieuses à l'Université de Montpellier,
chercheur au laboratoire PCCEI – U. Montpellier,
Inserm, EFS, U. Antilles

La pandémie de Sars-CoV-2 a mis sur le devant de la scène une discipline scientifique jusque-là discrète : la modélisation mathématique des maladies infectieuses. Pratique divinatoire pour certains, application triviale pour d'autres : elle est avant tout mal connue en France. Après avoir expliqué les fondements de ce champ et les différentes approches de modélisations, nous revenons sur le rôle de la modélisation mathématique au fil de l'épidémie en France. Afin de mettre en avant les variations de ce rôle, nous comparons les différentes périodes avec des politiques marquées mises en place dans d'autres pays. En conclusion, nous donnons des pistes pour une utilisation raisonnée de la modélisation en épidémiologie dans la prise de décision publique.

INTRODUCTION

Fin février 2020, le nombre quotidien de cas de Covid-19 rapportés dans toute l'Europe croît plus que linéairement (Roser *et al.*, 2020). Pour illustrer ce phénomène formalisé plus d'un siècle plus tôt dans la littérature scientifique, des modélisations se retrouvent propulsées devant une audience peu familière de l'exercice.

En France, c'est Arnaud Fontanet qui, rapporte-t-on (Chemin et Etchegoin, 2021), aurait présenté la première esquisse de modèle – une croissance exponentielle – au démarrage des travaux du Conseil scientifique. Didier Raoult en faisait encore parti à ce moment-là et aurait déclaré que « tout ça ne sont que des modèles », devant un parterre qui ne le contredit pas.

Ce texte a pour vocation de préciser quelle est cette approche utilisée par Arnaud Fontanet, pourquoi elle requiert une expertise spécifique, et comment elle a été utilisée depuis deux ans en France et dans le monde.

Encadré 1. Quels types de modélisation en épidémiologie

Trois grands types de modélisations sont utilisés en épidémiologie :

La modélisation mathématique consiste en une formalisation du système d'intérêt à l'aide d'outils mathématiques (équations différentielles ou équivalents). Elle permet d'explorer des scénarios prospectifs, ce qui explique sa popularité auprès du grand public qui les confond parfois avec des prédictions. Elle permet d'analyser des scénarios rétrospectifs et d'explorer des scénarios contrefactuels, ce qui constitue souvent le seul moyen de quantifier l'effet d'une politique de santé publique.

La modélisation statistique est moins connue mais probablement bien plus utilisée. Elle permet d'estimer les paramètres d'un modèle à partir de données. Fondée classiquement sur des séries temporelles d'incidence, elle implique de plus en plus des données originales (réseaux sociaux, génomique par exemple). Avec le déluge de données dans notre vie quotidienne, elle s'intéresse aussi à l'apprentissage profond pour extrapoler une série temporelle à partir des variations passées. Les deux désavantages majeurs de ces nouvelles approches sont la nécessité d'importants jeux de données (inexistants pour les maladies nouvellement émergentes ou négligées) et leur nature phénoménologique (empêchant toute interprétation biologique d'un écart entre la prédiction et la réalité).

Un dernier type de modélisation est **la modélisation informatique**, essentiellement orientée agents. Elle permet d'inclure pléthore de détails dans les simulations et ainsi de lever les hypothèses fortes des modèles mathématiques (comme l'absence de structuration spatiale). Ses points faibles relèvent des contraintes computationnelles et de la difficulté à réaliser des analyses de sensibilité pour explorer l'effet des différentes hypothèses (problèmes d'identifiabilité). On trouve ainsi des simulations inutiles impliquant des centaines de paramètres dont la majeure partie sont fixés au jugé. À l'inverse, le simulateur EPIDEMAP (Thomine *et al.*, 2021) parvient à simuler des épidémies réalistes en n'utilisant que six paramètres, et tout en exploitant directement le cadastre français.

Pour plus de détails sur cette typologie, voir par exemple Djidjou-Demasse, Selinger & Sofonea (2020).

LA MODÉLISATION MATHÉMATIQUE EN ÉPIDÉMIOLOGIE EST UN MÉTIER

L'approche utilisée par le Professeur Fontanet, qui le fait aujourd'hui paraître visionnaire par rapport aux autres membres du Conseil, a pour nom la modélisation mathématique. Il s'agit d'une catégorie de modélisation parmi d'autres (*cf.* l'Encadré 1 ci-dessus), particulièrement adéquate pour appréhender le futur à l'aide de ce que l'on qualifie de « scénarios ». Contrairement aux méthodes produisant des « prévisions », celle-ci repose explicitement sur des hypothèses fortes (voir la Figure 1 en haut ci-contre).

La modélisation n'est évidemment pas l'apanage des épidémiologistes. Toutefois, le processus de contagion, tel que le met en avant dans son ouvrage Adam Kucharski, relève largement des maladies infectieuses. Ainsi, les alternances entre phases de croissance (quasi) exponentielles, saturation, pic et décroissance (quasi) exponentielles, si elles peuvent s'observer pour les effets de mode ou les tendances sur les réseaux sociaux, font partie des enseignements que retiennent les médecins (souvent sous le terme pseudo-technique de « courbe en cloche »).

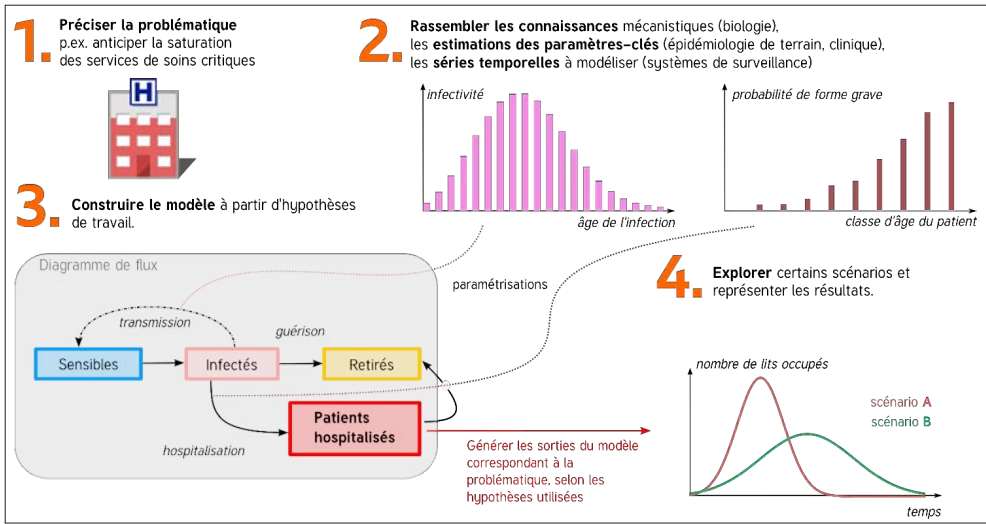


Figure1. Protocole simplifié de la modélisation mathématique d'une maladie infectieuse. D'après Bastien Reyné (Reyné, Saby & Sofonea, 2022), avec sa permission.

Conséquence du confinement forcé ou de la popularité soudaine de notre champ, bien des passionnés sont venus donner des leçons aux équipes de recherche, non sans condescendance. Montrer que le nombre journalier de décès hospitaliers en France pouvait s'approcher par une croissance exponentielle était assez simple (voir la Figure 2 ci-dessous). De manière plus générale, on ne comptait pas les modélisations capturant de manière précise une seule série temporelle d'incidence (nombre de nouveaux cas), que ce soit les dépistages, les hospitalisations ou les décès. Pour modéliser la prévalence (proportion de personnes dans la population présentant une infection active) ou anticiper le nombre de patients en soins critiques, on trouvait déjà moins de monde (notre plateforme COVID ici a été une des seules à le faire en continu). Quant à combiner deux séries temporelles ou plus, il ne restait que quelques équipes expertes.

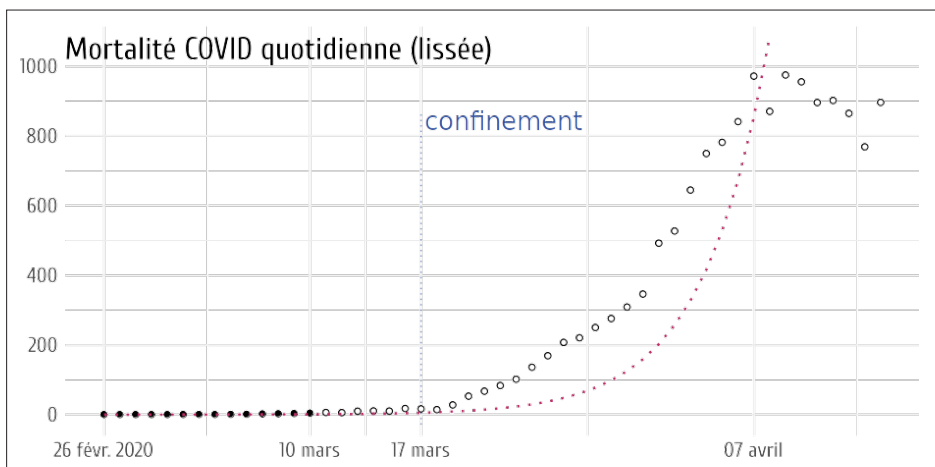


Figure 2. Extrapolation exponentielle (pointillés roses) de la borne inférieure de la mortalité hospitalière Covid quotidienne nationale estimée à partir d'une régression sur les données disponibles au 10 mars 2020 (disques noirs). Données SI-VIC, graphique Mircea Sofonea et Samuel Alizon.

DE L'IMPORTANCE DE LA « MÉMOIRE » DES PROCESSUS

Les difficultés viennent de ce que l'épidémiologie ne se limite pas au processus de contagion. Elle inclut aussi une dimension biologique. Ainsi, la contagiosité d'une personne varie au cours de son infection. De plus, les symptômes ne se déclenchent pas tout de suite : il faut attendre environ deux semaines pour observer les formes sévères. Inclure ces processus nécessite, d'une part, des études de terrain (études que la France n'a que peu, voire pas, financé), d'autre part, des modèles mathématiques adéquats. Plus techniquement, les modèles classiques d'équations aux dérivées ordinaires (EDO) font l'hypothèse que les processus n'ont pas de mémoire (propriété dite de Markov). Selon cette hypothèse, une personne infectée a la même probabilité de guérir si elle est infectée depuis une journée ou depuis une semaine. Si sur le temps long ces effets s'estompent, pour effectuer des scénarios à court ou moyen terme, cet irréalisme explique la difficulté à s'ajuster à plusieurs séries temporelles dépendantes (voir la Figure 3 ci-dessous).

Notre équipe a utilisé trois méthodes non-markoviennes. La plus précise utilise des équations aux dérivées partielles. La probabilité de quitter chaque état est alors régie par une fonction qui lui est propre et qui dépend du nombre de jours passés dans cet état. Autrement dit, au lieu de suivre les individus infectés à une date t , de nombre $I(t)$, on suit les individus infectés depuis a jours à une date t , de nombre $I(a,t)$. Le système s'écrit selon deux équations de flux (1a et 1b) et une condition aux bords (l'équation 1c) :

$$\frac{dS(t)}{dt} = -S(t) \int \beta(a)I(a,t)da \quad (1a)$$

$$\frac{\partial I(a,t)}{\partial a} = -\gamma(a)I(a,t) \quad (1b)$$

$$I(0,t) = S(t) \int \beta(a)I(a,t)dax \quad (1c)$$

où $\beta(a)$ et $\gamma(a)$ sont respectivement les taux de transmission et de guérison d'une personne dont l'infection a démarré a unités de temps auparavant. Ceci est particulièrement important pour le second, car la probabilité de guérir n'est pas la même un jour et une semaine après infection. Dans le modèle susceptible-infecté-retiré (SIR) le plus courant, ces paramètres sont constants aux cours de l'infection, et le système 1 peut alors s'écrire comme un système EDO classique.

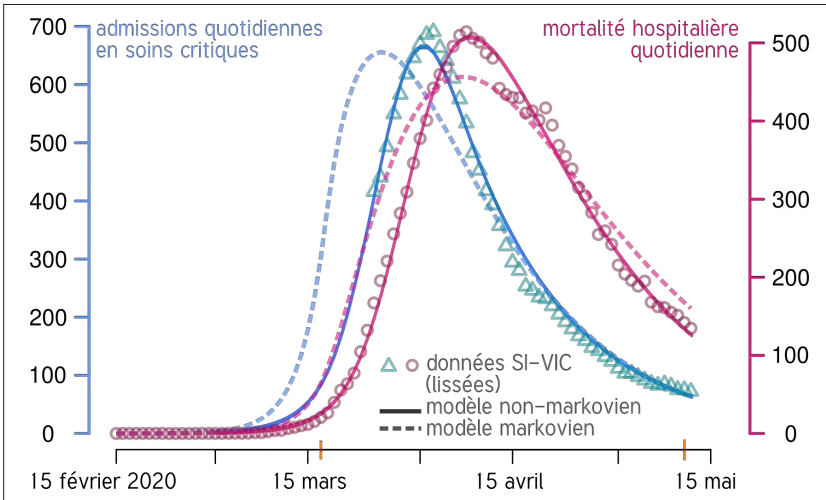


Figure 3. Meilleurs ajustements joints des données SI-VIC quotidiennes lissées (admissions en soins critiques et mortalité hospitalière) selon un modèle non-markovien (traits pleins) et son équivalent markovien (pointillés), sur les données disponibles au 18 mai 2020. D'après Sofonea, Reyné *et al.* (2021).

Ce formalisme ne permet pas d'avoir accès à toute la palette d'outils analytiques offerts par les EDO. Plus problématique, l'implémentation numérique est assez lourde et les temps de calculs importants. Nos modélisations de routine impliquaient donc des modèles en temps discret, qui permettent de modéliser le nombre d'individus infectés depuis a jours $I(a,t)$, mais avec une vitesse de calcul bien supérieure. Cerise sur le gâteau, l'ajustement avec les données empirique est évident puisque les données sont agrégées par jour et non instantanées. En revanche, les analyses statistiques pour estimer les paramètres du modèle à partir des données ont nécessité des développements délicats.

Enfin, une dernière méthode, utilisée par exemple par nos collègues de l'équipe de Simon Cauchemez (Institut Pasteur), consiste à discrétiser un compartiment en plusieurs sous compartiments. Ainsi, si au lieu de passer des états susceptible (S) à infecté (I) à guéri / retiré (R), vous passez successivement de S à I_1 , puis I_2 , puis I_3 , puis I_4 , puis à R le temps de résidence dans l'état I ne suivra plus une distribution exponentielle (comme dans le modèle SIR à EDO classique), mais une loi Gamma de même moyenne que le processus markovien.

EXTENSIONS SPATIALES

Impossible de détailler ici tous les raffinements de la modélisation. L'un des plus débattus concerne la structure spatiale. Même non-markoviens, les modèles font souvent l'hypothèse simplificatrice que chaque personne est potentiellement en contact avec toutes les autres. Suivant cette hypothèse, dans un modèle SIR classique (markovien), la proportion q^* de la population infectée à la suite du passage d'une vague épidémique incontrôlée de paramètre R_0 (le nombre d'infections secondaires engendrées par une personne infectée dans une population entièrement susceptible) est donnée par la formule $q^* R_0 + \log(1 - q^*) = 0$. Pour $R_0 = 2,5$, q^* avoisine les 90 %. À l'aide de simulations individuelles centrées à haute résolution, basées sur le cadastre français, nous montrons que l'approximation de mélange homogène fonctionne bien dans les communes les plus denses (voir la Figure 4 ci-dessous). En revanche, lorsque la densité est plus hétérogène, d'autres types d'approches sont nécessaires. Précision importante, de telles simulations orientées agents ne sont pas incontournables : des structures de type méta-population, où différentes populations sont connectées par un graphe, sont aussi envisageables. On peut aussi utiliser des approximations de paires et suivre, en plus des nombres d'individus S, I ou R, les nombre d'arêtes S-S, S-I, S-R, I-I, I-R ou R-R sur un réseau de contact.

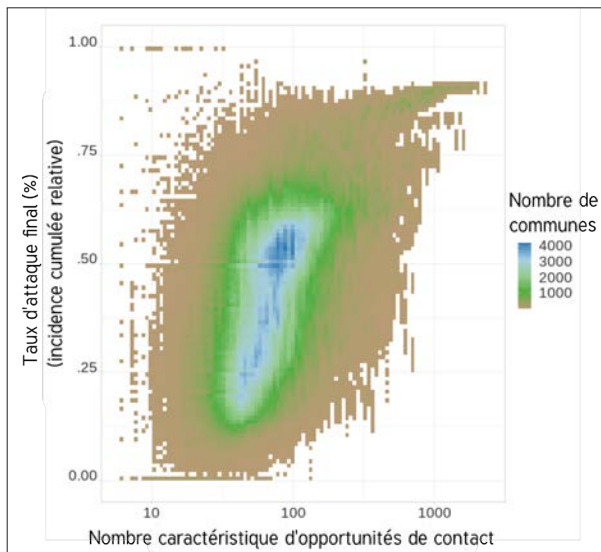


Figure 4. Taux d'attaque final d'une première vague de Covid-19 non contrôlée fictive ($R_0 = 3$), en fonction du nombre de contacts potentiels dans une commune, tel que simulé par EPIDEMAP. Les valeurs les plus élevées du taux d'attaque, tel que calculé par les modèles non spatiaux, sont essentiellement retrouvées dans les communes les plus densément peuplées. D'après Thomine *et al.* (2021).

Outre les effets mémoires liés à l'histoire naturelle de la maladie et aux effets spatiaux induits par la saturation locale des réseaux de contacts, évoqués ci-dessus, d'autres défis se posent à la modélisation. Parmi eux, le changement spontané de comportement est un des plus ardues. Respect des gestes barrières, fréquence des contacts, rappels vaccinaux... Chacun l'a ressenti et les études le montrent : ils sont liés à l'augmentation de cas dans l'entourage, voire à la médiatisation de l'épidémie. La formalisation et la paramétrisation de ces processus sont loin d'être triviales, et nécessitent une expertise et des données en temps réel issues des sciences humaines et sociales. Ceci soulève le problème chronique du manque de financement des études de terrain, en particulier l'absence en France (contrairement au Royaume-Uni) de dépistages réguliers d'échantillons aléatoires de la population générale selon un plan d'échantillonnage statistique bien conçu. Car les relevés d'incidence repris sans filtres par les journalistes sont hyper biaisés : indications, effort ou incitation au dépistage dépendent de l'âge, des symptômes, des cas contacts, des conditions d'accès, ou des fêtes de fin d'année. Au contraire, un suivi aléatoire permet d'estimer la prévalence (donc le nombre de personnes potentiellement contagieuses). Cette donnée cruciale permettrait d'informer en temps réel les autorités comme les modèles, réduisant le nombre d'inconnues et conduisant, éventuellement, à inférer des paramètres plus fins sur le plan spatial, temporel ou interventionnel.

QUELQUES PISTES POUR LA MODÉLISATION EN SANTÉ PUBLIQUE

L'avenir de la modélisation n'échappe pas à la question budgétaire puisque comme le fait remarquer William Dab (*Le Monde*, 11 juillet 2020), l'ancien directeur de la direction générale de la Santé (DGS), en matière de dépenses nationales de santé, chaque fois que nous dépensons 100 euros, 96 euros vont aux soins individuels et 4 euros seulement à la prévention organisée. Le déséquilibre est très fort alors que les pays à forte politique de santé publique ont plutôt un ratio de 90/10. En France, la santé publique a toujours été considérée comme un secteur purement administratif et sans valeur ajoutée. Au-delà des aspects financiers, une agence comme Santé publique France n'emploie personne pour faire de la modélisation mathématique à temps plein. Pour la DGS ou la Haute autorité de santé (HAS), cette expertise, avec celle des biostatisticiens, est tout aussi rare. Ceci reflète la nature de la santé publique en France, qui est considérée comme une discipline avant tout médicale. De plus, cette spécialité est peu valorisée et, en pratique, peu sélective au concours de l'internat. Bref, une des urgences est probablement une reconnaissance de la santé publique comme discipline à part, qui inclut, mais aussi dépasse la médecine.

La modélisation mathématique peut présenter de nombreux atouts. Pour n'en citer que trois : un premier concerne l'élaboration de scénarios prospectifs, qui, sans des modèles quantitatifs éprouvés, ne reposent que sur des modèles verbaux ou, pire, d'autorité. Un second concerne la surveillance et le développement de stratégies d'échantillonnage optimisées, maximisant la qualité de l'information avec un minimum de prélèvements. Le troisième concerne les scénarios rétrospectifs. Lorsque qu'une crise sanitaire survient, soit elle est sous-évaluée et de nombreux décès surviennent, soit elle est bien anticipée et contrée, mais les critiques sont tout aussi nombreuses car il n'existe alors aucune manifestation tangible de cette crise. Comme il est impossible de rejouer une crise sanitaire, seule la modélisation permet d'échapper à cette tragédie bien connue de la santé publique à l'aide de scénarios contrefactuels, et ainsi de juger le bienfondé de l'action publique. Enfin, quelle que soit leur utilisation, les modélisations ne sont qu'un élément parmi d'autres dans la prise de décision, mais il est important d'éviter le maximum d'intermédiaires entre les porte-paroles des équipes expertes en modélisation et de celles amenées à prendre les décisions.

Encadré 2. Retours historiques et internationaux

Mars 2020 : le modèle asiatique

Le début d'une épidémie est un processus stochastique. En France, plusieurs chaînes de transmission initiées pendant les mois de janvier et février se sont éteintes et n'ont pas contribué à la première vague (Nadeau *et al.*, 2021). Avec son suivi génomique et des capacités d'analyse bien supérieures aux nôtres, l'Angleterre a pu détecter des centaines de ces introductions. La France, comme la plupart des pays européens, a dû s'en remettre à un contrôle strict de l'épidémie, suivant par-là les modélisations du Pr Fontanet ou celles, un peu plus élaborées, de l'équipe de Neil Ferguson à l'Imperial College de Londres. Ce faisant, elle a suivi ce que l'on pourrait appeler un modèle asiatique consistant à contrôler strictement l'épidémie jusqu'à sa disparition. Toutefois, une différence regrettable a été le délai avant l'instauration des mesures.

Automne 2020 : cafouillis à la tête de l'État

La fin 2020 marque la disgrâce de la modélisation en France pour des raisons qui étaient évitables. À la suite du relâchement quasi complet des mesures de prévention à la rentrée scolaire, la deuxième vague annoncée par le Conseil scientifique à partir de la fin juillet et détectable dès le mois d'août ne peut plus être ignorée. L'équipe de l'Institut Pasteur a réalisé plusieurs scénarios prospectifs sur lesquels s'appuie l'exécutif sans consulter l'équipe en question. Hélas, les cabinets ministériels semblent n'en avoir retenu qu'un scénario pour référence : le scénario sans réaction. On se retrouve ainsi avec un discours du Président de la République annonçant que quoi qu'il arrive, nous aurons 9 000 personnes en réanimation au mois de novembre. N'importe quel modélisateur en épidémiologie aurait pu éviter cette bévue en expliquant qu'avec la mise en place des mesures de santé publique, *a fortiori* un confinement, ce scénario ne se réaliserait pas.

L'hiver 2020-2021 : l'aveuglement à la brésilienne

La deuxième année de la pandémie marque le divorce entre la tête de l'État et le Conseil scientifique. Face aux modélisations indiquant que la contagiosité accrue du variant Alpha est susceptible d'engendrer une nouvelle vague épidémique, le gouvernement se contente de mettre en place un couvre-feu à 18 h 00 en janvier. À la fin du mois, des scénarios de l'équipe de Vittoria Colizza à l'Inserm indiquent que cela ne suffira pas à contenir la vague. S'ensuivent plusieurs semaines qui aboutiront au confinement strict, inéluctable et anticipé du 3 avril. Nos scénarios rétrospectifs montrent que si un confinement de même durée avait été mis en place début février comme le demandait le Conseil scientifique, il y aurait eu 14 000 à 20 000 décès de moins, même en prenant en compte une reprise épidémique avec le déconfinement début mars. Au niveau international, le Brésil est un des pays qui a illustré les tragiques conséquences à laisser circuler l'épidémie dans une population d'âge moyen non vaccinée.

2021 : la couverture vaccinale, un succès à la française

Si les critiques ne manquent pas concernant la gestion de la crise, force est de constater que, malgré les hésitations de 2020 et la gestion catastrophique par les cabinets de conseils, l'implémentation de la vaccination en France en 2021 a été un succès, que la modélisation mathématique permet de quantifier. À l'aide d'un scénario rétrospectif, nous estimons qu'au moins 36 000 vies avaient été sauvées sur les neuf premiers mois de vaccination (Sofonea, Boennec *et al.*, 2021). Notons au passage que ce type de scénario n'est pas si trivial à élaborer, car il faut tenir

compte du fait que face à une vague épidémique de grande ampleur liée à l'absence de vaccination, les pouvoirs publics ne seraient pas restés indifférents. Des collègues ont ainsi tendance à surestimer l'effet de la vaccination dans leurs analyses, ce qui n'est pas sans soulever des problèmes politiques (Watson *et al.*, 2022).

2022 : Omicron, ou ignorer la pandémie à la suédoise

La Suède a fait couler beaucoup d'encre pour son refus de « confiner ». D'abord, notons que les mots recouvrent des réalités différentes selon les pays. Si l'on en croit les données de Google Mobility, les déplacements dans la Suède « déconfinée » étaient assez proches de ceux en Allemagne « confinée » (la baisse de fréquentation des transports publics était de 40 % en Suède contre 55 % en Allemagne ou 80 % en France (Roser *et al.*, 2020)). Le flou de ce terme fait qu'il est désormais peu utilisé tel quel dans la littérature scientifique. D'autre part, on le sait moins mais il existe des analyses violentes accusant l'exécutif suédois d'avoir sciemment menti sur les chiffres (Brusselaers *et al.*, 2022). En France, heureusement, de tels extrêmes n'ont jamais été atteints et si des graphiques ont été modifiés lors de leur présentation, c'est plus par incompétence que par volonté de dissimulation. Il n'en reste pas moins que depuis 2022, l'épidémie en France semble avoir été reléguée au rang des infections respiratoires saisonnières, avec un effort « à la suédoise » pour ne rien anticiper.

RÉFÉRENCES

- BRUSSELAERS N., STEADSON D., BJORKLUND K., BRELAND S., STILHOFF SÖRENSEN J., EWING A., BERGMANN S. & STEINECK G. (2022), "Evaluation of science advice during the Covid-19 pandemic in Sweden", *Humanit. Soc. Sci. Commun.*, 9(1), <https://doi.org/10.1057/s41599-022-01097-5>
- CHEMIN A. & ETCHEGOIN M.-F. (2021), *Raoult. Une folie française*, Éditions Gallimard.
- DJIDJOU-DEMASSE R., SELINGER C. & SOFONEA M. T. (2020), « Épidémiologie mathématique et modélisation de la pandémie de Covid-19 : enjeux et diversité », *Revue Francophone des Laboratoires*, n°526, pp. 6369, [https://doi.org/10.1016/S1773-035X\(20\)30315-4](https://doi.org/10.1016/S1773-035X(20)30315-4)
- NADEAU S. A., VAUGHAN T. G., SCIRE J., HUISMAN J. S. & STADLER T. (2021), "The origin and early spread of Sars-CoV-2 in Europe", *Proc. Nat. Acad. Sci., USA*, 118(9), p. e2012008118, <https://doi.org/10.1073/pnas.2012008118>
- REYNÉ B., SABY N. & SOFONEA M. T. (2022), "Principles of mathematical epidemiology and compartmental modelling application to Covid-19", *Anaesthesia Critical Care & Pain Medicine*, 41(1), 101017, <https://doi.org/10.1016/j.accpm.2021.101017>
- ROSER M., RITCHIE H., ORTIZ-OSPINA E. & HASELL J. (2020), "Coronavirus pandemic (Covid-19)", *Our world in data*, <https://ourworldindata.org/coronavirus>
- SOFONEA M. T., BOENNEC C., FONTALIRANT A., REGNAT M., LEFRANT J.-Y., ALIZON S. & FISCHER M.-O. (2021), "Quantifying the real-life impacts of vaccination on critical Covid-19", *OSF Preprints*, <https://doi.org/10.31219/osf.io/6ebxu>
- SOFONEA M. T., REYNÉ B., ELIE B., DJIDJOU-DEMASSE R., SELINGER C., MICHALAKIS Y. & ALIZON S. (2021), "Memory is key in capturing Covid-19 epidemiological dynamics", *Epidemics*, n°35, 100459, <https://doi.org/10.1016/j.epidem.2021.100459>

THOMINE O., ALIZON S., BOENNEC C., BARTHELEMY M. & SOFONEA M. (2021), “Emerging dynamics from high-resolution spatial numerical epidemics”, *eLife*, n°10, e71417, <https://doi.org/10.7554/eLife.71417>

WATSON O. J., BARNSLEY G., TOOR J., HOGAN A. B., WINSKILL P. & GHANI A. C. (2022), “Global impact of the first year of Covid-19 vaccination: A mathematical modelling study”, *Lancet Infect. Dis. sous presses*, [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(22\)00320-6](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(22)00320-6)

Institutionnalisation des modèles durant la crise de Covid-19

Par Mathieu CORTEEL

Arthur Sachs Fellow à Harvard University, Teaching Fellow
à Harvard College et chercheur postdoctoral à Sciences Po Paris

La crise de Covid-19 a propulsé les modèles sur le devant de la scène politique. Comment ce tournant s'est-il produit ? Quelles sont les dynamiques organisationnelles qui l'ont porté ? En quoi les modèles ont-ils déterminé les stratégies sanitaires durant la crise de Covid-19 ? Pour répondre à ces questions, le présent article analyse le processus d'institutionnalisation des modèles, c'est-à-dire l'émergence d'un cadre cognitif et opérationnel qui s'est noué autour de ces derniers. Il défend ainsi la thèse d'une institutionnalisation intermittente des modèles conduisant le gouvernement à mobiliser les modèles aussi bien des organisations scientifiques publiques que des cabinets de conseil privés. Dès lors, cette étude permet de considérer une nouvelle forme d'entrepreneuriat institutionnel caractérisant la réflexion ainsi que l'action du gouvernement durant la crise.

Depuis le milieu des années 1960, la modélisation mathématique s'est institutionnalisée dans le paysage des politiques publiques françaises. D'abord en participant à la gestion économique du pays, avec l'introduction des modèles ZOGOL et FIFI au Commissariat général du Plan¹, puis en s'intégrant à d'autres secteurs stratégiques de l'État tels que l'énergie ou le climat. Dans le domaine de la santé, la modélisation participe à l'élaboration des campagnes d'éradication des maladies infectieuses depuis le "Global Malaria Eradication Program"² (1955-1969), mais c'est avec l'épidémie de grippe A (H1N1) qu'elle s'est intégrée à la gestion nationale des crises sanitaires. La crise de Covid-19 a, pour ainsi dire, propulsé les modèles sur le devant de la scène politique. Comment ce tournant s'est-il produit ? Quelles sont les dynamiques organisationnelles qui l'ont porté ? En quoi les modèles ont-ils déterminé les stratégies sanitaires durant la crise de Covid-19 ?

LE MODÈLE COMME CADRE COGNITIF DE L'ACTION COLLECTIVE

Entre le 12 et le 15 mars 2020, alors que l'Italie du Nord est confrontée à une explosion des cas Covid+, Arnaud Fontanet et Simon Cauchemez, membres du Conseil scientifique, parviennent à convaincre le président Emmanuel Macron d'un risque majeur d'encombrement des services de soins intensifs dans les semaines à venir. Le gouvernement,

¹ FOURQUET F. (1980), *Les comptes de la puissance*, Paris, Éditions recherches, « Encre ».

² MAUDE R. J., LUBELL Y., SOCHEAT D. *et al.* (2010), "The role of mathematical modelling in guiding the science and economics of malaria elimination", *International Health*, 2(4), December, pp. 239-246.

qui avait jusque-là suivi le modèle de Santé publique France prévoyant, sur la base des données de Wuhan, un risque faible de flambée épidémique, a brutalement changé de cap. L'assemblage des NPIs (*non pharmaceutical interventions*), suggéré par le modèle de l'Institut Pasteur³, est alors apparu comme la seule solution à même de contrôler l'épidémie. Le 17 mars 2020, le confinement général est appliqué à l'appui de la visualisation de la première vague.

Cet évènement majeur met au jour un processus d'institutionnalisation du modèle, c'est-à-dire un processus par lequel les acteurs établissent des « règles et des significations partagées qui définissent les relations sociales, aident à définir qui occupe quelle position dans ces relations sociales et guident les interactions en fournissant aux acteurs les cadres cognitifs ou un ensemble de significations nécessaires à l'interprétation du comportement d'autrui »⁴. L'institutionnalisation produit, en ce sens, des significations communes en même temps qu'une structure d'interprétation des actions collectives. De sorte que le modèle institutionnalisé cadre, non seulement, l'interprétation du phénomène épidémique, mais aussi guide la mise en œuvre des mesures sanitaires.

Bien qu'initialement basé sur des données partielles et des hypothèses indémontrées, le modèle de l'Institut Pasteur est devenu, durant la première vague, le diapason des mesures sanitaires : passant d'une fonction descriptive à prospective, puis prescriptive. Son effet de cadrage cognitif est particulièrement tangible lorsque l'on se remémore l'effet de l'image abstraite de « la vague »⁵ sur le comportement collectif. Dès le premier confinement, l'image de « la vague », issue du modèle, a acquis le statut ontologique d'évidence⁶ (*taken for granted*) aussi bien pour le gouvernement que pour la société civile. Son implémentation dans la communication gouvernementale et sa reprise médiatique ont, dans les faits, façonné l'action et l'interaction sociales : l'objectif d'aplatir la vague est devenu une visée commune guidant les conduites. Car, « quand l'abstraction se met à vous tuer, il faut bien s'occuper de l'abstraction »⁷. On est ainsi passés de l'abstrait au concret par un processus de légitimation de la stratégie gouvernementale à travers le cadre cognitif du modèle⁸.

LA RÉFLEXIVITÉ POLITIQUE SUR LES MODÈLES

Seulement, force est de constater que ce processus d'institutionnalisation a varié au cours de la crise. On peut à cet égard faire l'hypothèse d'une institutionnalisation intermittente des modèles : passant du statut d'évidence cognitive à celui de dissonance cognitive. Aussi, une certaine indépendance réflexive, caractéristique de « l'entrepreneuriat institutionnel »⁹, semble avoir été adoptée par le gouvernement. On se rappelle à cet égard,

³ SALJE H., TRAN KIEM C., LEFRANCQ N. *et al.* (2020), « *Estimating the burden of Sars-CoV-2 in France* », *pasteur-02548181*.

⁴ Fligstein cité cf. LAWRENCE T. B., SUDDABY R., « Institutions and institutional work », in CLEGG S. R., HARDY C., LAWRENCE T. B. & NORD W. R. (éd.), *Handbook of organization studies*, London, Sage, 2006, p. 216.

⁵ HELMREICH S. & JONES D. (2021), « La forme des épidémies », AOC média, 20 octobre.

⁶ BARLEY S. R. & TOLBERT P. (1997), « Institutionalization and structuration: studying the links between action and institution », *Organization studies*, n°18, pp. 93-117.

⁷ CAMUS A. (1972), *La peste (1947)*, Paris, Gallimard, coll. « Folio », p. 85.

⁸ SUCHMAN M. (1995), « Managing legitimacy: Strategic and institutional approaches », *Academy of Management Review*, 20(3), pp. 571-610.

⁹ BERGERON H., *Entrepreneuriat institutionnel et structures sociales*, dossier pour l'obtention du HDR, présenté le 8 mars 2018, IEP Paris.

une première rupture entre le pouvoir politique et le modèle de l'Institut Pasteur : le 29 octobre 2020, lors de son allocution annonçant le second confinement, le président Emmanuel Macron prédisait : « Quoi que nous fassions, près de 9 000 patients seront en réanimation à la mi-novembre ». Ce scénario catastrophe impliquait une surcharge ingérable des services de soins intensifs et un tri astreignant des patients dans les hôpitaux. En réalité, ce sont environ 6 000 patients qui furent admis en réanimation. La dynamique de contagion s'est ainsi révélée inférieure à l'avis du Conseil scientifique qui prédisait entre 6 000-7 200 lits occupés en soins intensifs avec un confinement immédiat, et entre 8 900-11 000 lits avec un confinement retardé d'une semaine¹⁰.

Que révèle cette confusion dans les nombres ? Entre le discours déterministe du Président, la prédiction probabiliste du Conseil scientifique et l'impact réel, le jeu des nombres induit la réflexion du décideur sur la légitimité des prédictions du modèle. D'un côté le modèle donne des yeux pour voir l'épidémie à travers un ensemble d'effets boîte noire¹¹, de l'autre, le miroir des faits renvoie l'image de l'erreur au décideur, réfléchissant la légitimité du modèle institué et de son interprétation. En détournant le schéma de la réflexivité cartésienne, on pourrait s'aventurer à dire que ce n'est point le modèle qui se voit lui-même, ni le miroir des faits, mais bel et bien le décideur, lequel seul « connaît » et les faits et le modèle et soi-même. En ce sens, bien que le modèle guide la vision du décideur dans la gestion de la crise, il semblerait qu'il soit aux prises d'une réflexivité pouvant conduire à une institutionnalisation intermittente.

LE CHOIX ENTREPRENEURIAL DES MODÈLES ALTERNATIFS

Cette réflexivité institutionnelle a, semble-t-il, conduit à considérer des alternatives stratégiques et opérationnelles par-delà l'expertise du Conseil scientifique. Aussi, le recours aux cabinets de conseil (McKinsey, Citwell, JLL, etc.), qui s'est accentué à partir de la seconde vague¹², souligne cette compétence, et invite à mettre en question l'institutionnalisation de modèles logistiques et informationnels provenant du secteur privé. Comme l'indique à ce propos le rapport du Sénat sur les cabinets de conseil¹³, c'est avant tout pour pallier l'impréparation de l'État, notamment au niveau de la logistique et du système d'information, que le gouvernement a mobilisé ces derniers¹⁴. Seulement, le rôle des cabinets de conseil s'est progressivement étendu au sein des organisations pour venir structurer la coordination opérationnelle entre le ministère de la Santé et des Solidarités et Santé publique France, ainsi que pour élaborer la stratégie vaccinale et sa mise en œuvre¹⁵.

Ainsi, les modèles de McKinsey et Accenture ont, dans les faits, supplanté l'expertise du Conseil scientifique, du Comité analyse, recherche et expertise (CARE) et du Comité vaccin, qui préconisaient des méthodes favorisant l'adhésion et la concertation sociales pour mener à bien la campagne de vaccination¹⁶. L'institutionnalisation du modèle de

¹⁰ Note du Conseil scientifique du 26 octobre 2020, p. 24.

¹¹ CORTEEL M. (2022), « Les boîtes noires de la pandémie, modélisation épidémiologique et pouvoir politique durant la crise de covid-19 », *Multitudes*, n°86, pp. 147-155.

¹² McKinsey est intervenu auprès du gouvernement entre le 30 novembre 2020 et le 24 septembre 2021, puis entre le 23 décembre 2021 et le 4 février 2022.

¹³ « Rapport sur l'influence croissante des cabinets de conseil privés sur les politiques publiques », rapport remis à Monsieur le Président du Sénat le 16 mars 2022, n°578.

¹⁴ *Ibid.*, p. 233.

¹⁵ *Ibid.*, pp. 263-272.

¹⁶ CARE, Conseil scientifique, Comité vaccin, Vaccins contre le Sars-CoV-2, *Une stratégie de vaccination*, 9 juillet 2020, p. 3.

McKinsey, pour le suivi des livraisons et des injections des vaccins Pfizer et Moderna, du système d'information « vaccination Covid » (VAC-SI) et plus tard du passe sanitaire (élaborés par le cabinet Accenture¹⁷) a conduit à une gestion politique favorisant une vaccination de masse « rapide » (qui a néanmoins souffert d'un dysfonctionnement logistique) par la régulation contrainte du choix social. En ce sens, ce tournant organisationnel dans l'institutionnalisation de nouveaux modèles a influencé non seulement la stratégie, mais aussi la mise en œuvre logistique et sociale de la vaccination.

LE MANAGEMENT DU CONTRÔLE OPTIMAL

On peut donc faire l'hypothèse d'un changement de stratégie cognitive du gouvernement, depuis l'expertise scientifique vers celle logistique des cabinets de conseil. Dans un premier temps, l'institutionnalisation du modèle de l'Institut Pasteur au sein du Conseil scientifique manifeste une certaine victoire de la modélisation épidémiologique dans l'ordre de l'expertise des sciences biomédicales face à l'impréparation et l'incertitude du gouvernement. En surplomb de l'expertise clinique ou biologique, la modélisation épidémiologique a pris la tête des opérations en tant que cadre cognitif. En somme, le modèle de l'Institut Pasteur est devenu, pendant la première phase de la crise, la boussole du gouvernement ciblant l'impact des mesures sur les services de soins intensifs. Ce qui a conduit à la mise en place rapide des deux premiers confinements.

Dans un second temps, une forme d'indépendance cognitive vis-à-vis du modèle de l'Institut Pasteur s'est formée à l'appui des cabinets de conseil venus combler la déficience des systèmes logistiques et informationnels de l'État. Cette indépendance s'est d'ailleurs affichée publiquement autour de la question de la fermeture des écoles à l'hiver 2021. Contre l'avis des experts, le président, proclamé « épidémiologiste » par son entourage, a préféré maintenir les écoles ouvertes jusqu'à la saturation des hôpitaux. C'est là le signe d'une nouvelle stratégie cognitive fondée sur la vaccination de masse écartant la fermeture des écoles et retardant le confinement. C'est aussi et surtout le motif d'un choix de contrôle optimal qui se décompose en deux étapes : la contrôlabilité de la vague épidémique sans fermer les écoles, en évitant autant que possible un autre confinement ; la mesure du coût minimal pour atteindre l'équilibre (vaccination, couvre-feu, télétravail, etc.).

Comme le confiait à ce sujet un modélisateur : « Les modèles disaient : vous aurez 14 000 à 25 000 morts en plus, deux fois plus d'hospitalisés, deux fois plus d'admissions en réanimation. Mais, effectivement, vous aurez mis les gens en télétravail, en couvre-feu à 18 h, vous n'aurez pas confiné, vous n'aurez pas fermé les écoles »¹⁸. Ce témoignage illustre la discordance dans le choix du contrôle optimal entre le choix politique qui évite la fermeture des écoles jusqu'à la saturation des hôpitaux, et le discours préventif des épidémiologistes appelant au renforcement drastique des mesures sanitaires à l'hiver 2021. En un certain sens, avec le transfert de l'aide à la décision vers les cabinets de conseil, le contrôle optimal a modifié l'évidence ontologique de la vague : on est passé d'une perspective visant à aplatir la vague pour préserver de manière inconditionnelle la vie humaine, à une perspective davantage logistique, économique et sociale favorisant le coût minimal des mesures nécessaires pour atteindre l'équilibre.

On peut ainsi considérer que l'institutionnalisation des modèles des cabinets de conseil constitue un tournant majeur dans la crise : la visée du contrôle optimal a, semble-t-il,

¹⁷ Accenture a eu la charge du système d'information des données de vaccination.

¹⁸ Entretien réalisé dans le cadre des projets CrisOrg (organisations en crise) et ProbaPol (probabilités épidémiologiques et décisions politiques) hébergés par Sciences Po.

changé radicalement avec la stratégie vaccinale et ses outils logistiques. De sorte que le choix des facteurs de propagation à réduire s'est vu bouleversé sans pour autant ébranler le pouvoir de l'abstraction : à cet égard, il convient de se demander si l'institutionnalisation d'un modèle n'a pas pour effet de le rendre infalsifiable. En effet, il semble que l'on puisse toujours justifier les prédictions et les décisions face au risque abstrait de la vague : si l'on n'avait pas fait cela, le dommage aurait été plus important, répète-t-on à l'envi. De sorte que le problème de la modélisation est peut-être moins celui de sa validité, que celui de l'organisation qui lui donne sa fonction de vérité.

CONCLUSION

Il semble ainsi que la dynamique institutionnelle des modèles durant la crise de Covid-19 relève moins d'une opposition entre les équipes de recherche et les cabinets de conseil, que d'une sélection stratégique propre à l'entrepreneuriat institutionnel du gouvernement. Les modèles épidémiologiques Inserm-CNRS-Pasteur ont apporté une vision scientifique pour la prise de décision politique tout au long de la crise. Ils n'ont en aucun cas été substitués par les modèles des cabinets de conseil, qui sont, pour leur part, des outils opérationnels de planification logistique (utilisés en particulier lors de la campagne de vaccination). Seulement, dans les deux cas, l'institutionnalisation intermittente des modèles met en évidence un certain cadrage cognitif et actionnel qui a trouvé à se différencier selon les phases de l'épidémie. Comprendre les variations de ce cadrage institutionnel permet en ce sens de retracer la logique des prises de décision, et de la mise en œuvre.

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 CoVprehension (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 CoVprehension, 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 CoVprehension 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://covprehension.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.

Enseignements des actions de traçage des contacts réalisées par l'Assurance maladie

Par Jean-Baptiste CALCOEN

Directeur de la CPAM d'Ille-et-Vilaine et de la coordination régionale de la gestion du risque pour la Bretagne

En un temps record, l'Assurance maladie a mis en œuvre un dispositif national de *contact-tracing* dédié au Covid-19. Dans chaque département, une plateforme de *contact-tracing* a ainsi assuré des appels sortants vers les cas positifs et les cas contacts identifiés. Ces plateformes ont fonctionné 7 jours sur 7 du 12 mai 2020 à juin 2022, et ont pris en charge 30 millions de cas positifs et 23 millions de cas contacts.

Malgré l'augmentation considérable du nombre de cas, l'Assurance maladie a réussi à contacter plus de 90 % des cas et contacts dans un délai rapide de 24 heures. Pour faire face à l'ampleur de l'épidémie, l'Assurance maladie a adapté sans cesse le dispositif de *contact-tracing*, en le dématérialisant progressivement, puis totalement à partir de juillet 2022.

Si l'efficacité du dispositif de *contact-tracing* est avérée sur la dynamique générale de l'épidémie, le niveau des hospitalisations et le dépistage des cas contacts, il est revanche à ce stade très compliqué de déterminer le respect de l'isolement par les cas et l'exhaustivité du recensement des cas contacts.

Cette expérience unique pour l'Assurance maladie, et pour les autres acteurs du monde de la santé, nécessite un retour d'expérience complet qui permettra de définir le rôle que l'Assurance maladie pourra jouer dans la gestion des futures crises sanitaires.

LE CONTACT-TRACING, UNE DÉMARCHE INÉDITE POUR L'ASSURANCE MALADIE AYANT NÉCESSITÉ UNE MOBILISATION EXCEPTIONNELLE DE SON RÉSEAU ET UNE GRANDE AGILITÉ DE SES ÉQUIPES

La genèse du dispositif de *contact-tracing*

En quelques semaines, à partir de mai 2020, l'Assurance maladie a assuré la mission de traçage des cas contacts en déployant 103 plateformes de *contact-tracing* (PFCT) auprès de chacune des Caisses primaires d'assurance maladie (CPAM) départementales et des Directions régionales du service médical (DRSM) en métropole et dans les DROM, fonctionnant 7 jours sur 7 de 08 h 30 à 18 h 30.

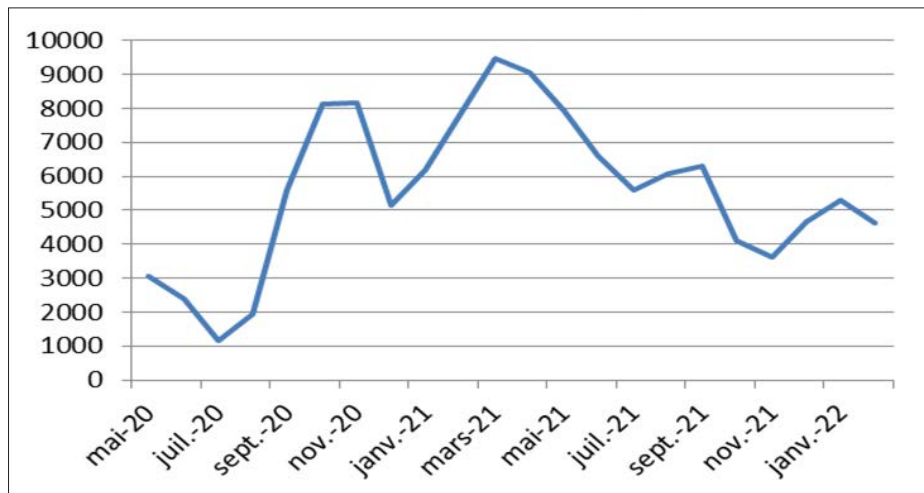
La mise en œuvre du *contact-tracing* s'inscrit dans le déploiement de la stratégie gouvernementale « Tester-Tracer-Isoler », devenue « Tester-Alerter-Protéger » en intégrant la vaccination en décembre 2020. Le *contact-tracing* est ainsi conçu comme une des trois

briques avec les politiques de dépistage et de vaccination du dispositif national de lutte contre l'épidémie de Sars-CoV-2.

Au démarrage du *contact-tracing*, le 12 mai 2020, l'Assurance maladie mobilise environ 3 000 ETP CDI volontaires redéployés et formés à la réalisation d'appels sortants en direction des cas positifs (P0) et de leurs cas contacts (PC). La mobilisation de l'Assurance maladie sur cette nouvelle mission, habituellement dévolue aux équipes de Santé publique France et des Agences régionales de Santé, a nécessité une grande agilité des équipes pour adapter le dispositif de *tracing* à la fois aux fluctuations du nombre de cas et à l'évolution de la doctrine de dépistage et d'isolement des cas et de leurs contacts.

Des ressources et un système d'information dédiés

Le dimensionnement des équipes mobilisées par l'Assurance maladie a été adapté sans cesse à l'intensité des différentes vagues épidémiques. Le profil des traceurs a également évolué puisque les organismes d'Assurance maladie ont progressivement repris la totalité de leurs activités habituelles, nécessitant de recruter et de former des équipes dédiées au *contact-tracing* majoritairement en CDD. Le pilotage des plateformes et la supervision des activités ont été assurés tout au long de la période par des managers confirmés de l'Assurance maladie. Au-delà des effectifs dédiés à la réalisation des appels sortants, le *contact-tracing* a nécessité une importante mobilisation des fonctions RH (recrutement et formation) et supports des CPAM et des DRSM (informatique, immobilier, logistique), indispensables à la réussite de cette mission.



Graphique n°1 : Évolution des ressources dédiées au *contact-tracing* par l'Assurance maladie (ETP en moyenne annuelle).

La mise en œuvre du *contact-tracing* à une échelle nationale, et pour un nombre de cas et de contacts jamais atteints, a nécessité le développement par l'Assurance maladie d'un outil informatique dédié – Contact Covid – alimenté en entrée par les résultats de tests positifs centralisés dans la base SI-DEP, base développée par l'AP-HP en lien avec la DGS.

Le développement de Contact Covid a été réalisé entièrement par les équipes de l'Assurance maladie, et a été sans cesse amélioré et adapté aux évolutions des besoins des traceurs et des recommandations sanitaires. Ainsi, plus de 75 versions de Contact Covid ont été mises en production de mai 2020 à mai 2022. Contact Covid ayant été pensé dès l'origine comme une base nationale, il a permis la mise en œuvre de dispositifs d'entraide interrégionaux permettant de lisser les effets des variations géographiques et temporelles des taux d'incidence.

Une organisation du *contact-tracing* en trois niveaux

Dès l'origine, le dispositif de *contact-tracing* a été pensé comme un dispositif national mobilisant trois acteurs, chacun en charge d'un niveau de traçage des contacts :

- Les professionnels de santé étaient en charge du niveau 1 et de l'identification des cas contacts familiaux à l'occasion des éventuelles consultations en cabinet des cas positifs. Les cas contacts identifiés par les professionnels de santé étaient alors créés directement dans Contact Covid par les professionnels de santé, et appelés ensuite par les traceurs de l'Assurance maladie.
- Le niveau 2 de traçage, assuré par les PFCT de l'Assurance maladie, consistait à appeler tous les cas positifs pour identifier le maximum de cas contacts, soit en complément du premier niveau de traçage – au-delà des cas contacts familiaux –, soit pour identifier l'ensemble des cas contacts en l'absence de traçage de niveau 1.
- En cas de regroupement de cas ou de fréquentation de collectivités sensibles (EHPAD, établissements de santé, établissements pénitentiaires...), les traceurs de l'Assurance maladie avaient pour consigne de transmettre un signalement de niveau 3 à l'ARS en charge de l'investigation des éventuels *clusters*.

L'Assurance maladie a en moyenne assuré la création de 85 % des fiches P0 dans Contact Covid. 15 % des fiches P0 ont été créées manuellement par les professionnels de santé, dont la très grande majorité par les pharmaciens (13 %) à la remise des résultats positifs des TAG (test antigéniques). Concernant le traçage des cas contacts, les plateformes de l'Assurance maladie ont identifié environ 95 % des contacts enregistrés dans la base Contact Covid ; 5 % des contacts ont été identifiés et enregistrés manuellement dans Contact Covid par les professionnels de santé (73 % par les pharmaciens, 23 % par les médecins et 3 % par les IDEL – Infirmiers diplômés d'État libéraux).

Une dématérialisation progressive du dispositif de *contact-tracing*

Pour faire face aux fluctuations de l'épidémie et du nombre de cas, l'Assurance maladie a sans cesse adapté le dispositif de *contact-tracing* tantôt en le renforçant – en période de circulation faible –, notamment, par la réalisation d'un second appel aux P0 n'ayant pas déclaré de cas contacts au 1^{er} appel ou auprès des P0 touchés par un variant d'intérêt, tantôt en dématérialisant une partie des activités de *tracing* – en période de circulation forte – d'abord en invitant par SMS les cas positifs à préparer, dès novembre 2020, la liste de leurs cas contact depuis le site « BriserLaChaine » avec lequel l'Assurance maladie a développé un partenariat, puis en proposant aux cas contacts de consulter un site leur permettant de prendre connaissance des consignes sanitaires, et enfin en demandant, au plus fort de la cinquième vague de décembre 2021-février 2022, aux P0 de déclarer en ligne leurs cas contacts *via* le téléservice « lister mes cas contacts » élaboré par l'Assurance maladie.

La dématérialisation du *contact-tracing* s'est donc mise en place progressivement, et a été généralisée fin 2021 lorsque les niveaux de contamination ne permettaient plus

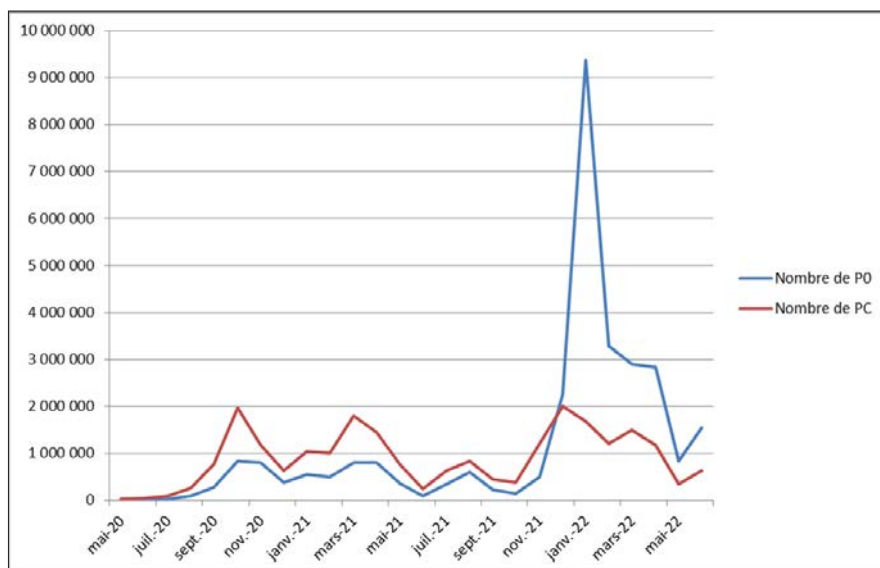
la réalisation d'un appel téléphonique auprès de chaque cas positif (le nombre moyen de contamination de janvier à novembre 2021 était d'environ 450 000 P0, contre 2 250 000 en décembre 2021 et près de 9 400 000 en janvier 2022). Depuis juillet 2022, le *contact-tracing* est entièrement dématérialisé et le traitement des appels entrants a été centralisé sur 14 plateformes dédiées dont 4 dans les DROM.

L'effet conjugué de l'explosion du nombre de cas et de la dématérialisation des échanges avec les cas positifs a eu pour effet de diminuer le nombre de cas contacts identifiés. Cette évolution du *contact-tracing* vers une dématérialisation totale s'explique à la fois par un principe de réalité – le maintien des appels téléphoniques aux P0 pendant la cinquième vague de décembre 2021 à janvier 2022 aurait nécessité le recrutement de près de 60 000 traceurs – et par la prise en compte d'une meilleure maîtrise des recommandations sanitaires de dépistage et d'isolement par les cas et leurs contacts après deux ans de pandémie.

L'ASSURANCE MALADIE A SU GARANTIR UN NIVEAU D'INTERVENTION ÉLEVÉ ET DES CONTACTS RAPIDES MALGRÉ L'AUGMENTATION CONSIDÉRABLE DU NOMBRE DE CONTAMINATIONS

L'évolution du nombre de contaminations

De mai 2020 à juin 2022, l'Assurance maladie a été amenée à tracer plus de 30 millions de cas positifs (2,45 millions de mai à décembre 2020 ; 7,23 millions en 2021 et 20,8 millions de janvier à juin 2022). Sur cette même période, l'Assurance maladie a identifié plus de 23 millions de cas contacts (5 millions de mai à décembre 2020 ; 11,81 millions en 2021 et 6,55 millions de janvier à juin 2022).

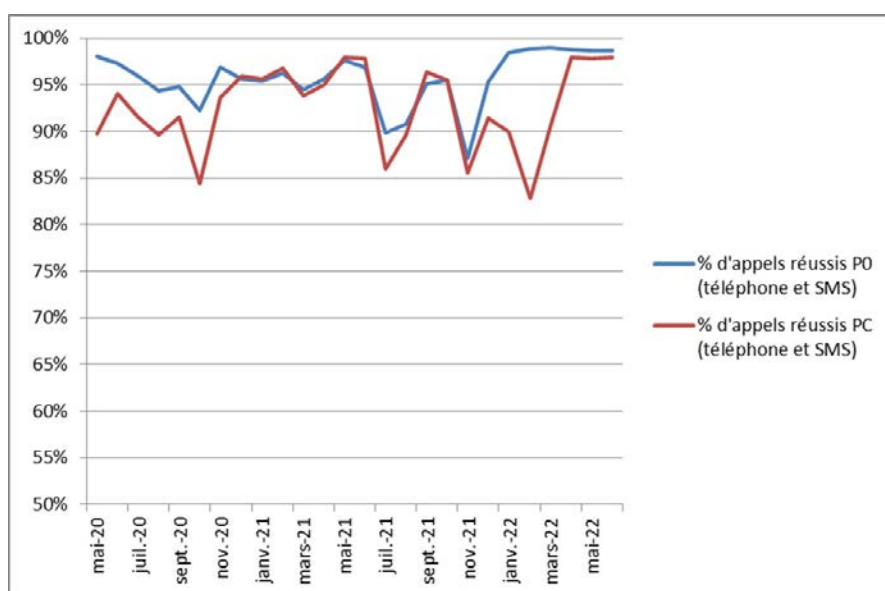


Graphique n°2 : Évolutions du nombre de cas positifs (P0) et de cas contacts (PC).
Données issues de Contact Covid.

Un taux de traitement des situations supérieur à 90 %

Entre mai 2020 et juin 2022, le dispositif de *contact-tracing* mis en œuvre par l'Assurance maladie a permis une prise de contact par téléphone ou SMS (à compter de décembre 2021) avec 95 % des 30 millions de cas positifs. Sur la même période, 92 % des cas contacts ont bénéficié d'un appel réussi réalisé par l'Assurance maladie, ou d'un SMS.

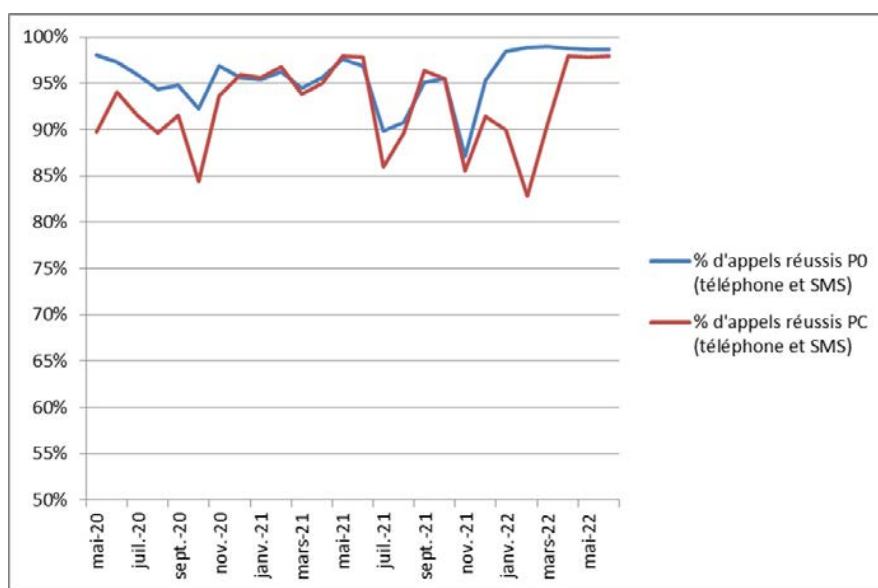
À l'occasion des appels sortants, le rôle des traceurs de l'Assurance maladie était multiple : identification des cas contacts et des collectivités sensibles éventuellement concernées par une contamination ; explication et pédagogie des mesures d'isolement et de dépistage ; gestion des demandes d'arrêts de travail dérogatoires ; orientation des patients vers leur médecin traitant ou le 15 pour les situations les plus à risque ; identification des besoins d'accompagnements social et sanitaire ; gestion des situations d'anxiété.



Graphique n°3 : Évolution du taux de traitement des PO et PC.

Un délai de traitement des situations maintenu dans les 24 heures

Une des conditions de réussite du *contact-tracing* est la rapidité d'intervention des traceurs auprès des cas positifs pour rappeler l'importance du respect de la période d'isolement, et pour identifier et appeler l'ensemble des cas contacts. Dans ce domaine, l'Assurance maladie a su faire preuve d'efficacité en contactant, sur la période de mai 2020 à décembre 2021 (soit avant la mise en place du SMS pour les cas positifs), 93 % des cas positifs dans les 24 heures suivant leur diagnostic. Concernant les PC, environ 80 % des cas contacts ont été appelés dans les 24 heures de l'appel au PO.



Graphique n°4 : Évolution du délai de traitement des PO et PC.

L'EFFICACITÉ DU *CONTACT-TRACING* EST PARTIELLEMENT MESURABLE, MAIS L'IMPACT SUR LA DYNAMIQUE ÉPIDÉMIQUE EST INDÉNIABLE

L'exhaustivité du recensement des cas contacts

Une autre condition de réussite du *contact-tracing* tient en la capacité à identifier les cas contacts de manière exhaustive. Ce sujet est plus complexe et difficilement évaluable dans la mesure où aucune donnée officielle ne permet de mesurer précisément, ni même d'estimer le nombre de cas contacts répondant à la définition de Santé publique France, qui a par ailleurs évolué quatre fois entre mai 2020 et juin 2022.

Nous avons cependant pu mesurer qu'en période de *tracing* renforcé, par exemple en juin 2021, 15 % des cas positifs sans cas contact au premier appel, déclaraient en moyenne un cas contact à l'occasion d'un second appel. Pour autant, sur la période de mai 2020 à novembre 2021, le ratio moyen de cas contacts par cas positif a été de 2 PC par PO.

Les contacts informés par l'Assurance maladie, s'ils deviennent PO, ont bien moins de cas contacts que des personnes qui n'auraient pas reçu cette information, ce qui, à un niveau macro, a un effet très fort sur l'épidémie. Au vu du nombre de personnes contactées, même en retenant des hypothèses faibles de respect effectif de l'isolement à la suite du contact par l'Assurance maladie, le nombre de contaminations évitées, donc d'hospitalisations et *in fine* de décès, a certainement été très significatif.

L'expérimentation et la généralisation du *retrotracing*

Au printemps 2021, l'Assurance maladie en lien avec la DGS et SPF a travaillé activement à la mise en place d'une version renforcée du *contact-tracing* appelée « *retrotracing* ». Le *retrotracing* consiste à essayer d'identifier les circonstances de contamination des cas positifs afin d'identifier, au-delà des cas contacts de premier niveau habituellement identifiés dans le *contact-tracing* habituel, des co-exposés susceptibles de développer une contamination.

Cette méthode permet également d'identifier des moments ou des lieux à l'origine de chaînes de contamination. Ce *retrotracing* a été déployé au niveau national en juin 2021 sur une période assez courte, interrompue par la quatrième vague et la remontée assez forte du nombre de cas intervenus fin juillet 2021.

Si la mise en œuvre du *retrotracing* a pu permettre à l'Assurance maladie d'augmenter le nombre de contacts identifiés, cette phase de généralisation a également démontré que cette méthode de *tracing* nécessitait un fort investissement en ressources de la part de l'Assurance maladie, des ARS et de SPF. D'un commun accord avec le ministère et SPF, il a été convenu que ce dispositif n'était possible et praticable qu'en dessous d'un seuil de 5 000 PO/j, situation qui ne s'est présentée à nouveau ensuite que sur une trop courte période (première quinzaine d'octobre 2021).

L'observance des périodes d'isolement

Il n'existe pas d'études ayant été publiées permettant de mesurer le respect de l'isolement.

Pour autant, l'Assurance maladie a joué un rôle majeur sur ce sujet en informant les cas et leurs contacts, en mettant en œuvre un dispositif d'arrêts dérogatoires simple et facilement accessible et en proposant systématiquement un dispositif d'accompagnement social pour les cas et leurs contacts (portage de repas, aides à domicile, notamment, déployés sur le terrain par les cellules territoriales d'appui à l'isolement placées sous l'autorité des préfets) et un dispositif d'accompagnement sanitaire pour les cas uniquement, consistant en une visite à domicile d'une infirmière libérale (VDSI pour visite domiciliaire sanitaire infirmier).

De janvier à novembre 2021, l'accompagnement social a concerné 7 % des cas et 3 % des cas contacts, et l'accompagnement sanitaire, 13 % des cas.

Le dispositif de *contact-tracing*, même s'il ne touche pas l'exhaustivité des PO et des contacts permet une sensibilisation d'une part très élevée de la population à l'isolement, contribuant *in fine* à limiter fortement la progression du taux de reproduction du virus.

L'observance du dépistage par les cas contacts

Concernant le dépistage des cas contacts, une étude ponctuelle réalisée par l'Assurance maladie sur la période du 1^{er} août au 30 septembre 2021 a pu montrer qu'environ 80 % des PC de plus de 10 ans réalisaient un test dans un espace-temps compris entre - 7 jours et + 7 jours de la date d'identification en tant que cas contact. Ces résultats ponctuels suggèrent une observance plutôt bonne du recours au dépistage par les cas contacts. Nous ne disposons cependant pas de résultats consolidés sur une période importante, pour confirmer cette hypothèse sur le temps long.

Un impact réel sur les hospitalisations

L'Assurance maladie estime que le *contact-tracing* a permis d'éviter des hospitalisations : en posant l'hypothèse que le *tracing* a permis d'éviter 1 contamination supplémentaire pour 20 % des 7,2 millions de personnes contaminées en 2021, ce sont 1,4 million de contaminations par ces personnes évitées, soit 65 000 hospitalisations de moins (le taux d'hospitalisation moyen à la suite d'un Covid, observé sur 2021 est de 4,5 %) et près de 14 000 passages en réanimation de moins.

Dans son rapport « Charges et Produits » pour 2023, l'Assurance maladie a analysé le coût des hospitalisations pour Covid, et montré que les soins pour les assurés hospitalisés pour Covid-19 ont occasionné une dépense de 1,6 Md€, soit près de 7 800 € par patient, liée à 90 % aux dépenses d'hospitalisation. Il est donc vraisemblable que les dépenses occasionnées par l'activité de *contact-tracing* (dépenses de personnel, SI et communications sortantes essentiellement) ont été en grande partie compensées par les coûts évités grâce à ces moindres hospitalisations.

Une contribution active de l'Assurance maladie à l'identification des lieux et circonstances de contaminations réalisée par l'Institut Pasteur

L'Institut Pasteur, avec lequel l'Assurance maladie a fortement collaboré, a mené une vaste étude appelée ComCor, incluant 160 000 personnes infectées par le Covid-19 et appelées à répondre à une enquête (lien adressé par mail par l'Assurance maladie) visant à identifier les lieux et circonstances de contaminations. Les résultats de cette étude ont été publiés sur le site de l'Institut Pasteur, et permettent de décrire à différents stades de l'épidémie, les lieux et circonstances de contamination du Sars-Cov-2.

Ainsi, l'étude ComCor, pour son quatrième volet, a permis d'analyser les données de 12 634 personnes testées positives au Sars-CoV-2 entre le 23 mai et le 13 août 2021, et 5 560 témoins (non infectés). L'étude a permis d'identifier « les bars en intérieur et les soirées privées comme lieux de transmission du variant Delta chez les moins de 40 ans entre le 9 juin et le 9 juillet, avec un risque plus élevé pour les hommes comparés aux femmes. Cette période correspond à celle de l'Euro de football, ce qui laisse supposer que les réunions de supporters à l'occasion des matchs ont pu jouer un rôle dans la propagation du virus, comme également observé au Royaume-Uni. À leur ouverture, les discothèques ont également été des lieux de transmission. Chez les plus de 40 ans, la présence d'enfants dans l'entourage a été associée à un sur-risque d'infection qui va de + 30 % pour les collégiens à + 90 % pour les très jeunes enfants (moins de trois ans). Certains moyens de transport ont été associés à un sur-risque d'infection modéré : la voiture partagée avec des proches et des amis (+ 30 %) (hors plateformes de co-voiturage pour lesquelles aucun sur-risque n'a été observé), le taxi (+ 50 %), le métro (+ 20 %), le train (+ 30 %), et l'avion (+ 70 %). En revanche, aucun sur-risque n'a été documenté pour les lieux culturels, les commerces (hors commerces de proximité), les restaurants (à une période où beaucoup opéraient en extérieur et avec aération), les lieux de culte, les activités sportives, et les rassemblements familiaux (hors mariages pour lesquels un sur-risque a été documenté) » (Étude ComCOR, 2021).

Une implication de l'Assurance maladie dans la gestion des futures crises sanitaires ?

Avec la perspective de la fin de l'utilisation de Contact Covid et donc indirectement de la fin du *contact-tracing* prévue au moment de la rédaction de cet article au 31 janvier 2023, l'Assurance maladie a prévu, dans le cadre de la préparation de sa future « Convention d'Objectifs et de Gestion » avec l'État, de réaliser un retour d'expérience formalisé sur

son implication dans les dispositifs de gestion de crise sanitaire. Ce retour d'expérience facilitera la mise en place d'une gouvernance permettant d'être immédiatement opérationnels en cas de crise (outils, formation des personnes à la gestion de crise, exercices, cartographie des compétences, règles de priorisation des activités, etc.), en capitalisant sur cette expérience de la crise Covid, et, notamment, du *contact-tracing*.

BIBLIOGRAPHIE

Institut Pasteur, études ComCor, descriptif et résultats consultables à partir du lien <https://www.pasteur.fr/fr/search/ComCor>

ASSURANCE MALADIE, « Rapport Charges et Produits 2023, chapitre 3 : L'impact de la Covid-19 sur le système de santé et l'action de l'assurance maladie », consultable à partir du lien <https://assurance-maladie.ameli.fr/etudes-et-donnees/etudes-publications/assurance-maladie/rapport-propositions-assurance-maladie-charges-produits>

COUR DES COMPTES, « Tracer les contacts des personnes contaminées par la Covid-19 », audit flash, consultable à partir du lien <https://www.ccomptes.fr/fr/publications/tracer-les-contacts-des-personnes-contaminees-par-la-covid-19>

SANTÉ PUBLIQUE FRANCE, site dédié au Covid-19 consultable à partir du lien <https://www.santepubliquefrance.fr/dossiers/coronavirus-covid-19/contact-tracing>

« On a perdu en France l'expérience des épidémies et de leur gestion sur le terrain »

Entretien avec le Pr Renaud PIARROUX

Propos recueillis
par Maurice RONAI
et Aymeril HOANG

« Une épidémie, c'est une population dans un territoire. La réponse est territoriale. Dans la lutte contre les épidémies, on cherche à savoir de manière très simple où et quand sont survenus les cas, avec une unité géographique qui permet d'organiser la réponse.

Le projet COVISAN, déployé en avril 2020, en Île-de-France, s'inspirait directement de l'expérience d'élimination du choléra en Haïti dans les années 2010. Pour casser les chaînes de transmission, des équipes mobiles proposaient un dépistage systématique aux patients potentiellement infectés par le Sars-CoV-2 ainsi qu'à leurs proches, et de les accompagner dans leur confinement. Au total, plus de 100 000 personnes auront été testées et accompagnées par le dispositif COVISAN. Face aux futures épidémies, il faut se demander quelles sont les organisations, et les *leaders*, capables d'organiser une réponse la fois territorialisée et communautaire. »

Présentation du Professeur Renaud PIARROUX

Renaud Piarroux est Chef de service à la Pitié Salpêtrière (AP-HP), spécialiste des épidémies, membre de l'Institut Pierre Louis d'épidémiologie et de santé publique rattaché à l'INSERM. Durant sa carrière, Renaud Piarroux participe à des missions humanitaires en Afrique, en République démocratique du Congo, en Côte d'Ivoire, et anime un programme de lutte contre le choléra à Haïti. Le 13 mars 2020, il alerte, avec Éric Caumes, et Martin Hirsch (alors directeur des Hôpitaux de Paris), sur la possibilité d'un « tsunami de cas ». Un mois plus tard il conçoit et déploie le dispositif COVISAN d'aide au confinement des personnes Covid positives. Il décrit son expérience dans le livre *La Vague, l'épidémie vue du terrain*.

Vous avez expliqué, à l’occasion d’un entretien dans *Le Monde*, le 9 avril 2020, « que l’expérience des épidémies et de leur gestion sur le terrain s’est perdue en France [...]. Du coup, des réflexes manquent, comme celui d’aller voir au plus près du terrain où sont les cas, d’établir une courbe épidémique sur des endroits précis, même si cela implique un énorme travail ».

Dans la lutte contre les épidémies, on cherche à savoir de manière très simple où et quand sont survenus les cas, avec une unité géographique qui permet d’organiser la réponse. La première chose que l’on met en place, c’est un relevé des cas : si possible au niveau de la rue ou du quartier, et au minimum au niveau de la structure de soins. Cette information permet d’identifier les lieux où le nombre de cas est anormalement élevé, puis de déterminer où il faut prioritairement mener une action pour casser les chaînes de transmission. Et cela dépend du terrain. Savoir qu’il y a beaucoup de cas dans les Hauts-de-Seine ne sert à rien, est-ce à Antony ou à Nanterre ? En avril 2020, à partir des données de l’hôpital, j’avais montré que l’on pouvait repérer des endroits qui concentraient beaucoup de cas et d’autres moins, et qu’il avait donc une hétérogénéité spatiale. Or, jusqu’en octobre 2020, les données épidémiologiques produites par Santé publique France n’étaient disponibles qu’à l’échelle du département.

Vous avez déploré, dans votre livre (Piarroux, 2020), l’inadaptation du système d’information pour le suivi des victimes (SI-VIC)¹ dans la gestion d’une épidémie, faute de renseignements sur les personnes...

Les adresses des personnes sont la base de l’épidémiologie. SI-VIC, qui ne permet pas de localiser précisément les malades, n’a pas été conçu pour faire de la surveillance épidémiologique. Seules les ARS avaient accès aux données nominatives, mais sur le terrain, nous n’y avions pas accès. Avec les données de SI-VIC, il était presque impossible de reconstituer la trajectoire des patients, de mesurer les durées d’hospitalisation ou en réanimation. On y est arrivés plus ou moins avec l’entrepôt de données de santé, mais c’était assez compliqué.

Par la suite, on a pu s’appuyer sur les données de SI-DEP. La PCR a alors été considérée comme le *gold standard*, même si certains cas, vus tardivement, pouvaient échapper (et avec eux, certaines chaînes de transmission). Au pic de la première vague, la recherche active des cas contacts n’avait pas une importance capitale, parce que l’on était submergés, mais au moment où ça a baissé, si on ne voulait pas que ça remonte, il aurait fallu identifier un maximum de cas et faire le nécessaire pour casser les chaînes de transmission autour d’eux. Pour moi, c’est vraiment la base de l’épidémiologie : on collecte des données pour les utiliser.

¹ Le système d’information pour le suivi des victimes d’attentats et de situations sanitaires exceptionnelles (SI-VIC) a été créé en 2016 à la suite des attentats de Paris. SI-VIC est déclenché lors d’événements et de catastrophes de ce type (attentats, situations sanitaires exceptionnelles). Ce système d’information par nature hospitalier ne permettait pas de connaître les cas recensés en EHPAD, ni, bien sûr, à domicile.

Dans quelles conditions avez-vous pu lancer le projet COVISAN ?

C'était le week-end pascal. Je suis allé voir Martin Hirsch². J'étais convaincu qu'il fallait aussi s'occuper des malades qui sortaient des urgences sans la moindre assistance pour s'isoler : constituer de petites équipes mobiles pour aller à leur domicile, dépister leurs proches, et leur proposer une aide quand elles acceptaient de s'isoler. Le principal levier pour ralentir une épidémie ou pour la maîtriser, c'est le comportement de la personne positive et de son entourage. Donc il faut s'allier avec les personnes. Cela va plus loin que simplement repérer les personnes contaminées : c'est vraiment passer un contrat avec elles. Et voir avec elles comment faire pour qu'elles ne contaminent pas leur entourage. Il n'y avait pas besoin d'argumenter des heures, c'était évidemment ce qu'elles souhaitaient.

Martin Hirsch a donné le feu vert et on s'est débrouillés comme on a pu. Le projet COVISAN est directement inspiré de l'expérience d'élimination du choléra en Haïti dans les années 2010³. Pour le Covid, quand on apprenait qu'il y avait un nouveau cas à un endroit, on envoyait une équipe : selon la situation, on distribuait des masques et des gels hydro-alcooliques au patient et à son entourage. On déterminait avec la personne les moyens qui permettraient de protéger sa famille et d'empêcher une diffusion du virus. On pouvait aussi interroger les patients, sur les lieux qu'ils avaient fréquentés, et reconstituer ainsi les chaînes de transmission.

Comment êtes-vous parvenus à le déployer ?

J'ai fait venir un ami qui avait travaillé en Haïti sur les équipes mobiles et qui a aidé à mettre en place la mission à la Pitié Salpêtrière. On a monté une dizaine d'équipes mobiles, souvent des duos : une personne ayant une formation médicale avec quelqu'un ayant plutôt une fibre sociale. On a commencé à recruter les volontaires par le bouche-à-oreille : des médecins, des étudiants en médecine, des infirmiers, des pharmaciens, des biologistes.

COVISAN a été mis en place à partir du 14 avril 2020. Il y eut jusqu'à onze sites pilotes, transformés par la suite en antennes COVISAN. Le programme a été rejoint par des hôpitaux, des médecins de ville, des centres de santé, des collectivités, la Croix Rouge, la protection civile... J'ai participé à la formation de 800 personnes : comment on combat une épidémie, comment on s'adresse aux personnes, comment prélever. Au début, on nous a dit : « Vous ne pouvez pas faire de prélèvements, il faut que ce soit un docteur ». Heureusement, la règle s'est très vite relâchée, et il a été admis que les prélèvements puissent être réalisés par des étudiants en santé, et même par des secouristes. Les

² Directeur général de l'Assistance publique-hôpitaux de Paris (AP-HP).

³ La campagne contre le choléra à Haïti s'appuyait sur des équipes mobiles d'intervention rapide (EMIRA) intervenant sur des zones d'intervention ciblées en fonction des données épidémiologiques. Ces EMIRA intervenaient sur tout cas suspect de choléra, et avaient pour mission de protéger l'entourage des patients, par l'apprentissage des mesures d'hygiène, la désinfection des latrines, la distribution de savon et de pastilles de chlore pour la décontamination de l'eau. Les équipes étaient le plus souvent accompagnées d'infirmiers chargés de dépister des cas dans le voisinage et d'administrer un traitement antibiotique aux sujets contacts (Piarroux, 2019).

patients rentraient dans le dispositif *via* les services des urgences, les médecins de ville, les centres de dépistage, les SAMU/SMUR...⁴

Fin avril-début mai 2020, le gouvernement commence à préparer la sortie du confinement. Il y a un débat : faut-il déployer des équipes mobiles (sur le modèle COVISAN) ou plutôt des plateformes téléphoniques pour le suivi des contacts. Le Conseil scientifique recommande, le 20 avril, à l'intention du gouvernement, la mise en place « d'un système efficace s'appuyant sur la médecine de ville, des plateformes numériques, et des équipes mobiles pour identifier les cas suspects et les orienter vers des structures de test ».

Nous avons eu quelques contacts avec l'équipe qui préparait le déconfinement, sous la direction de Jean Castex. J'ai publié, dans *Le Monde*, le 27 avril 2020, une tribune avec Bruno Riou (Piarroux et Riou, 2020). Un des succès de COVISAN était l'adhésion des patients inclus dans le dispositif. COVISAN avait été déployé en Île-de-France. C'était une collaboration ville-hôpital inédite, au travers des CPTS⁵. Nous voulions que le dispositif soit déployé au niveau national.

Finalement, un système avec trois niveaux a été mis en place : les médecins, l'Assurance maladie (pour la recherche des cas contacts en s'appuyant sur le SI-DEP pour Système d'informations de dépistage) et les ARS pour la détection des *clusters*. Les syndicats médicaux ont obtenu gain de cause : ils se voyaient reconnaître un rôle clé dans la stratégie Tester-Tracer-Isoler (le premier niveau). Les équipes mobiles ont donc été écartées. Elles inspiraient une certaine méfiance aux syndicats qui souhaitaient avant tout défendre les prérogatives des médecins.

Pensez-vous que le modèle COVISAN pouvait être étendu à l'échelle nationale au-delà de l'Île-de-France ?

C'est sur l'Assurance maladie, le Si-DEP et ses plateformes téléphoniques qu'a reposé, en définitive, la stratégie Tester-Tracer-Isoler. Je me suis longtemps demandé pourquoi cette mission avait été confiée à l'Assurance maladie. Mon sentiment, c'est que le gouvernement, même s'il était convaincu par l'intérêt de l'approche communautaire, avait une

⁴ « Le but du dispositif était de casser les chaînes de transmission du Sars-CoV-2 et d'accompagner la levée du confinement (11 mai 2020) en proposant un dépistage systématique aux patients potentiellement infectés par le Sars-CoV-2 ainsi qu'à leurs proches, et de les accompagner dans leur confinement. Les patients pouvant se confiner efficacement au domicile ont bénéficié d'un "kit patient" constitué d'équipements de protection individuelle (masques chirurgicaux, solution hydroalcoolique) et d'explications orales et écrites concernant les gestes barrières et si besoin de solutions d'accompagnement (blanchisserie, courses, repas, portage de médicaments). Les patients ne pouvant s'isoler de façon efficace à leur domicile se sont vu proposer un hébergement hors du domicile (hôtel ou centre d'hébergement), sur la base du volontariat et ont bénéficié d'un suivi pour lever leur isolement », « Retour d'expérience sur COVISAN : un dispositif médicosocial pour casser les chaînes de transmission de la Covid-19 » (2020), *Annales françaises de Médecine d'Urgence*.

⁵ Les Communautés professionnelles territoriales de santé (CPTS) sont, depuis 2016, une structure d'exercice coordonnée qui permet la structuration des soins de proximité dans un territoire défini.

démarche très normative : il souhaitait disposer d'un interlocuteur unique, pour l'ensemble du pays. Le problème de COVISAN, c'est qu'il fallait trouver le bon chef de file pour chaque territoire : la Croix Rouge, une CPTS, les pompiers, une association, une mairie. Je reste convaincu que c'était tout à fait possible. Dans les pays où je suis intervenu, quand on arrive sur une épidémie, on ne sait pas avec qui on va avoir affaire et on s'adapte. On va s'appuyer ici sur un centre de santé, sur une ONG ailleurs. On va financer l'un ou l'autre pour faire le *job*. Et on arrive à déployer des équipes mobiles à l'échelle d'un pays, comme on l'a fait dans l'Est de la République démocratique du Congo. Et pourtant, cette région est vaste. Dans une épidémie, il ne faut pas imaginer que ce sont les épidémiologistes professionnels qui sont sur le terrain au quotidien : ils organisent le travail, ils forment les équipes, vérifient que ça se passe bien en accompagnant de temps en temps.

Le Professeur Delfraissy évoque, le 30 avril 2020, devant le Sénat, à propos de ce qu'il appelle les « brigades sanitaires », le nombre de 15 000 ou 20 000 enquêteurs.

Non : l'ordre de grandeur, c'était plutôt des milliers ; pas des dizaines de milliers. En France, il était tout à fait possible de trouver sur chaque site des personnes capables d'organiser des équipes. Les pompiers ont une culture de crise. La Croix Rouge est capable de mobiliser les bénévoles.

Avec la mise en place de la stratégie Tester-Tracer-Isoler, avec ses trois niveaux (médecins, Assurance maladie et ARS), lors du déconfinement, COVISAN a été marginalisé et quasiment arrêté en juillet 2020. Le dispositif COVISAN a été remis en place à l'automne, avec la seconde vague. Mais, à la demande des élus locaux et de l'ARS, l'AP-HP s'était lancée dans le déploiement des barnums et le *testing* de masse. Les équipes COVISAN de l'AP-HP ont de plus en plus été mobilisées pour accompagner ces campagnes de tests. Cela n'avait plus rien à voir avec la démarche initiale. Le dispositif s'est alors éteint progressivement. Heureusement, le vaccin arrivait. Au total, plus de 100 000 personnes auront été testées et accompagnées par le dispositif COVISAN.

Comment COVISAN s'inscrivait-il dans le débat entre traçage prospectif et traçage rétrospectif (pratiqué dans quelques pays, notamment en Asie) ?

Le *retrotracking*, c'est un niveau de complexité beaucoup plus grand, parce que l'on remonte dans le temps. Il y a souvent une confusion autour du traçage à rebours : est-ce que l'on recherche un superpropagateur (un *superspreader*) ou un événement localisé dans le temps qui a entraîné une transmission augmentée ? Le *retrotracking*, on peut l'envisager quand on maîtrise bien déjà l'accompagnement des patients et le suivi des contacts. En France, on n'a jamais été en situation de le faire.

Au-delà donc de la période mars-mai 2020 (durant laquelle les données disponibles concernaient essentiellement les cas graves), quelles sont les données qui ont manqué, selon vous, pour la gestion de cette crise ?

L'institut Pasteur a étudié les facteurs de transmission. C'était un sondage, certes, mais c'est un exemple d'étude qui a apporté des informations. Ce genre d'enquête n'a pas été

systématisé. Il en aurait fallu beaucoup plus et ne pas chercher à atteindre une rigueur méthodologique absolue. La tentation est de faire des études très complexes, de faire de la science, alors que l'on a surtout besoin de coups de sonde, par exemple, sur les facteurs de risque.

On a consacré beaucoup de moyens à compter les cas sans savoir quel pourcentage de la population avait été touché. Les modélisateurs l'ont calculé, certes, mais il aurait fallu disposer, comme les Britanniques, d'un panel, d'un échantillon de la population suivi tout au long de l'épidémie pour avoir une idée de l'intensité de la transmission, pour savoir combien de personnes avaient été infectées et commençaient déjà à être protégées.

Quels enseignements pour les futures épidémies ?

Notre système de santé doit pouvoir répondre à trois types de missions. Les maladies aiguës, chroniques et les épidémies. Les maladies aiguës : jusqu'ici, le système de santé y arrivait à peu près. En revanche, il est mal configuré pour les maladies chroniques. Et il ne l'est pas du tout pour les épidémies. Une épidémie, c'est une population dans un territoire. La réponse est territoriale. Face aux futures épidémies, il faut se demander quelles sont les personnes qui pourraient être mises à contribution, quels sont les organisations, et les *leaders*, capables d'aider pour la réponse dans tel ou tel territoire (ville, quartier, village). On peut aussi préparer des schémas d'intervention.

En Afrique, probablement d'abord parce qu'il y a souvent des épidémies, il existe une culture des épidémies. Et des opérateurs qui ont pris l'habitude de répondre du jour au lendemain. En France, on a perdu l'expérience des épidémies et de leur gestion sur le terrain. La Covid ne nous a pas permis de combler cette faille de notre système de santé⁶.

RÉFÉRENCES

PERNET J., DE BONNIERES H., BRETON C., HIRSCH V., MOLITOR J.S., BOUTOLLEAU D., PIARROUX R. & HAUSFATER P. (2020), « Retour d'expérience sur COVISAN : un dispositif médicosocial pour casser les chaînes de transmission de la Covid-19 », *Annales françaises de Médecine d'Urgence*.

PIARROUX R. & RIOU B (2020), « Pour déconfiner sans provoquer une deuxième vague, une approche centrée sur le patient », *Le Monde*, 27 avril 2020.

PIARROUX R. (2019), *Choléra. Haïti 2010-2018 : histoire d'un désastre*, CNRS Éditions.

PIARROUX R. (2020), *La vague : l'épidémie vue du terrain*, CNRS Éditions.

⁶ Dans son rapport final, la Mission indépendante nationale sur l'évaluation de la gestion de la crise Covid-19 (dite Mission Pittet) regrette que « le dispositif COVISAN, porté par l'AP-HP sur certains territoires de la région Île-de-France, n'ait pas été davantage déployé pour apporter des réponses notamment à des catégories de population perplexes devant la situation, moins autonomes ou devant faire face à des situations plus complexes. COVISAN a en effet montré tout l'apport d'un contact plus personnalisé en présentiel et d'une écoute tenant compte des contextes, permettant une pédagogie adaptée et un accompagnement qui facilite réellement le respect de l'isolement ».

BriserLaChaine.org : dématérialiser la recherche de cas contacts pour une efficacité à l'échelle

Par Florian GAUTHIER

Directeur de LaReserve.tech de Bayes Impact

Un certain nombre d'initiatives citoyennes ont vu le jour pendant la crise sanitaire, qu'il s'agisse de visualiser les données (CovidTracker, Coronaboard.fr, Covinfo.fr ou Vaccinator.fr) ou de faciliter l'accès à la vaccination (Covidliste, ViteMaDose). BriserLaChaine.org est l'une d'entre elles.

LA GENÈSE DE BRISERLACHAINE.ORG

L'idée de BriserLaChaine.org est née en avril 2020 pendant le premier confinement. Le gouvernement et les autorités sanitaires s'interrogent alors sur les outils et les ressources disponibles pour repérer les contacts, remonter les chaînes de transmission, contacter les personnes atteintes ou susceptibles de l'être, les convaincre de s'isoler. Les épidémiologistes plaident pour l'automatisation de la surveillance des contaminations, en exploitant les données de *smartphones* : les travaux autour d'un protocole de signalement automatisé basé sur le Bluetooth (qui donneront lieu à StopCovid) n'emportent pas notre conviction.

Une série de chiffres circulent alors sur l'ampleur du dispositif humain qu'il conviendrait de mobiliser pour contacter les milliers de cas contacts, leur demander de lister les personnes qu'ils ont croisées afin de les alerter et les conseiller sur la marche à suivre : test, isolement, mesures de précaution.

Entre la mobilisation de milliers d'enquêteurs-traceurs et les espoirs autour du protocole Bluetooth, y-a-t-il une place pour une troisième voie qui ferait appel à la participation du public ? Un traçage de contacts collaboratif aidé par le numérique en somme, sans stockage de données personnelles.

C'est dans ce contexte que Bayes Impact¹, après une enquête terrain auprès de personnes testées positives pour comprendre leurs motivations et leurs réticences à déclarer ou alerter leurs contacts, imagine un outil qui permettrait, dès les premiers symptômes, de guider les personnes testées positives afin de les aider à retrouver les personnes croisées pendant leurs périodes contagieuses, puis de les avertir, pour qu'elles se testent ou s'isolent. En quelques semaines, cet outil est mis au point, déployé et testé.

¹ Depuis sa création, en 2014, Bayes Impact s'est donné la mission de créer des services publics citoyens. L'ONG Bayes Impact a travaillé sur de nombreux projets à travers le monde, en aidant par exemple des instituts de microfinance opérant en Afrique à rendre leurs prêts plus accessibles, en lançant une plateforme en ligne avec le département de la justice de Californie afin de collecter les données de violences policières dans plus de 800 agences de police, ou encore en accompagnant plus de 350 000 chercheurs d'emploi en France et en Belgique à travers Bob, une plateforme de *coaching* digitale.

En octobre 2020, face à la seconde vague, l'Assurance maladie adopte BriserLaChaine.org et l'intègre dans sa chaîne de traitement afin de préparer l'entretien téléphonique avec les enquêteurs sanitaires.

En février 2022, l'Assurance maladie réintègre BriserLaChaine.org au sein du nouveau téléservice « Lister mes cas contacts », en vue d'une dématérialisation complète du traçage de cas contacts.

Selon la Cour des Comptes : « Depuis mai 2020, l'Assurance maladie a joint plus de 32 millions de personnes dépistées positives et près de 22,7 millions de personnes contacts, d'abord par téléphone puis essentiellement par SMS ou par courriel »².

Entre novembre 2020 et janvier 2022, BriserLaChaine.org (BLC) fait économiser 24,7 ans³ de temps d'appel à l'Assurance maladie pour 6,3 millions de cas contacts déclarés sur le site.

PRINTEMPS 2020 : UNE ALTERNATIVE À STOPCOVID ET AUX ENQUÊTES TÉLÉPHONIQUES

Le gouvernement et les autorités sanitaires s'interrogent alors sur les outils et les ressources disponibles pour repérer les contacts, remonter les chaînes de transmission, contacter les personnes atteintes ou susceptibles de l'être, les convaincre de s'isoler. En Île-de-France, l'AP-HP⁴ a déployé des équipes mobiles qui vont au-devant des foyers de contamination. Pessimistes sur la capacité des agences de santé publique à casser les chaînes de transmission, alors que le virus se propage rapidement, les épidémiologistes, relayés par la Conseil scientifique, plaident pour une automatisation de la surveillance des contaminations, en exploitant les données de *smartphones*. Sollicité, parmi d'autres acteurs, par le cabinet du ministre en charge de la Transition numérique, pour imaginer des réponses numériques (toute l'Europe a alors le regard tourné vers les outils numériques de contrôle mis en place en Chine, à Singapour, ou en Corée), Bayes Impact partage le même constat : le manque de scalabilité des procédures de recherche et suivi de contacts de Santé publique France et des Agences régionales de Santé (ARS).

Les travaux autour d'un protocole de signalement automatisé basé sur le Bluetooth (qui donneront lieu à StopCovid), pour leur part, suscitent une série d'objections :

- L'efficacité de ce type d'applications requiert une adoption massive : 60 % de la population selon une étude d'Oxford⁵, soit 40 millions de téléchargements en France : une échelle inédite. En effet, pour que le système fonctionne, l'application de la personne contaminée et celle de la personne qui l'a contaminée doivent toutes deux être ouvertes au moment de leur rencontre.
- Même si les données sont anonymisées, l'acceptabilité d'une telle solution est alors loin d'être garantie.
- StopCovid implique que les individus aient cette application activée en permanence.
- Seuls 70 % des Français possèdent un *smartphone* (rendant ainsi la barre des 60 % difficile à atteindre).

² Cour des Comptes : « Tracer les contacts des personnes contaminées par la Covid-19 : une forte implication de l'Assurance maladie, une efficacité incertaine », décembre 2022.

³ Selon un retour interne de nos interlocuteurs à la CNAM, la présence de BLC aurait permis d'écourter les appels téléphoniques de *contact-tracing* d'environ 10 minutes en moyenne (sur 40 initialement), soit une estimation d'environ 9 000 jours d'appels (24,7 ans) économisés.

⁴ Assistance publique-hôpitaux de Paris.

⁵ « *Quantifying Sars-CoV-2 transmission suggests epidemic control with digital contact-tracing* » (31 mars 2020).

- Certaines études suggèrent que, face à la circulation du virus, ils pourraient être notifiés en permanence (Pingdemie). Pour pallier cela, un algorithme de priorisation des risques doit être créé, mais est encore loin d'être établi. La capacité du Bluetooth de mesurer les distances avec précision est discutée.

Entre la mobilisation de milliers d'enquêteurs-traceurs (un dispositif qui tarde à être mis en place et qui risque d'être sous-dimensionné face à la circulation du virus) et l'automatisation (les choix fonctionnels et techniques de ce qui va devenir StopCovid donnent alors lieu à d'âpres débats et controverses), y a-t-il une place pour une troisième voie qui ferait appel à la participation du public pour déclarer eux-mêmes leurs contacts, tout en tirant parti du numérique ? Une recherche de contacts pair-à-pair, en somme. Sans traçage des déplacements ou de ses contacts, sans géolocalisation, sans Bluetooth, sans stockage d'informations personnelles. Gratuit et *open source*.

AVRIL 2020 : LES DIFFICULTÉS DES PERSONNES POSITIVES À RETRACER ET ALERTE LEUR CAS CONTACTS

Une enquête auprès des brigades de l'ARS nous permet de mieux comprendre les étapes clés du traçage téléphonique. Ce processus long et fastidieux, qui peut durer jusqu'à 40 minutes par appel, nécessite rigueur et pédagogie. La reconstitution de la période contagieuse se fait à travers une série de questions qui visent à aider le patient zéro à se remémorer des personnes croisées et potentiellement contaminées. Tous les contacts ne sont pas à risque, le port et le type du masque, la nature du lieu et la durée du contact entrent en ligne de compte pour élaborer cette liste de cas contacts qui seront ensuite contactés afin de prendre les mesures nécessaires.

Une seconde enquête est menée auprès de personnes ayant été contaminées avant le premier confinement (entre février et mars 2020), afin de comprendre les motivations, réticences et difficultés rencontrées pour déclarer ou alerter leurs contacts dans un contexte où le monde se pose encore des questions sur les mécanismes exacts de transmission du virus.

Les résultats sont édifiants.

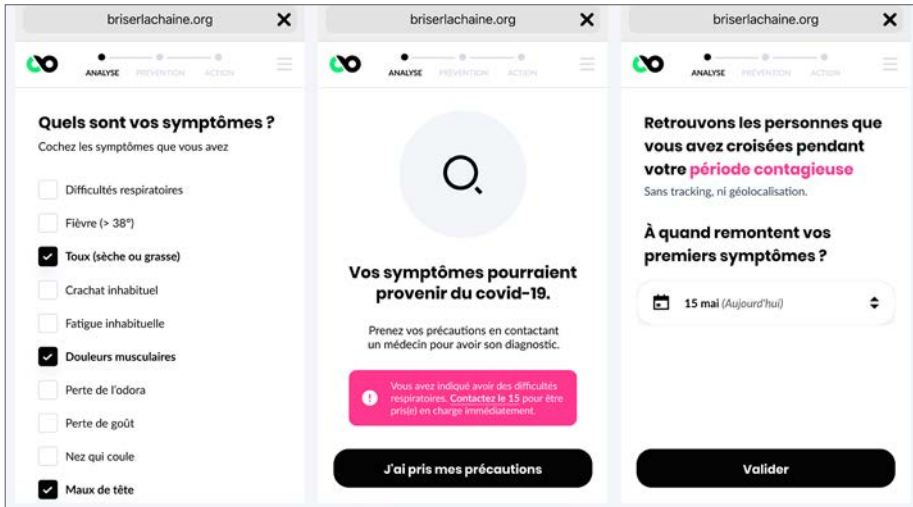
Les personnes interrogées rapportent en premier lieu avoir eu des difficultés à identifier les symptômes du coronavirus, qui ressemblent à ceux d'une bronchite. L'étendue exacte de la période contagieuse est elle aussi souvent floue, ce qui complique encore l'exercice déjà difficile de se remémorer toutes les personnes croisées. Enfin, une majorité des personnes interrogées déclarent s'être senties mal à l'aise – voire honteuses – au moment de prévenir leurs contacts. Certaines procrastinent, d'autres abandonnent complètement l'idée de le faire, faute d'avoir trouvé le courage et les mots.

MAI 2020 : UNE PREMIÈRE VERSION POUR OPTIMISER LE PROCESSUS DE RECHERCHE ET D'ALERTE DES CAS CONTACTS

L'ensemble de cette recherche utilisateurs nous permet de construire la première version de BriserLaChaine.org. L'outil se présente en trois grandes étapes qui correspondent aux principaux bloqueurs identifiés :

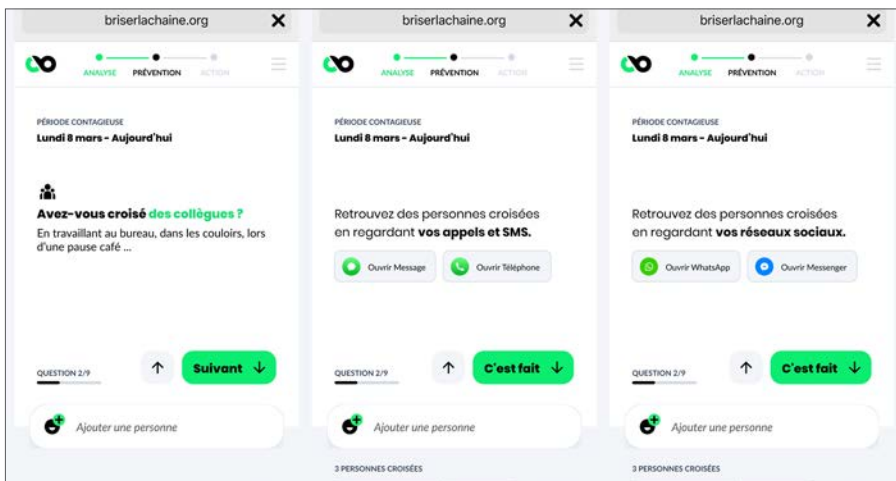
- « pédagogie » : identification des symptômes et calcul de la période contagieuse ;
- « mémoire » : recherche méthodique et guidée des cas contacts ;
- « alerte » : aide à la prévention des cas contacts *via* des messages pré-écrits ou la possibilité de le faire anonymement.

L'étape « Pédagogie » consiste à établir un diagnostic sur la base des symptômes déclarés par les utilisateurs, et calcule la période contagieuse en fonction de la date d'apparition des premiers symptômes. Cette étape est construite en étroite collaboration avec notre comité scientifique, composé de deux médecins spécialisés en maladies infectieuses (Dr Jérémy Zeggagh et Dr Liem Binh Luong Nguyen), et une médecin urgentiste experte en e-santé (Dr Cécile Monteil).



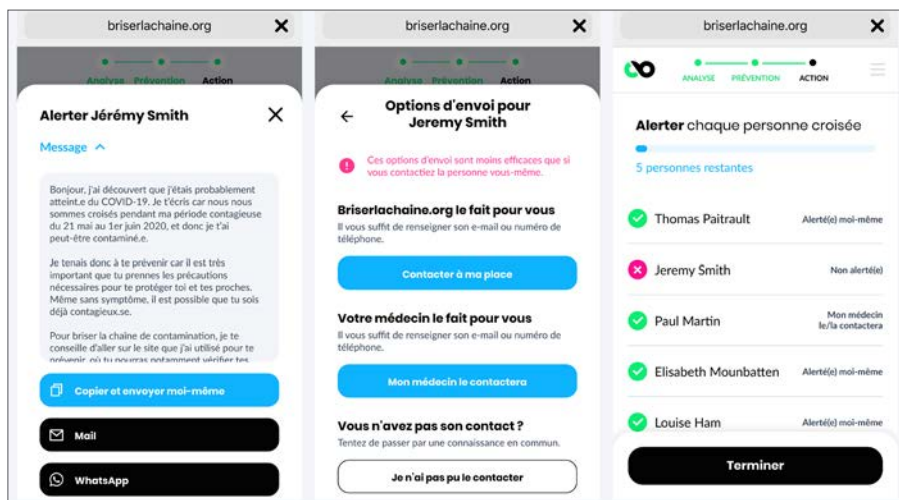
« Pédagogie » - Diagnostic et calcul de la période contagieuse sur BriserLaChaine.org (mai 2020) (Source : Bayes Impact).

L'étape « Mémoire » est une méthodologie élaborée après de nombreux essais avec des utilisateurs. Elle consiste à poser des questions successives aux personnes contaminées pour les aider de façon méthodique à se remémorer l'ensemble des personnes croisées pendant leur période contagieuse. Des méthodes et outils leur sont proposés, comme aller voir leur calendrier, consulter l'historique d'appels et de SMS, ou regarder l'historique de déplacements sur Google Maps.



« Mémoire » - Méthodologie d'aide à la recherche de cas contacts sur BriserLaChaine.org (mai 2020) (Source : Bayes Impact).

L'étape « Alerte » consiste à proposer aux utilisateurs des messages pré-écrits afin de les encourager à contacter toutes les personnes croisées pendant leur période contagieuse. Pour les utilisateurs réticents, BriserLaChaine.org offre aussi la possibilité de contacter les personnes anonymement *via* l'envoi d'un mail automatique, ou d'exporter la liste afin que leur médecin généraliste le fasse pour eux.



« Alerte » - Les trois options pour alerter ses cas contacts sur BriserLaChaine.org (mai 2020) (Source : Bayes Impact).

LA DISTRIBUTION AU CŒUR DE LA STRATÉGIE D'IMPACT

Pour avoir une chance d'avoir un impact significatif sur la pandémie, il faudra être capable d'atteindre des millions d'utilisateurs. La question de la distribution est au cœur de nos réflexions initiales : comment les utilisateurs vont-ils connaître le site ? En combien de temps ? Par quels canaux ?

Une stratégie reposant sur une acquisition organique par le biais de campagnes marketing ou de viralité est d'office écartée. Pour des raisons similaires, et afin de faciliter l'adoption et l'accessibilité de l'outil au maximum, le choix est fait de créer une *web*-application plutôt qu'une application mobile : afin de diminuer drastiquement les temps de développement tout en permettant une répliquabilité en cas de partenariat.

L'objectif est alors de construire une preuve de concept rapide sur 1 000 utilisateurs et, en cas de succès, de présenter les métriques à des acteurs d'envergure nationale pour envisager un passage à l'échelle. Des discussions sont amorcées avec la Croix Rouge, alors susceptible de se voir confier la recherche et le suivi des cas contacts. Cette mission sera, comme on le sait, confiée à l'Assurance maladie, dans le cadre de la stratégie Tester-Tracer-Isoler, qui se prépare dans la perspective du déconfinement de mai 2020.

MAI 2020 : LANCEMENT ET PREMIERS RÉSULTATS

Une première version de BriserLaChaine.org sort le 11 mai 2020. Afin d'atteindre un premier palier en nombre d'utilisateurs et obtenir rapidement des métriques d'impact, plusieurs canaux d'acquisition sont mis en place :

- publicités sur Facebook ;

- référencement sur le site Maladiecoronavirus.fr, qui redirigeait toutes les personnes soupçonnées positives sur BriserLaChaine.org ;
- promotion sur YouTube par le youtubeur HugoDecrypte, au cours de l'une de ses vidéos quotidiennes.

Les résultats sont mitigés.

Les étapes « Pédagogie » et « Mémoire » s'avèrent particulièrement efficaces pour aider les utilisateurs à comprendre leur période contagieuse et pour retrouver les personnes croisées pendant celle-ci.

En revanche, deux gros problèmes émergent : 39 % des visiteurs qui arrivent sur la page d'accueil n'utilisent pas notre outil, et 72 % des utilisateurs abandonnent au moment où on leur demande de prévenir les cas contacts qu'ils viennent de lister (étape « Alerte »).

Une nouvelle salve d'entretiens avec des utilisateurs révèle un manque de confiance en l'outil qui ne bénéficie pas de recommandation officielle des autorités sanitaires. Elle met aussi en évidence l'embarras des personnes positives à prévenir leurs cas contacts eux-mêmes malgré l'option de le faire anonymement.

Après quelques itérations légères sur l'outil, l'effort se porte vers la recherche d'un partenariat avec des acteurs publics, pour un déploiement en direction du grand public, en faisant valoir les deux points forts de l'application : le guidage vers l'identification des cas contacts et la scalabilité.

OCTOBRE 2020 : PARTENARIAT AVEC L'ASSURANCE MALADIE

La deuxième vague submerge les enquêteurs de l'Assurance maladie : 800 000 personnes sont déclarées positives à la Covid-19. 17 % des cas contacts ne sont pas appelés.

BriserLaChaine.org est alors toujours en ligne avec des performances relativement stables : 16 000 cas contacts listés au total sur la plateforme, dont 33 % qui ont été contactés. Peu connu et en marge du dispositif officiel (mis en place par l'Assurance maladie), l'outil n'a aucun impact significatif sur l'épidémie.

Les résultats prometteurs sur la recherche de cas contacts permettent d'approcher l'Assurance maladie (CNAM). Un partenariat est conclu en quelques jours. Les deux premiers modules (« Pédagogie » et « Mémoire ») de BriserLaChaine.org s'insèrent aisément dans les processus de la CNAM : chaque personne testée positive reçoit un SMS lui demandant de lister ses cas contacts sur BriserLaChaine.org, en amont de l'appel de l'Assurance maladie.



Captures d'écran des étapes de déclaration de cas contacts de BriserLaChaine.org (novembre 2020) (Source : Bayes Impact).

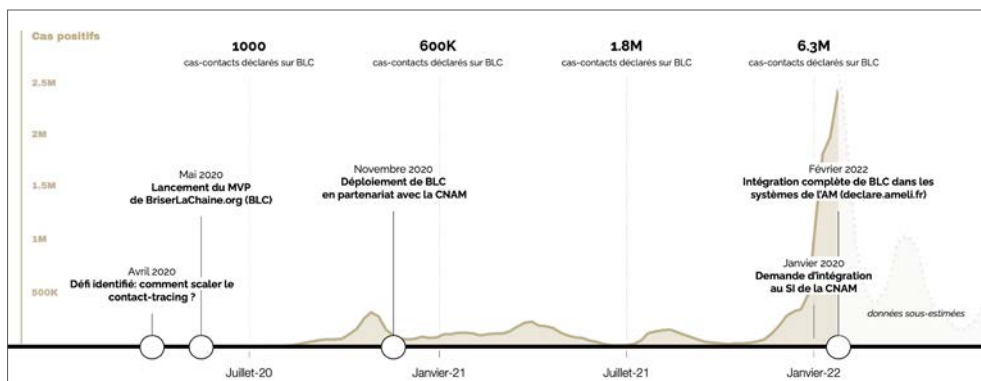
Les personnes testées positives sont alors guidées sur BriserLaChaine.org pour comprendre leur période contagieuse (étape « Pédagogie ») et retrouver, puis lister leurs cas contacts (étape « Mémoire »). Au moment de l'appel, la liste établie est confiée aux enquêteurs qui se chargeront de contacter les personnes concernées afin de leur indiquer les mesures à suivre.

Cette dématérialisation de la recherche de cas contacts permet ainsi de raccourcir significativement la durée des appels (d'environ 10 minutes en moyenne⁶), et par conséquent d'augmenter l'efficacité des brigades et le nombre de personnes appelées.

« Face à la circulation très rapide du Covid-19 sur le territoire, l'Assurance maladie a réadapté sa stratégie de *contact-tracing*. Depuis le mardi 3 novembre 2020, elle envoie désormais à chaque cas contact d'une personne positive au Covid-19 un SMS, émis par le numéro 38663. Concernant les patients positifs au virus, un SMS leur est également envoyé, depuis mardi 3 novembre 2020, avant même tout échange téléphonique avec l'Assurance maladie, afin qu'ils préparent cet entretien. Le SMS renvoie, *via* un lien cliquable, vers un site (briserlachaine) qui permet aux patients positifs de préparer la liste de leurs cas contact à risque ainsi que leurs coordonnées dans l'attente de l'appel téléphonique de l'Assurance maladie »⁷.

IMPACT : 24,7 ANS DE TEMPS D'APPEL ÉCONOMISÉ À L'ASSURANCE MALADIE

Entre novembre et décembre 2020, le pourcentage de cas contacts appelés par l'Assurance maladie passe de 84 à 93 %, et restera stable jusqu'en juillet 2021 (Cour des Comptes, 2022).



Évolution du virus, dates clés et performances de BriserLaChaine.org (Source : Bayes Impact).

Entre novembre 2020 et janvier 2022, BriserLaChaine.org a permis à l'Assurance maladie d'économiser 24,7 ans⁸ de temps d'appel, avec plus de 6,3 millions de cas contacts déclarés sur le site. En moyenne, les personnes contaminées retrouvaient 4,7 cas contacts sur la plateforme, ce qui est comparable (voire un peu supérieur) au nombre moyen de cas contacts retrouvés par les enquêteurs.

⁶ Selon un retour interne de nos interlocuteurs à la CNAM.

⁷ *Actu.fr*, « Covid-19 : l'Assurance maladie envoie désormais un SMS aux cas contacts » (4 novembre 2020).

⁸ Voir note de bas de page n°3 de cet article.

Le 9 février 2022, l'Assurance maladie industrialise BriserLaChaine.org et donne naissance au service « Lister mes cas contacts »⁹, aujourd'hui la plateforme officielle pour déclarer ses cas contacts.

RÉFÉRENCES

COUR DES COMPTES (2022), « Tracer les contacts des personnes contaminées par la Covid-19 : une forte implication de l'Assurance maladie, une efficacité incertaine », décembre.

GRALLET G. (2020), Covid-19 : comment briser les chaînes de contamination, *Le Point*, mai.

⁹ « L'Assurance maladie propose, depuis le 9 février 2022, un nouvel outil en ligne : «Lister mes cas contacts». Il permet aux personnes positives à la Covid-19 de lister facilement les personnes avec lesquelles elles ont été en contact avant leur infection à la Covid-19. Grâce à ce téléservice, l'Assurance maladie pourra ainsi adresser très rapidement et directement à ces personnes les bonnes consignes sanitaires adaptées à leur situation. Déclarer ses contacts sur ce téléservice facilitera leur prise en charge (tests, arrêt de travail...) » : « Positif à la Covid-19 : déclarez vous-même vos contacts ! », 10 février 2022.

Dr Tableur & Mr. Excel

Les outils de structuration souple des données dans la crise sanitaire

Par Godefroy BEAUVALLET
Professeur invité à Télécom Paris

Et Maurice RONAI
Ancien membre de la CNIL

Véritable « voiture-balai » numérique, Excel a fait l'objet d'usages extrêmement variés pendant la crise sanitaire, permettant le recueil et la structuration progressive des données, secourant leur transfert et leur échange, et facilitant la modélisation et l'exploration de la dynamique de la crise. Les tableurs et autres outils de structuration souple des données se sont révélés utilisables là où les systèmes d'information structurés préalables ou *ad hoc* ne permettaient plus de gérer la complexité des situations, la fluidité des événements et la variété des sujets. Ce retour sur les usages d'Excel pendant la crise retrace les étapes de l'arraisonnement informationnel du Covid : du débordement initial des dispositifs officiels de traitement des données à la reprise de contrôle des zones d'autonomie interprétatives locales une fois l'épreuve franchie.

À l'hôpital, il semble que tout le monde déteste Excel, et ce qu'il représente ou symbolise¹ : Excel y cristallise la mise au pas des soignants par les questionnaires, les indicateurs désincarnés plutôt que la compréhension des situations concrètes, et les objectifs contraignant les décisions prises « au pied du lit du malade » par l'équipe soignante. Métonymie du « management par les nombres » induisant le « travail empêché »², Excel est vu comme un « fardeau administratif », source de démotivation et de mauvaise qualité des soins. Il en vient à générer chez les soignants une allergie-réflexe conduisant à condamner *a priori* toute activité qui se déroule *via* son interface, quand bien même il s'agirait sur le fond d'une tâche légitime et nécessaire à la prise en charge des patients³.

Et pourtant, de nombreux témoignages de terrain et narrations d'observateurs signalent que ce même outil a été mobilisé au premier chef dans la gestion de la crise Covid, où il se révélait utilisable là où aucun système d'information structuré ne permettait plus de gérer la complexité des situations et la variété des sujets. Ainsi, le Dr Marc Noizet,

¹Après de nombreux autres, le psychiatre Bernard Granger en a récemment fait un livre féroce, *Excel m'a tué – L'hôpital fracassé*, Odile Jacob, 2022. Il est symptomatique de constater que le livre, au-delà de son titre, ne fait aucunement référence à Excel en lui-même. C'est le symbole qui est visé plus que le logiciel.

² CLOT Y. (2010), *Le travail à cœur*, La Découverte.

³ DUMEZ H. & MINVIELLE E. (2020), « Le système hospitalier français dans la crise Covid-19. Une contribution des sciences de gestion », *Working Paper i3* (Institut Interdisciplinaire de l'Innovation - Centre de Recherche en Gestion), juillet 2020.

chef du pôle urgences et du SAMU à l'hôpital Muller de Mulhouse, se rappelle qu'en mars 2020, « les différentes administrations envoyaient nombre de fichiers Excel sur la distribution des moyens de protection, l'état des stocks, les besoins, les activités, les lits de réanimation, etc. Les fichiers se multipliaient dans tous les sens »⁴. Excel a aussi permis dès mars 2020 l'appropriation citoyenne⁵ ou médiatique des premières données disponibles sur la propagation du virus, par exemple à travers les tweets de Luc Peillon, journaliste à *Libération*. Ainsi, le tweet de ce dernier le 29 mars 2020 (voir la Figure 1 ci-dessous), où il entame un suivi des chiffres de décès et hospitalisations qu'il prolongera plusieurs mois, donne à voir la feuille de calcul dans sa totalité, selon un aplatissement sémiotique qui, dans les premiers temps de la crise, suscite la confiance.

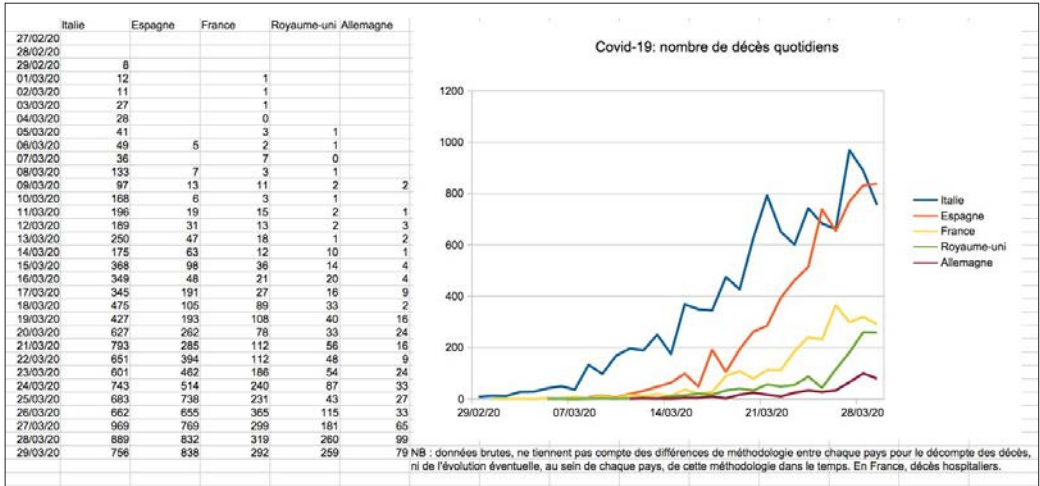


Figure 1. Tweet de Luc Peillon, le 29 mars 2020 (capture d'écran).

C'est donc un « Excel-Janus » qui apparaît à l'occasion de la crise Covid, archétypal du « pharmakon numérique » cher au regretté Bernard Stiegler, disparu à l'orée de la crise Covid de 2020⁶. Le Dr Noizet manifeste sa surprise devant pareille désorganisation apparente : « Il est étonnant qu'en 2020 on ne puisse pas transférer des informations importantes en période de crise autrement que *via* des fichiers Excel... »⁷. Mais peut-on aller plus loin que ce jugement teinté de mépris ? Est-ce vraiment par incompetence ou incurie qu'Excel apparaît partout au cœur de la gestion locale de la crise, entre fin 2019 et aujourd'hui ? Et pourquoi est-ce Excel, plutôt qu'un des autres totems de la post-modernité numérisée, qui rend visibles ces contradictions ?

⁴ « Audition. Commission d'enquête du Sénat pour l'évaluation des politiques publiques face aux grandes pandémies à la lumière de la crise sanitaire de la Covid-19 et de sa gestion », <http://www.senat.fr/rap/r20-199-2/r20-199-2.html>

⁵ Deux exemples parmi tant d'autres : MARTIN F.-X (2020), « Covid-19 : une modélisation simple utilisant Excel, accessible aux non-mathématiciens et pleine d'enseignements », *La Jaune et la Rouge*, n°758, octobre 2020 ; « Covid-Excel : suivi dynamique des statistiques » sur <https://excel-malin.com>

⁶ Et qu'il reprend du *Phèdre* de Platon *via* Jacques Derrida, *La Pharmacie de Platon*, Paris, Garnier-Flammarion, 1972.

⁷ « Audition », *op.cit.*

GESTION INFORMATIONNELLE DE LA CRISE : MISE EN CALCUL, ABSTRACTION, PILOTABILITÉ, PRIORISATION

L'hypothèse que nous défendons ici est que la crise du Covid a été, parmi de multiples aspects, une crise informationnelle, c'est-à-dire une crise des représentations de ce qui se passait sur le terrain, débordées par la progression fulgurante de l'épidémie.

L'échelle de l'épidémie, même réduite au territoire français, impliquait une gestion quantitative. Mais cette dernière était mise en échec par la désadaptation des organisations et des moyens à l'ampleur du choc subi – ce qui est proprement tautologique : si cela n'avait pas été le cas, il n'y aurait pas eu de crise.

Par ailleurs, l'horreur de la situation impliquait également, pour que l'action publique soit possible, un travail de mise à distance, de reformulation abstraite. Comme l'ont formulé des statisticiens publics pendant la crise Covid : « S'il ne peut y avoir d'action publique pertinente sans recours à une connaissance empirique fine des sociétés, c'est aussi la capacité des parties prenantes à pouvoir s'en saisir qui est aujourd'hui en question pour la production de politiques publiques efficaces et efficaces. La recherche de l'information pertinente implique tout à la fois des catégories statistiques et une capacité de mesure qui s'incarne dans des indicateurs »⁸.

Un préalable s'imposait donc à l'action publique : appréhender ce qui se passait, traduire les événements locaux (un *cluster*, une rupture d'équipement, un médicament à tester...) : en conclusions provisoires sur la causalité à l'œuvre ; en enjeux sur lesquels fonder des priorités ; en mobilisation des moyens sur tel ou tel front, pour fonder et légitimer les choix politiques effectués.

Le travail de modélisation de la situation, avec ce qu'il engage de simplification, de purification et de surplomb, est habituellement masqué aux profanes, enfoui dans les modèles de données des systèmes d'information publics, dans les tableaux de bord des décideurs, dans les colonnes infinies des *open data* disponibles, dans les paragraphes millimétrés des communiqués de presse officiels, etc. Mais la catastrophe agit comme un révélateur⁹, et donne à voir ce qui est habituellement invisible : elle met en concurrence des interprétations diverses, et des groupes aux intérêts divergents s'affrontent à découvert pour faire triompher leur vision de la crise. Et c'est pourquoi Excel, qui est à la gestion des données ce que la kalachnikov est aux guerres de faible intensité, a été mobilisé.

Examiner les usages d'Excel pendant la crise Covid permet d'appréhender cette dimension de lutte informationnelle : une bataille interprétative pour définir ce qui se passe. Qu'est-ce qui fait crise ? La montée des cas ? Le débordement de l'hôpital ? L'échec du *tracking* ? Les délais à généraliser la vaccination ? Les besoins non couverts de personnels, de lits, d'équipements ? Suivre les usages d'Excel pendant la crise est donc révélateur des étapes de l'arraisonnement informationnel du Covid : du débordement initial des dispositifs officiels de traitement des données à la reprise de contrôle des zones d'autonomie interprétatives locales une fois l'épreuve franchie¹⁰.

⁸ DURAN P. & D'ALESSANDRO C. (2021), « La statistique publique au cœur de l'action publique : les enseignements de la crise sanitaire », *Chroniques du CSIS* n°27, octobre 2021.

⁹ BEAUVALLET G. (2020), Pour une discussion du caractère révélateur de la catastrophe, voir par exemple « Un État de catastrophe », *Autrement Autrement*, mars 2020.

¹⁰ On se concentre ici sur l'activité de *sense-making* de l'action publique, et non sur la dimension spécifiquement numérique de la réponse publique au Covid. Pour une discussion à chaud de ce dernier sujet, voir BEAUVALLET G. & RONAI M. (2021), « Covid-19 : le volontarisme numérique public au pied du mur », *Annales des Mines - Enjeux numériques*, n°14, juin.

EXCEL, DISPOSITIF DE CARTOGRAPHIE INFORMATIONNELLE DISTRIBUÉE DANS LA CRISE

Pour approcher l'usage d'Excel pendant la crise, on peut commencer par un cadrage quantitatif. La co-occurrence des mots « Excel » et « Covid » dans les recherches sur Google entre 2020 et 2022 permet de distinguer deux phases (voir la Figure 2 ci-dessous), avant et après le pic des recherches d'octobre 2020 : à une rapide ascension succède une décroissance progressive ponctuée de ressauts.

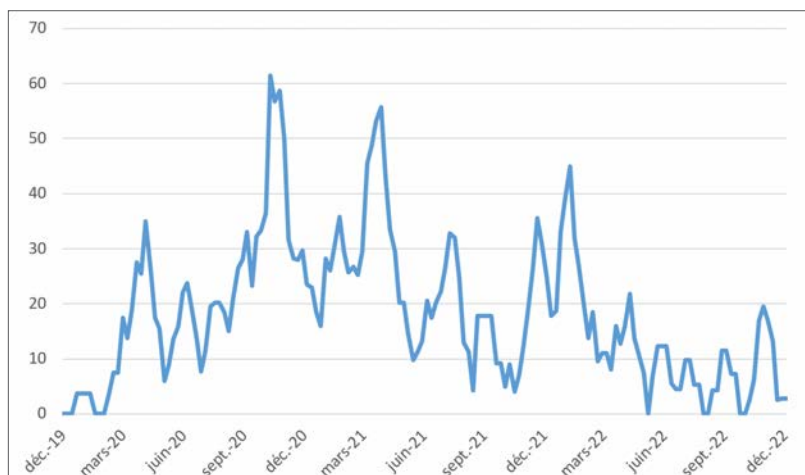


Figure 2. Co-occurrences des termes « Excel » et « Covid » dans les requêtes Google entre décembre 2019 et décembre 2020 (moyennes mensuelles, et moyenne normalisée à 100 pour la semaine de pic fin octobre 2022) (Source : Google Trends).

Dans la première phase, l'usage croissant d'Excel est en lui-même un indicateur de crise : les systèmes d'information prescrits s'avèrent inadaptés, et ils doivent être palliés ou complétés par cet outil de gestion de l'information de dernier recours qu'est Excel. Symptomatique de cette sortie des outils standards est l'analyse par la Cour des Comptes des premiers temps du recensement des patients hospitalisés pour Covid : « L'administration a décidé d'utiliser l'outil SI-VIC afin d'effectuer une remontée régionale puis nationale du nombre de patients Covid hospitalisés dans les établissements de santé. Cet outil a initialement été conçu et déployé pour répertorier les victimes des attentats de Paris de novembre 2015 [...]. Il n'est donc pas conçu pour être utilisé dans la durée. Il a cependant dû être utilisé par les établissements de santé, malgré ses insuffisances [...]. La remontée d'informations qui en est issue a été estimée fiable par certains établissements contrôlés [...], au prix néanmoins de la mise en place d'une organisation particulièrement lourde (recensement spécifique *via* des tableaux Excel, formation des personnels à la saisie des données) »¹¹.

Pour autant, l'usage d'Excel n'est pas purement palliatif, mais également créatif : partager rapidement des informations permet de monter rapidement de nouveaux services publics. Ainsi, « le confinement rendant impossible le contact présentiel, les collectivités ont aussi

¹¹ COUR DES COMPTES (2021), « Les établissements de santé face à la première vague de Covid-19 : exemples néo-aquitains et franc-comtois ».

improvisé des systèmes de permanence téléphonique en direction des publics les plus fragiles : des plateformes techniquement frugales, s'appuyant tout juste sur un tableur Excel partagé »¹². Dans le brouillard de l'action, la fluidité des outils simples s'avère décisive pour permettre à chacun de reprendre pied et agir face à l'épidémie par des opérations artisanales de construction d'ordre et de sens, avec une dynamique en trois temps : sortie des systèmes d'information standards ; première structuration des données et échanges d'information dans des tableurs et autres outils peu formalisés ; création d'un service en ligne simple : « Dès le 6 mars [2020], nous avons identifié la gestion des lits de réanimation comme étant un véritable enjeu dans la gestion de cette crise. La première difficulté a été l'identification des places disponibles dans chaque réanimation départementale et rapidement régionale. Les outils numériques disponibles, répertoire opérationnel des ressources (ROR) et plateforme de gestion des situations de tension du Réseau des Urgences (Est-RECUE) se sont avérés mal renseignés et non exhaustifs notamment du fait de l'augmentation du nombre de lits de réanimation Covid, et donc non opérationnels. La remontée de l'information *via* fichier Excel vers l'ARS ne sera pas non plus satisfaisante. Un groupe WhatsApp mis en place entre réanimations a permis une connaissance partielle et a laissé place à partir du 25 mars à ICUBAM, application *open source* développée par une équipe d'ingénieurs et de chercheurs de l'École polytechnique en lien avec des réanimateurs du Grand Est. Cette application a permis en temps réel le recensement et le partage des disponibilités de lits de réanimation Covid / non Covid pour la région Grand Est »¹³.

Encore faut-il imposer aux acteurs de migrer vers ces outils. L'usage d'Excel se révèle alors bien pratique, l'urgence imposant de faire au plus simple, et ne laissant guère de temps pour s'approprier un nouvel outil, fut-il mieux conçu. En Allemagne, au début de la deuxième vague, « de nombreux services de santé continuent de travailler comme au début de la pandémie, avec du papier et des tableaux Excel qu'ils envoient par fax ou par *e-mail* »¹⁴.

L'usage d'Excel comme « glaise numérique » à tout faire se reconnaît aussi aux problèmes qu'il induit. Ainsi, au Royaume-Uni, les résultats de plusieurs milliers de tests de dépistage ont été accidentellement perdus fin septembre 2020 en raison de la limitation du nombre de lignes du fichier Excel utilisé pour le système “*Test & Trace*” du Public Health Service britannique¹⁵.

La période de crise voit les injonctions *top-down*, principalement de *reporting* et de suivi, s'hybrider avec les initiatives locales. Les feuilles de calcul Excel sont traversées par ces contradictions : « De fait, la remontée des données se faisait *via* des simples tableurs Excel, remplis manuellement par les personnels des établissements dont ce n'était ni la compétence, ni la priorité à ce moment-là. Les données étaient en outre lacunaires, limitées à des statistiques agrégées, sans qu'il soit possible de connaître la répartition par âge ou par sexe des personnes décédées, pourtant cruciale pour la prise de décision publique. Enfin, cette méthode donnait lieu à des remontées concurrentes et parfois

¹² RONAI M. (2021), « Introduction du numéro sur les réponses numériques à la crise sanitaire », *Annales des Mines - Enjeux numériques* n°14, juin.

¹³ NOIZET M., PERNOT F., VILBOIS E. & ROTTNER G. (2020), « Gestion d'une situation sanitaire exceptionnelle par le SAMU 68 : la pandémie Covid-19 », *Médecine de Catastrophe, Urgences collectives*, n°4(3), septembre.

¹⁴ RIEDEL VON K., EDELHOFF J., KAMMERER A. & PITTELKOW S. (2020), “Den Sommer verschwendet”, *Tageschau*, 26 novembre.

¹⁵ HERN A. (2020), “Covid: how Excel may have caused loss of 16,000 test results in England”, *The Guardian*, 6 octobre.

contradictoires, par les préfets, les ARS ou encore les départements »¹⁶. Parce qu'elles autorisent ces échanges de données lacunaires, les feuilles Excel permettent la structuration progressive, par essais et erreurs, du modèle informationnel de l'épidémie et de sa gestion. Alors qu'un système d'information plus structuré ne peut se concevoir sans définir *ex ante* (et donc figer) un modèle de données, la plasticité d'Excel s'avère supérieure dans ce temps de découverte et d'invention.

C'est dans un deuxième temps que, s'ils permettent de dégager un modèle de données stable, les échanges par Excel cèdent la place à des dispositifs plus structurés, de type formulaires en ligne, distinguant *front-end* de renseignement et *back-end* de traitement. Ainsi, « le recensement des besoins et la gestion des approvisionnements en équipements de protection individuelle (EPI) ou en médicaments ne bénéficiait d'aucun système d'information support, conduisant à appuyer la gestion des approvisionnements sur des échanges de tableaux Excel (et la mise à disposition inaboutie d'un système d'information dédié), et celle des médicaments en tension sur la création *ex nihilo* au début du mois d'avril 2020 d'un outil *ad hoc*, MaPUI.fr, puis EPI stock, déployé par la DRESS [Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques] fin 2020 »¹⁷.

Au fur et à mesure que la réponse à la crise progresse, les bricolages initiaux sur le front de la communication grand public, qui laissaient apparaître les feuilles de calcul, cèdent la place à des dispositifs plus élaborés, appuyés sur la disponibilité de données publiques structurées qui se stabilisent progressivement. C'est le moment où CovidTracker, hybride astucieux de données fournies par les pouvoirs publics et d'éditorialisation citoyenne, devient le site de référence de suivi de l'épidémie.

RETOUR À LA NORMALE, RETOUR DE LA NORME

Vient le moment de la crise où la réponse organisationnelle surmonte les difficultés initiales. La baisse du nombre de cas, la mise au point de protocoles de soins plus efficaces, puis la progression de la vaccination et l'habitude croissante du grand public à supporter les contraintes (tests, masques...) font sortir de la phase créative de réponse à la crise : le fonctionnement informationnel des organisations se rapproche de la normale, fort des nouveaux modèles de données qui ont été sélectionnés dans la crise.

Dans cette phase de retour de la norme, le pilotage de l'activité redevient plus stratégique, imposant de consolider des informations sur une base plus large. Les difficultés liées à la sensibilisation des non-vaccinés à risque illustrent bien cette réémergence des outils de *reporting* et la difficulté de les réarticuler avec les usages locaux. Ainsi, une fois SI-DEP déployé, la CNAM permet aux médecins de télécharger sous Excel (format quasi universel) « cette fameuse liste de nos patients non vaccinés que nous réclamions depuis des mois à l'Assurance maladie. D'abord, il a fallu la demander, attendre, attendre, et elle nous est enfin parvenue sous forme d'un fichier Excel où tout le monde, même les moins de 12 ans, apparaît. Je travaille dans un quartier HLM depuis 1993 avec beaucoup d'enfants. Je n'ai pas Office sur mon bureau professionnel et pas beaucoup le temps de transformer cette liste absurde en dossier efficace. Mon interne, gentiment, s'est coltiné le boulot, mais la liste n'était déjà plus à jour depuis longtemps. Chaque jour, certains de mes patients se font vacciner, alors il faut redemander la liste, la re-purger des moins de

¹⁶ « Santé publique : pour un nouveau départ - Leçons de l'épidémie de Covid-19 », Rapport de commission d'enquête du Sénat n°199, décembre 2020.

¹⁷ PITTET D., BOONE L., MOULIN A.-M., BRIET R. & PARNEIX P. (2021), « Rapport final de la mission indépendante nationale sur l'évaluation de la gestion de la crise Covid-19 et sur l'anticipation des risques pandémiques », mars.

12 ans. Il aurait été si simple qu'elle soit en ligne et mise à jour automatiquement au fur et à mesure »¹⁸.

La phase de reprise de contrôle se caractérise également par un retour à une meilleure protection des données personnelles, mise à mal dans les premiers temps. Or, il est notoire qu'Excel n'est pas un outil efficace de cloisonnement des données. Lors de son audition par la mission du Sénat, le Dr François Blanchecotte témoigne ainsi dès septembre 2020 que « le travail avec les laboratoires vétérinaires pour la phase analytique posait un problème de transmission de données. Alors que le RGPD [Règlement général sur la protection des données] impose de sécuriser les flux de données, des résultats ont dû être envoyés et transmis sur fichiers Excel. Des *hackers* font des *ransomwares*, ce qui impose de surprotéger nos systèmes informatiques »¹⁹. De son côté, la Fédération hospitalière de France (FHF) dénonce en décembre 2020 « des demandes de remontées de données nominatives *via* des supports non sécurisés et ne permettant pas de garantir le secret médical (envoi de fichiers Excel nominatifs par courriel) » de la part des ARS²⁰. Les recommandations de la CNIL visent à sécuriser l'usage de la combinaison d'Excel et du courrier électronique comme moyens de transmission en généralisant le cryptage²¹, et à mettre sous contrôle les fichiers artisanaux créés avant que la CNAM ne mette en place Contact Covid. En janvier 2021, la CNIL prend acte de cette évolution dans un avis qui considère que la conservation des données dans les tableurs n'est plus pertinente dès lors qu'une solution plus robuste est maintenant en place : « Enfin, la CNAM a en parallèle pris les mesures suivantes : la CNAM a rappelé aux fédérations hospitalières que les fichiers de tableurs (au format Excel) créés par les établissements de santé à destination des CPAM locales avant l'accès au portail Contact Covid devaient être supprimés »²².

Excel reste utilisé dans cette reprise en main, mais c'est désormais l'Excel configuré par la hiérarchie ou les tutelles, celui qui était décrié avant la crise par les soignants, et le reste, tout au long de cette dernière. Ainsi, la Pr Agnès Hartemann évoque dès mai 2020 à l'occasion d'une rémission dans la crise, « une douche froide : On a à nouveau des tableaux Excel, on nous calcule notre activité sur mars-avril et on nous pointe en négatif, ce qui est quand même incroyable, on compte les lits vides et on devient à nouveau obsessionnels des plannings »²³.

CONCLUSION

En conclusion, à travers les situations décrites ci-avant, on peut distinguer dans le déroulement de la crise trois types de tâches confiées à Excel :

- le recueil et la structuration de l'information. En lui confiant en quasi temps réel la mémoire de ce qui se passe, en y rangeant, triant, classant et dénombrant des cas, en ajoutant progressivement des colonnes et des attributs, en partageant simplement les états plus ou moins élaborés ainsi construits, les opérationnels ont fait usage d'Excel comme un outil majeur d'appréhension de la crise, et de construction d'une réflexivité essentielle à la résilience des collectifs et des organisations ; puis

¹⁸ LEHMANN C. (2021), « Journal d'épidémie », *Libération*, 27 août.

¹⁹ Témoignage lors de la table ronde sur la politique de dépistage, 10 septembre 2020.

²⁰ Rapport de commission d'enquête du Sénat, *op. cit.*

²¹ Fiche CNIL, « Sécurité : Sécuriser les échanges avec d'autres organismes », disponible sur www.cnil.fr

²² Délibération n°2021-004 du 14 janvier 2021 portant avis public sur les conditions de mise en œuvre des systèmes d'information développés aux fins de lutter contre la propagation de l'épidémie de Covid-19.

²³ FREYSSINET E. (2020), « Coronavirus : les soignants sans prime ni réconfort », *Les Échos*, 12 mai.

les hiérarchies et les tutelles l'ont vu comme celui de la reprise en main à travers le *reporting* ;

- le transfert et l'échange, certes peu sécurisés en soi, qui permettent de manipuler des données dans un format à peu près « universel ». Que les fichiers soient réellement dans des formats ouverts pivots comme le .csv, ou dans les formats propriétaires de Microsoft, l'usage d'Excel garantit à peu près que les autres pourront accéder aux données et les traiter – ce que le .pdf d'Adobe, autre format d'échange courant, ne permet pas : ainsi, en avril 2020, « des fichiers Excel sont envoyés trois fois par jour à plus de 700 acteurs d'établissements de santé (chefs de service, *bed managers*, etc.) de la région Île-de-France »²⁴ ;
- la modélisation et l'exploration, au-delà des additions et des multiplications, pour visualiser des données agrégées ou partager des hypothèses simples sur la dynamique de l'épidémie, dans un moment où toute la société tente de comprendre ce qui était en train de lui arriver. De fait, parmi les livrables qu'a fournis le cabinet de conseil McKinsey aux pouvoirs publics figure « un modèle Excel d'estimation des volumétries de personnes éligibles et d'injections aux rappels par tranche d'âge et catégories de population »²⁵.

Véritable « voiture-balai » informationnelle pendant la crise, Excel fait donc l'objet d'usages extrêmement variés. Au final, pour comprendre les rapports de force à l'œuvre dans la gestion de la crise Covid, c'est donc moins l'usage d'Excel que l'intention qui s'incarne dans cet usage qu'il convient d'examiner, comme dans tout processus d'industrialisation – les intentions de celui qui tient le chronomètre sont-elles compatibles avec le bien-être de celui qui est observé ? Une heuristique simple découle de l'observation : si l'usage d'Excel vise au travail local de données rendues disponibles par d'autres, alors il contribue à la capacitation et à la montée en compétences des acteurs gestionnaires de la crise (au prix d'une déstructuration croissante du dispositif général) ; si l'usage d'Excel consiste à fournir des données et à les envoyer ici ou là à fin de *reporting*, alors il s'agit de mise sous contrôle (et de rigidification). C'est là, à la surface des feuilles de calcul, dans le va-et-vient entre initiative locale et pilotage hiérarchique, que s'est joué le pilotage de la réponse à l'épidémie : qui verrouille les formules et les cellules ? Qui écrit les contrôles de validation ? *Quis custodiet ipsos custodes*.

²⁴ DERROUCH P. (2020), « Covid-19 : l'ARS Île-de-France crée une cellule de gestion des lits », DSIH, 28 avril.

²⁵ ASSASSI E. au nom de la Commission d'enquête (2022), « Un phénomène tentaculaire : l'influence croissante des cabinets de conseil sur les politiques publiques », Rapport n°578, 16 mars.

Y voir clair sur les choses importantes Zeynep Tufekci, une sociologue dans l'action

Par Hervé LE CROSNIER

Éditeur multimédias chez C&F éditions

Durant la première phase de la pandémie, les paroles scientifiques ont principalement été occupées par les médecins et les épidémiologistes. Or, dès janvier 2020, ce fut une sociologue qui, aux États-Unis, a devancé la plupart des inflexions concernant les comportements nécessaires face à la maladie et acceptables par la société. Zeynep Tufekci a su, grâce à son approche multidisciplinaire, et à sa grande capacité d'écriture fluide, accessible et néanmoins pointue et pertinente, proposer des solutions adaptées dans de nombreuses tribunes et sur Twitter. Au point qu'elle a eu droit à un long article dans le *New York Times* la caractérisant comme la sociologue qui savait y voir clair sur les choses importantes.

Quand, en août 2020, Ben Smith présente Zeynep Tufekci au fil d'un long article dans le *New York Times*, il titre son portrait avec cette expression « réussir à y voir clair sur les choses importantes »¹. Une accroche à la fois incroyable pour parler d'une sociologue, et tellement précise et significative sur le travail qu'elle accomplit depuis une quinzaine d'années. Au moment de la parution de cet article, nous venions de sortir du premier confinement et les États-Unis restaient durement frappés par la pandémie. Il était temps de saluer le travail mené par Tufekci durant ces moments difficiles, quand tout le monde naviguait à vue. Car, dès janvier 2020, elle a écrit, et écrit encore, dans les journaux et sur Twitter, élevant une voix à la fois précise scientifiquement et de bon sens face à une société et des dirigeants désarmés.

Le 17 mars 2020, au tout début de la pandémie, alors que nous ne disposions que de peu de connaissances sur le virus, sur ses effets et sur l'impact qu'il aurait sur la société, elle a publié un long article d'opinion dans le *New York Times*², qui prenait le contre-pied des discours officiels du moment qui prétendaient que porter un masque était inutile. Un an plus tard, participant au podcast "Conversation with Tyler", elle évoque son état d'esprit au moment d'envoyer cet article : « Honnêtement, je pensais que c'était fini, que j'allais me retrouver blacklistée, que c'était la fin de ma carrière d'éditorialiste. Je venais tout

¹ SMITH B. (2020), "How Zeynep Tufekci keeps getting the big things right", *The New York Times*, 23 août, <https://www.nytimes.com/2020/08/23/business/media/how-zeynep-tufekci-keeps-getting-the-big-things-right.html>

² TUFEKCI Z. (2020), "Why telling people they don't need masks backfired. To help manage the shortage, the authorities sent a message that made them untrustworthy", *The New York Times*, 17 mars, <https://www.nytimes.com/2020/03/17/opinion/coronavirus-face-masks.html>

simplement de contredire les CDC³ et l'OMS, le tout, au début d'une pandémie. En plus, je n'avais aucun diplôme médical. Mais je me suis dit : "Je suis une enseignante-chercheuse titularisée. Si je ne le fais pas maintenant, à quoi cela sert-il d'avoir un emploi garanti si je ne suis pas prête à prendre ce risque ?"»⁴.

Loin d'être écartée, Zeynep Tufekci, grâce à la clarté de son article, au-delà du médical, ou de la communication politique officielle (quand les « responsables » souhaitaient principalement cacher le manque crucial de masques), grâce à sa prise en compte de ce que la sociologie nous apprend sur les comportements collectifs, a largement participé à faire changer d'avis le CDC. Selon Michael Basso, spécialiste en santé publique de cet organisme, c'est l'article de Zeynep Tufekci qui a constitué le point d'inflexion et a inspiré la position prise en avril de recommander le port du masque.

UN REGARD MONDIAL ET MULTIDISCIPLINAIRE ADAPTÉ AUX SYSTÈMES COMPLEXES

Sur quels savoirs Zeynep Tufekci s'appuyait-elle pour oser ainsi affirmer contre tous que le masque était le principal moyen de limiter la circulation du virus ? De son propre aveux, trois éléments ont été essentiels, qui éclairent son travail, mais devraient également être présents dans toutes les réflexions concernant les postures scientifiques :

- Premier point d'appui, sa capacité à porter un regard mondial sur les événements. Dès janvier 2020, les contacts qu'elle avait tissés en enquêtant à Hong-Kong pendant les soulèvements l'avaient prévenue de la nécessité de porter des masques et de se protéger de cette maladie, à l'époque encore inconnue et transmise par voie aérienne. Elle fut une des premières à comprendre la dynamique de l'épidémie, comme en témoigne son tweet du 22 janvier 2020, à la suite du confinement décidé à Wuhan⁵. Elle a maintenu cette approche mondiale dans toutes ses interventions, comparant les modes d'action en Corée, à Taiwan, à Singapour, en Nouvelle-Zélande, en Europe. Elle a également insisté tout au long de ses interventions sur la nécessité de se pencher sur la vaccination dans le monde entier, afin d'éviter la multiplication des variants. Elle a appelé au respect des travaux scientifiques de tous les pays, notamment, quand le variant Omicron est apparu en Afrique du Sud et que les médecins de ce pays ont averti le monde entier... avec comme conséquence la fermeture des échanges commerciaux. Un très mauvais signal pour le partage mondial des informations médicales qu'elle a largement dénoncé⁶.
- Deuxième pilier de son approche, un regard multidisciplinaire. C'est après une formation d'informaticienne, et la pratique de ce métier, qu'elle décide d'étudier la sociologie. Une double compétence qui lui permet de se revendiquer « technosociologue ». Sa fréquentation des données, des analyses statistiques, sa capacité à lire et comprendre les articles des sciences de la vie autant que des sciences humaines lui seront d'un grand secours quand il s'agira d'évaluer des articles médicaux, ou d'expliquer clairement dans des tribunes la lecture réfléchie des statistiques et pourcentages. Elle a également enseigné la sociologie des épidémies, en s'appuyant sur l'étude du Sras de 2003. Être *outsider* est également un avantage : elle n'a pas à craindre un arrêt des subventions pour ses recherches si elle ne porte pas la voix « officielle » de la discipline

³ CDC : Centers for Disease Control and Prevention (Centres pour le contrôle et la prévention des maladies), principale agence fédérale des États-Unis en matière de protection de la santé publique.

⁴ Les citations de Zeynep Tufekci ont toutes été traduites par votre présent auteur.

⁵ <https://twitter.com/zeynep/status/1220060968299966464>

⁶ TUFEKCI Z. (2021), "Omicron is coming. The US must act now", *The New York Times*, 28 novembre, <https://www.nytimes.com/2021/11/28/opinion/covid-omicron-travel-ban-testing.html>

scientifique concernée. En l'occurrence, le monde des virologistes est restreint, ce qui limite les libertés de parole en son sein... ce qu'une sociologue, de surcroît versée dans la sociologie des sciences et des techniques, peut aisément discerner.

- Enfin, elle souligne l'importance de penser la complexité des systèmes et des interactions. Et ceci, tout particulièrement dans le domaine de l'information. Les producteurs d'information doivent prendre en compte le fait que les lecteurs et lectrices ne sont pas spontanément en accord avec ce qui leur est transmis, surtout quand le message se résume à des arguments d'autorité. L'éthique des métiers de l'information constitue un critère essentiel sur le long terme pour gagner la confiance d'un public, celui-ci ayant de plus en plus tendance à ne pas croire les messages descendants... surtout quand ils ne sont pas appuyés sur des bases sérieuses, mais relèvent de la communication politique.

APLANIR LA COURBE : UNE APPROCHE ALTRUISTE DES SOCIÉTÉS

Autant que la médecine et l'épidémiologie, la sociologie donne des arguments pour réussir à « aplanir la courbe », une expression qu'elle illustre dans un article du *Scientific American*⁷. Aplanir la courbe signifie qu'avant de penser à des résultats parfaits, à éradiquer une maladie, il faut en répartir les effets dans le temps, éviter que tout le monde ne vienne se précipiter vers des hôpitaux surchargés, et accorder une grande importance aux conséquences des inégalités sociales ou des conditions de travail sur la santé. Le masque ne sert pas seulement à se protéger soi-même, mais aussi à protéger ses voisins et amis. Penser aux autres. Dans cet article, alors que la vague n'a pas encore touché les États-Unis, la sociologue commence par rejeter l'individualisme du modèle des survivalistes, très présents aux États-Unis, qui cherchent à s'en sortir seuls et par eux-mêmes après une catastrophe. Elle développe l'idée qu'il s'agit de se préparer collectivement au confinement. De le faire pour soi, mais aussi pour éviter de devenir porteur d'une maladie auprès de plus vulnérables. Le contraire du chacun pour soi si prégnant dans la culture médiatique américaine. « Nous devons nous préparer, pas parce que nous nous sentirions personnellement en danger, mais parce que cela aide à réduire le risque pour tout le monde. [...] Nous devons nous préparer, parce que nos voisins, particulièrement les plus âgés, celles et ceux qui travaillent à l'hôpital, qui sont victimes de maladies chroniques... ont besoin que nous nous préparions ». Elle répètera ce *mantra* dans les nombreux articles qu'elle a écrits dans *The Atlantic* ou *The New York Times* : regardez le côté altruiste des humains en société et appuyez-vous sur lui.

Mais un appel altruiste nécessite un langage clair, permettant aux gens de prendre conscience de leur part de responsabilité. Ainsi, en avril 2020, elle écrivait dans *The Atlantic* : « L'ambiguïté des discours sur le masque tient au mélange de deux fonctions différentes : protéger celui qui le porte, ou protéger les autres. Se protéger requiert des masques de haut niveau, mais limiter la transmission aux autres commence déjà avec des masques en tissu ». Cette capacité à porter un discours à la fois précis et compréhensible, puissant et accessible, est la marque de fabrique de Zeynep Tufekci.

Cette irruption d'une sociologue dans le débat épidémiologique montre que la connaissance du fonctionnement d'une société, la reconnaissance du caractère altruiste de ses membres quand ils sont confrontés à des événements majeurs, la capacité à faire circuler des idées claires sont d'une importance déterminante.

⁷ TUFEKCI Z. (2020), "Preparing for Coronavirus to strike the US. Getting ready for the possibility of major disruptions is not only smart; it's also our civic duty", *Scientific American*, 27 février, <https://blogs.scientificamerican.com/observations/preparing-for-coronavirus-to-strike-the-u-s/>

À partir de ses analyses de sociologue, elle n'hésite pas à entrer dans l'arène politique. Quand un journaliste lui demande en 2022 ce qu'il faudrait que les gouvernements fassent qu'ils ne font pas, elle répond clairement : « Nous savons que la transmission se fait par les voies aériennes. Si nous devons faire ensemble quelque chose d'utile, ce serait de prendre les mêmes mesures pour le traitement de l'air dans les espaces clos que celles prises pour le traitement de l'eau courante quand on a découvert les maladies liées à l'eau : filtres, ventilation... »⁸. Reste qu'il est difficile de se faire entendre, même quand on exprime des recommandations argumentées. C'était en effet déjà ce qu'elle disait dans une tribune de *The Atlantic* en juillet 2020 : « Comment est-il possible que six mois après le début d'une pandémie respiratoire nous continuions à faire si peu pour ralentir la transmission par l'air ambiant ? »⁹.

UNE APPROCHE POSITIVE ET RÉSILIENTE

Très rapidement, Zeynep Tufekci a vu néanmoins trois éléments positifs dans la réponse à la pandémie : la capacité de coder des vaccins, susceptible d'être utilisée contre d'autres maladies ; un meilleur usage de l'infrastructure numérique ; et la relance d'une science ouverte, avec le partage des données et des informations¹⁰. Elle fait en général preuve d'un optimisme à toute épreuve, vraisemblablement lié à sa propre résilience¹¹. Mais également lié à la confiance qu'elle ressent quant aux capacités des humains à faire face et à avoir du respect les uns envers les autres... quand le modèle toxique des médias sociaux ne vient pas travailler en profondeur les comportements en valorisant l'affrontement plutôt que la négociation, l'opposition plutôt que le consensus¹². Elle n'est pas tendre non plus avec les médias traditionnels, qui préfèrent mettre en doute les bonnes nouvelles, notamment, en associant des exemples de mutations du virus à chaque fois qu'une avancée se réalise sur les méthodes vaccinales. « Ce pessimisme sape l'énergie des gens, dont il auraient besoin pour traverser l'hiver et le reste de la pandémie »¹³.

Tout au long du premier confinement, Zeynep Tufekci s'est opposée aux méthodes expéditives d'un confinement intégral, aux discours venus d'en haut qui ne faisaient pas participer la population à la décision. Ses chroniques dans *The Atlantic* montraient l'inanité de l'interdiction de sortir dans les parcs, les plages et les autres lieux de plein air : il faut que les gens aient des moments de respiration, au sens propre comme au figuré, pour accepter les contraintes d'un confinement collectif, la fermeture des écoles et des bureaux. Et donc avoir une approche souple de ce qui ne doit pas être (les regroupements en espaces clos) et ce qui au contraire est moins risqué, comme le plein air. « L'histoire des réponses apportées aux catastrophes est remplie d'exemples d'une extraordinaire bonne volonté

⁸ WOLFE J. (2022), "The pandemic's next phase. Interview with Zeynep Tufekci", *The New York Times*, 13 juin 2022, <https://www.nytimes.com/2022/06/13/briefing/the-pandemics-next-phase.html>

⁹ TUFEKCI Z. (2020), "Why aren't we talking more about ventilation ?", *The Atlantic*, 30 juillet 2020, <https://www.theatlantic.com/health/archive/2020/07/why-arent-we-talking-more-about-airborne-transmission/614737>

¹⁰ TUFEKCI Z. (2021), "3 ways the pandemic has made the world better", *The Atlantic*, 18 mars 2021, <https://www.theatlantic.com/health/archive/2021/03/three-ways-pandemic-has-bettered-world/618320/>

¹¹ Zeynep Tufekci raconte son histoire personnelle au travers d'un récit très émouvant sur sa grand-mère. Ce texte autobiographique a été traduit et publié dans *Le Monde révolté : Zeynep Tufekci, une sociologue engagée*, C&F éditions, 2020, <https://cfeditions.com/monde-revolte/>

¹² TUFEKCI Z. (2017), « Nous créons une dystopie simplement pour pousser les gens à cliquer sur des publicités », Conférence TED, septembre 2017, https://www.ted.com/talks/zeynep_tufekci_we_re_building_a_dystopia_just_to_make_people_click_on_ads/transcript?language=fr

¹³ TUFEKCI Z. (2021), "5 pandemic mistakes we keep repeating", *The Atlantic*, 26 février 2021, <https://www.theatlantic.com/ideas/archive/2021/02/how-public-health-messaging-backfired/618147/>

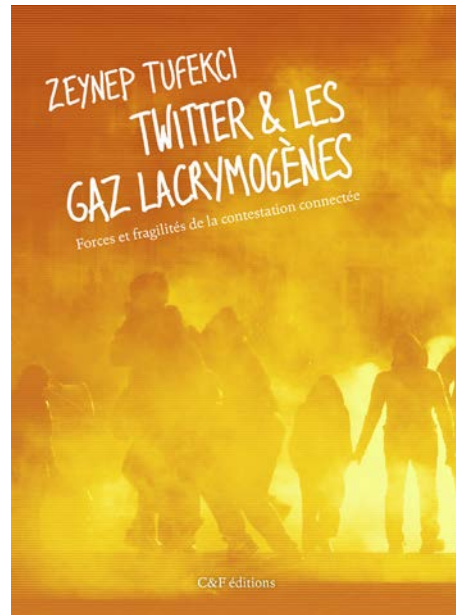
parmi les gens ordinaires qui se désagrège dès que les autorités prennent des mesures à poigne qui considèrent le public comme un ennemi »¹⁴.

Cette notion d'un public comme ennemi, qu'elle décèle dans de nombreuses activités, constitue un fil rouge de son travail. Dans l'ensemble de ses domaines d'intervention (qui sont nombreux, de l'éducation à la santé publique, de l'analyse des médias, notamment, des médias sociaux, à celle des mouvements sociaux), elle encourage l'empathie et la nécessité de faire confiance aux capacités collectives. Par exemple dans un article récent portant sur l'usage possible des intelligences artificielles pour produire des dissertations à la place des étudiants, elle s'insurge contre l'usage de technologies de surveillance pour faire passer des examens, et prône un renversement du travail pédagogique qui implique mieux les étudiants¹⁵. Une cohérence avec les schémas généraux de son approche sociale.

RÉSISTER AUX POUVOIRS ET À LEUR LOGIQUE INTERNE

Mais cette empathie est compensée par une défiance envers les pouvoirs installés, politiques comme scientifiques, dont les intérêts catégoriels finissent par influencer sur leurs prises de position et leur capacité à porter un discours de vérité, pouvant emporter l'assentiment et mobiliser l'altruisme en présentant les problèmes plutôt que de les nier. On retrouve cette alternance de confiance dans les mouvements populaires et d'inquiétude sur la manière dont les pouvoirs en place peuvent détourner les espoirs, dans son livre majeur *Twitter & les gaz lacrymogènes*¹⁶. Dans celui-ci, appuyé sur l'analyse des mouvements du printemps arabe, elle montre comment les médias sociaux peuvent favoriser la mobilisation, mais restreindre les capacités de construction collective. Surtout, elle montre comment les pouvoirs ont compris le fonctionnement de ces médias et peuvent s'en servir non pas en censurant, mais en noyant l'information.

Une méthode que l'on a retrouvée en Chine au début de la pandémie pour étouffer les informations venant de Wuhan, et, notamment, le travail du docteur Li Wenliang¹⁷, premier lanceur d'alerte.



¹⁴ TUFEKCI, Z. (2020), "Keep the parks open", *The Atlantic*, 7 avril 2020, <https://www.theatlantic.com/health/archive/2020/04/closing-parks-ineffective-pandemic-theater/609580/>

¹⁵ TUFEKCI Z. (2022), "AI will change education. don't let it worsen inequality", *The New York Times*, 15 décembre, <https://www.nytimes.com/2022/12/15/opinion/chatgpt-education-ai-technology.html>

¹⁶ TUFEKCI Z. (2019), *Twitter & les gaz lacrymogènes*, C&F éditions.

¹⁷ LEMAÎTRE F. (2020), « Émotion en Chine à l'annonce de la mort du docteur Li Wenliang, lanceur d'alerte sur le coronavirus », *Le Monde*, 6 février, https://www.lemonde.fr/international/article/2020/02/06/emotion-a-l-annonce-de-la-mort-du-docteur-li-wenliang-lanceur-d-alerte-du-coronavirus_6028699_3210.html. La page personnelle de Li Wenliang sur le média social chinois Weibo est devenue un point d'expression et de lamentation dans le pays tout entier. FALLETTI S. (2020), « Coronavirus : Li Wenliang, martyr encombrant sur Weibo, le mur virtuel des lamentations chinoises », *Le Figaro*, 16 avril.

N'ayant pas peur des amalgames et autres menaces portées sur Twitter, Zeynep Tufekci a décidé d'écrire un article sur l'origine du virus¹⁸. Elle y présente les ambiguïtés et les défenses de groupes, notamment de la corporation mondiale des virologues, concernant l'existence ou non d'une fuite de laboratoire, d'une expérience de gain de fonction... On ne sait toujours pas ce qu'il en est, et Zeynep Tufekci elle-même se gardait bien de trancher en l'absence de preuves suffisantes. Sans céder aux sirènes complotistes, elle incitait à prendre le recul pour mesurer les jeux d'acteurs des différents groupes concernés, pour rappeler que les accidents de laboratoire sont plus fréquents que l'on ne le dit, et que les conditions de sécurité n'y sont pas toujours parfaites. Elle souhaite ne pas enterrer la recherche des origines du virus. « Des années de recherche sur la dangerosité des coronavirus et l'histoire plus large des accidents de laboratoire donnent aux chercheurs de nombreuses raisons d'agir avec précaution. Mais des pratiques de sécurité mal respectées subsistent. [...] Même si le virus a une origine animale sans intermédiaire dans les activités de recherche, il existe une situation propice depuis des années. Et apprendre de celles-ci est essentiel pour l'avenir. ». Encore une fois, il s'agit de se pencher sur les activités sociales de la recherche, leur potentiel de coopération (création du vaccin, échange des données) comme d'une concurrence dangereuse pour tous.

NE JAMAIS OUBLIER LES PERSONNES EN DIFFICULTÉ

Dans ses articles récents sur la pandémie, elle enquête et travaille sur les « Covid longs », insistant sur le fait que les maladies virales laissent souvent des traces, une immense fatigue, des symptômes proches de l'encéphalite... et pourtant les patients atteints de Covid long sont encore trop souvent maltraités, dans les deux sens du terme, en l'absence de protocoles médicaux, mais aussi parce que leurs symptômes sont niés et renvoyés à des nœuds « dans leur tête »¹⁹. Elle soutient ainsi les mouvements de malades qui, à l'image des activistes du SIDA, protestent et se mobilisent pour que les budgets afférents soient débloqués et que leurs conditions soient socialement prises en compte. Elle se fait de même l'écho de manifestants « trop malades pour être arrêtés »²⁰. Elle plaide pour le financement massif d'équipes multidisciplinaires sur les conditions post-virales, car « résoudre un tel puzzle pourrait s'avérer révolutionnaire, ouvrant la porte à la compréhension de nombreuses situations qui sont cause de souffrances humaines ».

Si Zeynep Tufekci a toujours vu juste sur les choses importantes, c'est parce qu'elle travaille beaucoup ses sujets, qu'elle les aborde selon de multiples dimensions, en interdisciplinarité, qu'elle ose une parole engagée et un discours de vérité, éthiquement appuyé sur des enquêtes de terrain, une parole utilisant régulièrement les médias sociaux et montrant sa forte capacité à débattre. Mais également, comme le dit Jeffrey Goldberg, rédacteur en chef de *The Atlantic*, parce que « Zeynep a une capacité étonnante, grâce à une écriture et une pensée claires, à rendre l'incompréhensible compréhensible et à repérer les tendances avant tout le monde »²¹.

¹⁸ TUFUKCI Z. (2021), "Where did the coronavirus come from? What we already know is troubling", *The New York Times*, 25 juin, <https://www.nytimes.com/2021/06/25/opinion/coronavirus-lab.html>

¹⁹ TUFUKCI Z. (2022), "If you're suffering after being sick with covid, it's not just in your head", *The New York Times*, 25 août, <https://www.nytimes.com/2022/08/25/opinion/long-covid-pandemic.html>

²⁰ TUFUKCI Z. (2022), "Protesters so ill, they couldn't get arrested", *The New York Times*, 27 octobre, <https://www.nytimes.com/2022/10/27/opinion/me-cfs-long-covid.html>

²¹ "Zeynep Tufekci joins The Atlantic as contributing writer", *The Atlantic*, 24 septembre, <https://www.theatlantic.com/press-releases/archive/2019/09/tufekci-joins-atlantic-contributing-writer/598678/>

La protection des données à caractère personnel à l'épreuve de la crise sanitaire

Par Valérie PEUGEOT

Commissaire à la CNIL, en charge de la Santé

La pandémie liée à la Covid-19 a mis à l'épreuve la capacité du droit des données à caractère personnel à accompagner une situation d'urgence sanitaire sans équivalent. L'expérience a montré, d'une part, la robustesse et la souplesse de ces textes, et, d'autre part, la réactivité de l'institution en charge de veiller à leur application. Dans des délais extrêmement courts, le gouvernement a pu être accompagné au plus près par la CNIL dans la mise en place de dispositifs inédits, veillant à ce que les dérogations consenties soient minimales, transitoires et contrôlées, pendant que les chercheurs obtenaient dans des délais record des autorisations pour traiter les données de santé.

UNE MISE À L'ÉPREUVE INÉDITE

La crise sanitaire majeure provoquée par le coronavirus en 2020 a constitué pour le Règlement général de protection des données (RGPD), entré en vigueur moins de deux ans plus tôt, une mise à l'épreuve inattendue et brutale. Ce texte, pensé avant tout comme un point d'équilibre entre protection des données personnelles et innovation technologique, a-t-il réussi à étendre cet équilibre à la lutte contre la pandémie ? A-t-il su concilier les interventions étatiques inédites appelées par la gestion de la crise et les nouvelles pratiques sociales apparues pendant les périodes de confinement, avec la protection de nos libertés ? Comment la Commission de l'informatique et des libertés (CNIL), garante du texte, a-t-elle cheminé sur la crête étroite permettant de concilier protection de la vie privée et facilitation de la gestion de crise ?

Cette question générique de la compatibilité entre protection des données et lutte contre la pandémie embarque de façon opérationnelle trois défis principaux auxquels la CNIL a été confrontée : accompagner les acteurs publics dans la lutte contre l'épidémie, faciliter la recherche médicale, et encadrer des pratiques numériques nouvelles.

DES TRAITEMENTS DE DONNÉES INÉDITS AUTORISÉS, ENCADRÉS ET CONTRÔLÉS

Indispensables aux autorités publiques pour pouvoir déchiffrer la pandémie, comprendre la propagation du virus, mesurer son ampleur, et construire en réponse une politique sanitaire, les données à caractère personnel, et plus spécifiquement les données sensibles que sont les données de santé, sont devenues en quelques jours un des acteurs non humains majeurs de la crise. Données existantes pour certaines – nombre d'hospitalisation, létalité... –, données inédites pour d'autres – résultats de tests Covid, vaccinations... –, dont il a fallu à la fois (re)penser la collecte, le stockage, la sécurisation, les conditions d'accès, afin de permettre une gestion la plus efficace possible de la crise. Différentes

bases de données nouvelles ont été mises en place à cette occasion, dont trois majeures : SIDE¹ tout d'abord, qui rassemble les résultats des différents tests, et permet ainsi un suivi quotidien de la plus ou moins forte propagation du virus ; Contact Covid ensuite, qui permet de tracer les contacts des malades, afin de les prévenir et de limiter la propagation du virus ; SI-Vaccin enfin, qui consolide l'ensemble des données de vaccination, et permet d'organiser les campagnes vaccinales contre le Covid. Le rôle de la CNIL à leur égard a été triple : dans un premier temps, se pencher sur ces traitements pour en vérifier la conformité (données collectées proportionnées au besoin, sécurisation de l'infrastructure, accès à un nombre limité de professionnels, information des personnes...), en obtenir certaines modifications dans un dialogue ininterrompu avec le ministère, puis rendre un avis en encadrant la mise en œuvre, le tout dans un délai exceptionnellement court, adapté aux circonstances ; dans un second temps, contrôler ces traitements, de façon à s'assurer que les conditions de la conformité soient respectées ; enfin, procéder à des mises en demeure, quand certains acteurs ne respectaient pas les conditions de l'avis ou, plus rare, une fuite de données de santé a été constatée².

La CNIL a également accompagné le gouvernement dans la mise en place de différents dispositifs mobilisés dans la gestion de la crise, qui n'ont pas tous connu le même usage ni la même notoriété. Le premier, et sans doute celui qui a fait couler le plus d'encre, est TousAntiCovid, devenu StopCovid, application sur téléphone mobile de traçage automatisé des personnes contacts. Les interactions permanentes entre la CNIL et les concepteurs de l'outil en amont de sa diffusion ont permis de protéger des principes essentiels en matière de protection de la vie privée : l'application, dont l'usage est laissé au libre choix des personnes, ne collecte qu'un nombre minimal de données de santé, n'utilise pas la géolocalisation, et, contrairement aux choix des autres pays européens, ne nécessite pas l'intervention des fournisseurs d'OS mobile que sont Google et Apple. La CNIL est également intervenue lors de la mise en place du passe sanitaire, devenu passe vaccinal, dispositif particulièrement attentatoire à la vie privée, pour lequel la CNIL a veillé, notamment, à son caractère transitoire et à en restreindre le périmètre d'application. Elle s'est aussi prononcée sur l'envoi par la CNAM de listes de patients non vaccinés aux médecins, laissant à ces derniers le choix de le solliciter ou non ; sur les cahiers de rappel mis en place dans les restaurants ; sur la mise en place de la vidéo intelligente pour la vérification du port du masque dans les transports en commun ; etc. Au total, ce sont pas moins de 31 avis qui ont été rendus sur des textes gouvernementaux liés à la gestion de la crise, dans des délais extrêmement courts, et 52 contrôles menés pour s'assurer de la conformité des traitements autorisés, contrôles qui se poursuivaient au premier semestre 2023.

DES AUTORISATIONS DE RECHERCHE ACCÉLÉRÉES

Le second défi est lié à la recherche médicale portant sur la Covid-19, recherche devenue essentielle tant pour la compréhension de la pathologie (analyse des facteurs de comorbidité ou de Covid longs...), que pour des essais cliniques de médicaments ou de vaccins, ou encore pour l'accompagnement des patients (par exemple évaluation de l'impact de

¹ Système d'information de dépistage en population.

² En octobre 2021, la société Francetest qui transmet les résultats de tests réalisés par les laboratoires de biologie médicale vers la base SI-DEP a fait l'objet d'une mise en demeure à la suite d'une fuite massive de données, liée à un défaut de sécurisation.

la pandémie sur la santé mentale des jeunes)³. Dès mars 2020, le nombre de projets de recherche nécessitant de recourir aux données de santé a été décuplé en quelques semaines. Or la collecte comme l'accès aux données de santé du système national de données de santé (SNDS) pour la recherche sont strictement encadrés tant par le RGPD que par la loi Informatique et libertés. À cet effet, les textes prévoient schématiquement deux circuits⁴ : premier cas, la recherche est conforme à ce que l'on appelle une méthodologie de référence (MR), c'est-à-dire un instrument juridique qui permet aux chercheurs d'avancer de façon autonome, sous réserve d'autovérifier leur conformité, de la documenter en interne et d'effectuer une simple déclaration de conformité auprès de la CNIL. Ces outils, qui simplifient grandement la vie des chercheurs, sont déjà au nombre de six⁵, et deux autres sont en préparation. Deuxième cas, la recherche ne rentre pas dans l'un de ces cadres prédéfinis, et il faut alors obtenir une autorisation de la CNIL, après avis soit d'un Comité de protection des personnes (CPP), soit du Comité éthique et scientifique pour les recherches, les études et les évaluations dans le domaine de la santé (CESREES), selon le type de recherche. Un processus qui en temps normal peut prendre de longs mois, et qui est donc totalement inadapté à une situation de pandémie.

Si la large majorité des projets de recherche a pu faire l'objet d'une formalité simplifiée grâce à une déclaration de conformité à mobiliser l'une des méthodologies de référence⁶, évitant ainsi de se voir freinée, d'autres projets nécessitaient une autorisation, notamment parce qu'ils ne pouvaient pas respecter les droits des patients, en termes d'information plus spécifiquement, ou parce qu'ils nécessitaient d'apparier les données des patients à celles du SNDS en utilisant le NIR (numéro de sécurité sociale). Pour lever cet obstacle temporel, la CNIL, dès mars 2020, a apporté une double réponse, organisationnelle, d'une part, dérogatoire, de l'autre. Organisationnelle en mettant en place un guichet unique pour accueillir les demandes, et en interagissant au quotidien avec les délégués à la protection des données (DPO) des organismes de recherche, eux-mêmes devenus un interlocuteur centralisé au sein de leur établissement. Dérogatoire ensuite en instruisant les dossiers en parallèle du passage devant les comités concernés, de manière à pouvoir délivrer l'autorisation dès le feu vert de ces derniers obtenu. Au bilan, 170 projets de recherche ont été autorisés en 2020-2021, certains nécessitant un accompagnement important, dont la moitié a reçu le blanc-seing en moins de 48 heures, grâce à la double mobilisation côté CNIL et côté établissements.

DES USAGES ÉMERGENTS ACCOMPAGNÉS

Enfin le troisième défi, qui s'inscrit dans le travail habituel de la CNIL mais qui a connu une accélération à la faveur de la crise, a consisté à accompagner des usages émergents ou inédits des technologies numériques. Ainsi, le télétravail, encore marginal jusqu'alors dans les pratiques des organisations, s'est développé massivement, bien au-delà des périodes de confinement. Cette évolution, qui *de facto* oblige à déployer de nouvelles pratiques managériales, a pu chez certains dirigeants nourrir l'envie de mobiliser des

³ Pour un panorama des recherches médicales liées à la Covid-19, voir par exemple le document publié par l'Agence nationale de la recherche (ANR) en novembre 2021, https://anr.fr/fileadmin/documents/2021/ANR_Panorama-projets-Covid_05112021.pdf

⁴ Les études internes, menées uniquement avec les données des patients de l'établissement, font exception et ne nécessitent aucune formalité.

⁵ Pour une description des différentes méthodologies de référence, cf. https://www.cnil.fr/fr/traitements-declaration-conformite?field_norme_numerotation_type_value%5B0%5D=6

⁶ 85 % des recherches impliquant la personne humaine liées à la crise sanitaire ont été réalisées dans le cadre d'un référentiel.

outils de surveillance à distance, au mépris des droits fondamentaux des salariés. De même, la nécessité de conduire des examens à distance a amené certains établissements de l'enseignement supérieur à déployer des technologies de surveillance préjudiciables aux droits des étudiants. Des employeurs (hors secteur médical) ont également été tentés d'exiger de leurs salariés qu'ils fournissent leur passe sanitaire à l'entrée du lieu de travail. Sur tous ces sujets et sur bien d'autres, la CNIL a quasiment en temps réel, au fur et mesure que surgissaient ces sujets, publié des recommandations sur son site⁷, et, en conséquence de nombreuses plaintes reçues pendant la pandémie, rappelé les organisations à leurs obligations.

DE L'IMPROVISATION À L'ÉVALUATION ET À L'ANTICIPATION

Au bilan, le respect des libertés publiques et plus spécifiquement la protection des données à caractère personnel n'a pas entravé la conduite des politiques publiques de gestion de pandémie, pas plus que la recherche. Il l'a accompagné, parfois au prix d'évolutions dans la doctrine de la CNIL – par exemple le choix de la centralisation pour StopCovid aux dépens d'une logique distribuée – ou de dérogations à certains principes – l'avis rendu sur le passe sanitaire – ; mais des dérogations temporaires, des parenthèses dont la Commission a veillé et continue de veiller à ce qu'elles se referment, notamment en vérifiant que les données collectées dans ce cadre soient effectivement supprimées⁸. Toujours au titre du bilan, on notera par ailleurs que la crise sanitaire a été aussi une formidable occasion de montée en compétence collective en matière de gestion et de protection des données à caractère personnel. Si l'on peut regretter qu'il ait fallu une pandémie pour cela, force est de constater que là où certains acteurs peinaient à acquérir une culture de la donnée et de sa protection, la pandémie a été l'occasion d'une prise de conscience, et de la valeur d'usage de la donnée et des raisons de veiller à en éviter les mésusages.

Dans une situation d'improvisation des réponses liées à une pandémie que nul n'avait vu venir, les textes ont fait la preuve de leur robustesse comme de leur plasticité. Pour autant, on ne saurait se satisfaire de cette situation pour l'avenir. D'une part, le travail d'évaluation, que la CNIL n'a cessé de réclamer, n'en est qu'à ses prémices. Il apparaît indispensable, notamment pour pouvoir mesurer les effets respectifs du traçage des cas contacts *via* le dispositif numérique et *via* l'intervention de la CNAM. Si de premières évaluations chiffrées ont été publiées⁹, elles ne permettent pas de mesurer le degré de proportionnalité des données à caractère personnel collectés. Plus généralement, ces évaluations sont nécessaires pour procéder aux arbitrages qu'appelle la mise en place d'une politique pérenne de gestion des crises sanitaires, que malheureusement nos sociétés auront fort probablement à connaître dans l'avenir. Quels sont les traitements de données

⁷ Coronavirus (Covid-19) : les rappels de la CNIL sur la collecte de données personnelles par les employeurs, 23 septembre 2020, <https://www.cnil.fr/en/node/119866> ; Surveillance des examens en ligne : les rappels et conseils de la CNIL, 20 mai 2020, <https://www.cnil.fr/fr/surveillance-des-examens-en-ligne-les-rappels-et-conseils-de-la-cnil>

⁸ Pour une description plus complète des actions de la CNIL pendant la crise Covid, voir sur son site *web* les rapport annuels 2020 et 2021, ainsi que les 5 avis adressés au Parlement sur les conditions de mise en œuvre des dispositifs contre la Covid-19, <https://www.cnil.fr/fr/mediatheque/rapports-annuels> ; <https://www.cnil.fr/fr/la-cnil-publie-son-cinquieme-avis-adresse-au-parlement-sur-les-conditions-de-mise-en-oeuvre-des>

⁹ Le seul rapport d'évaluation portant sur StopCovid publié à ce jour par le ministère de la Santé est difficilement trouvable, https://bonjour.tousanticovid.gouv.fr/cms/f0744e36-4b6c-4faf-9e17-483dc4b35671_Bilan_TousAntiCovid_2021.pdf ; Concernant le *contact-tracing* mis en place par la CNAM, voir la prise de position de la Cour des comptes, <https://www.ccomptes.fr/fr/publications/tracer-les-contacts-des-personnes-contaminees-par-la-covid-19>

qui doivent être établis de façon pérenne – par exemple parce qu’il n’est pas possible de les mettre en œuvre de façon sécurisée dans le temps court de la crise –, et quels sont ceux qui doivent être créés et actionnés uniquement de façon transitoire au plus fort d’une épidémie ? Quels sont les cadres juridiques à adapter pour faciliter une action rapide des acteurs tout en les encadrant ? Quels sont les moyens humains à déployer pour ne pas se reposer sur des dispositifs techniques attentatoires à nos libertés, et à l’efficacité limitée ? Autant de questions auxquelles il nous faut répondre collectivement pour ne pas revivre l’impréparation de 2020.

CONCLUSION

Les cadres juridiques, et l’usage qui en a été fait, ont montré que l’on pouvait mobiliser dans l’urgence des solutions numériques, sans céder aux sirènes du techno-solutionnisme poussé par certains industriels et par certains politiques plus soucieux de développer de nouveaux marchés que de protéger notre modèle de société. La pandémie nous a tendu un miroir inédit, révélant au grand jour des phénomènes déjà latents, mais dont la conscience collective n’était pas aussi forte : érosion de la confiance dans les institutions – politiques, médiatiques, syndicales... – ; remise en cause, aux conséquences dramatiques, de la science dans sa capacité à fournir une forme de vérité ; circulation d’une ampleur et à une vitesse inégalée *via* les réseaux sociaux des rumeurs et désinformations... Face à cela, le travail mené par la CNIL – avec quelques autres institutions il va sans dire – a fourni un repère auquel nos concitoyens ont pu, lorsqu’ils le souhaitaient, se rassurer ; un îlot de confiance auquel s’arrimer.

Comment le Conseil scientifique s'est saisi de l'enjeu des outils numériques

Par Daniel BENAMOUZIG et Aymeril HOANG
Anciens membres du Conseil scientifique Covid-19
(mars 2020 - 31 juillet 2022)

Dès les premiers temps de l'épidémie, le secteur du numérique en santé a été l'objet d'innovations marquantes, sans que leur place n'ait été anticipée ni imaginée dans un contexte d'épidémie. Tout en constituant de véritables défis, elles ont soulevé de nombreuses difficultés, jamais purement techniques s'agissant d'usages sanitaires. En revenant sur l'expérience du Conseil scientifique Covid-19, dont les auteurs ont été membres entre le printemps 2020 et juillet 2022, cet article rend compte de la manière dont ce comité d'experts, créé pour conseiller les plus hautes autorités de l'État, a pris part aux réflexions relatives à la place du numérique dans la lutte contre l'épidémie. Il revient sur quelques épisodes marquants et sur la mise en place progressive d'une démarche collective de vigilance, avant d'évoquer des dimensions marquantes dépassant le cadre de l'épidémie.

INTRODUCTION

Sociales, environnementales, sanitaires ou internationales, les crises s'imposent comme un mode d'action devenu ordinaire dans la vie publique. L'épidémie de Covid-19 semble avoir inauguré de nouveaux registres d'action publique, parfois hors normes, qui ont rendu possibles des interactions complexes et inédites entre les nombreux acteurs individuels et collectifs, publics ou privés, nationaux ou territoriaux, impliqués dans le secteur de la santé et bien au-delà. Les exemples abondent, que l'on se situe à l'échelle des établissements de santé, des institutions publiques, des entreprises ou du tiers secteur. De manière plus transversale, le secteur du numérique en santé a été l'objet d'innovations marquantes, qui se sont invitées dès les premiers temps de l'épidémie, sans que leur place n'ait été anticipée ni imaginée dans un contexte d'épidémie. C'est souvent face à des situations inédites et critiques, observées en France comme dans d'autres pays, que de nombreuses innovations ont pu être envisagées, conçues et mises en œuvre. Tout en constituant de véritables défis, elles ont donné lieu à de nombreux débats et ont soulevé de nombreuses difficultés, jamais purement techniques s'agissant d'usages sanitaires.

En revenant sur l'expérience du Conseil scientifique Covid-19, dont les auteurs ont été membres entre le printemps 2020 et la dissolution de ce Conseil en juillet 2022, il s'agit ici de rendre compte de la manière dont ce comité d'experts, créé pour conseiller les plus hautes autorités de l'État, a pris part aux réflexions relatives à la place du numérique dans la lutte contre l'épidémie. Sans prétendre retracer les nombreux débats, internes et externes au comité, nous souhaitons ici rendre compte de la manière dont il a été conduit à s'interroger sur l'éventuel apport du numérique ainsi que sur ses risques, en revenant

sur quelques épisodes marquants et sur la mise en place progressive d'une démarche collective de vigilance, plus largement partagée¹. Il est à noter que ces éléments interviennent en amont de leur traduction réglementaire ou législative, qui survient en mai 2020 et fait suite à un large ensemble de réflexions, de consultations, d'avis et de débats suscités auprès de différents communautés d'experts et de professionnels, ainsi qu'au sein de la population. Il s'agit enfin de revenir sur quelques dimensions marquantes attachées à ces débats, qui demeurent pour l'essentiel intactes au-delà du contexte de réaction immédiate à l'épidémie.

AU-DELÀ DE LA SITUATION DE CRISE, L'IMPORTANCE DES PRINCIPES

Lorsque débute l'épidémie, le recours au numérique dans le secteur de la santé est déjà l'objet de nombreuses initiatives, souvent promues par les pouvoirs publics et destinées à se développer. Depuis 2018, la Délégation numérique de la Santé (DNS) est animée par Laura Létourneau et Dominique Pon, afin de lancer la feuille de route du gouvernement pour la numérisation du secteur de la santé. Envisagé à large échelle, l'usage de technologies numériques n'apparaît pas d'emblée comme un trait propre à la gestion de l'épidémie, comme une dimension susceptible d'apporter des solutions décisives, de poser des problèmes singuliers ou particulièrement aigus. Ces effets se révèlent de manière progressive, quoique rapide, dès la mise en œuvre des premières mesures de gestion de l'épidémie, au printemps 2020. Alors que de nombreuses innovations sont proposées, pour cartographier l'épidémie ou pour gérer les dérogations aux obligations instituées à la mi-mars 2020, deux initiatives illustrent plus singulièrement cette irruption d'enjeux relatifs au numérique dans la gestion de l'épidémie, tels qu'ils pouvaient être perçus au sein du Conseil scientifique.

Le début de l'épidémie est initialement vécu comme un moment de grande incertitude quant aux effets possibles de celle-ci au sein de la population, et *in fine* quant à ses conséquences en termes d'hospitalisation, de passage par les services d'urgence, et de réanimation et finalement de décès. Les effets observés, notamment en Italie, dans l'Est de la France et bientôt en Île-de-France, font apparaître des inquiétudes inédites, et la nécessité d'en prendre la juste mesure, pour en évaluer l'ampleur et l'évolution prévisible au cours du temps. Les données disponibles sont peu nombreuses et pour l'essentiel inadaptées. Certains systèmes d'information ont été conçus de longue date, comme les données de SOS médecins en médecine ambulatoire, tandis que d'autres, de facture plus récente, ont été élaborés pour quantifier les hospitalisations dans le contexte des attentats, dans la base SI-VIC.

À partir des éléments disponibles, deux types de questions se posent avec acuité. La première, de nature épidémiologique, est celle des indicateurs les plus utiles. L'idée est de disposer d'indicateurs plus précoces que les seules hospitalisations, qui interviennent tardivement et de manière heureusement limitée dans l'histoire naturelle de la maladie – après la contamination ; de premiers symptômes ; une éventuelle dégradation de l'état de santé ; et finalement le recours aux structures de soins, hospitalières et en soins critiques en particulier. La seconde question est celle des systèmes d'information susceptibles de produire des données pertinentes, dans des délais utiles, c'est-à-dire très rapides, à horizon de quelques jours après la mise en place du Conseil scientifique. Sans ces éléments, ni l'ampleur ni l'évolution de l'épidémie ne peuvent être appréhendées, dans un contexte où les diagnostics sont encore difficiles à établir en l'absence de tests biologiques appropriés.

¹ Pour une analyse de ces débats du point de vue de l'action publique, voir CHEVALIER J. (2020), « Un outil numérique : StopCovid », *Revue française d'Administration publique*, n°174, pp. 519-528.

Le Conseil scientifique est informé du travail que réalisent en urgence des équipes d'informaticiens, notamment auprès de l'AP-HP, pour mettre en œuvre les systèmes d'information capables de centraliser chaque jour l'ensemble des informations relatives aux admissions, aux urgences, aux soins critiques, aux décès imputables à l'épidémie. D'autres solutions sont développées pour sécuriser les approvisionnements en matériels médicaux ou de prévention par exemple. Bien conscient des conditions de développement des outils dans un contexte d'ordinaire très régulé, légitimement précautionneux en matière de données de santé, le Conseil scientifique élabore une réflexion à deux niveaux. Cette réflexion n'est pas directement opérationnelle. Elle vise à formuler quelques principes, dans une perspective prospective et stratégique que cette instance cherche à constituer une fois que sont passés les premiers jours de gestion de l'épidémie et l'instauration de premières mesures.

Il s'agit d'abord de s'assurer que des informations indispensables soient produites, utilisées et partagées, non seulement en temps réel et avec l'ensemble des acteurs de santé, mais plus largement avec toute la population. Une fois les tests biologiques disponibles, les résultats aux tests permettent au Conseil scientifique, comme à bien d'autres, de suivre les courbes de l'épidémie, qui restent croissantes et peu rassurantes pendant de longues semaines. Ces initiatives donnent lieu à la création de nouvelles bases de données, comme la base SI-DEP des résultats de tests et la base Contact Covid, qui permet à l'Assurance maladie d'identifier et de prendre en charge les cas contacts.

De manière plus réflexive, il s'agit aussi pour le Conseil scientifique d'apprécier quels peuvent être les implications et les risques associés au déploiement rapide des solutions numériques. Utiles, voire indispensables par certains aspects, elles donnent lieu à la mobilisation rapide d'acteurs économiques depuis longtemps impliqués dans ce secteur, promis à de riches développements. Traditionnellement, ces activités sont considérées avec tout autant d'intérêt que de prudence par nombre d'institutions publiques impliquées dans la régulation du numérique en santé, à commencer par la CNIL.

Au fur et à mesure que le Conseil scientifique est informé d'interventions réalisées au titre d'une accélération des usages du numérique dans une situation de crise, il perçoit la nécessité d'une alerte. Bien qu'elle ne relève pas du même registre que les autres messages sanitaires, celle-ci est formulée dans l'avis du 20 avril 2020². Elle signale l'intérêt du recours au numérique et pointe des difficultés éthiques, liées aux données personnelles. Elle insiste sur les conditions d'anonymat et de confidentialité, qui risquent d'être mises à mal, en les considérant selon un principe de proportionnalité associé au nombre de vies potentiellement sauvées, alors déjà discuté par l'OMS en particulier³.

L'avis pointe parallèlement des enjeux plus collectifs et systémiques, de nature institutionnelle. Il explicite de possibles effets d'une extension rapide et non régulée du numérique en santé, dont les principes fondamentaux pourraient se trouver brutalement modifiés du fait de la situation de crise. Esquissant trois scénarios prospectifs, il distingue une situation presque dystopique dans laquelle des acteurs économiques du numérique, qui ne sont pas tous souverains, parviendraient à structurer, le cas échéant de manière irréversible, certains services ou formes d'organisation, dont dépendraient alors les autres acteurs du système de santé. Une telle privatisation numérique du système de santé représenterait alors un changement majeur, s'apparentant à une forme d'ubérisation observée dans d'autres secteurs de service. Pour baliser un espace des possibles, l'avis signale deux autres scénarios, pouvant donner lieu à une régulation plus stricte, voire à une nationalisation *ex post* de pareilles évolutions, si elles devaient advenir du fait

² https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/avis_conseil_scientifique_20_avril_2020.pdf

³ World Health Organization (2017), "Guidelines on ethical issues in public health surveillance", 56 p.

de l'épidémie. En avril 2020, les tendances restent encore confuses, y compris du simple point de vue épidémiologique, mais le Conseil scientifique souhaite formuler ces éléments en espérant susciter des formes de vigilance, voire de débat.

Ces questions prennent une importance accrue lorsque se précisent de nouveaux usages possibles du numérique, sous la forme d'applications de « traçage »⁴. Utilisées dans des pays asiatiques, ces applications apparaissent initialement comme une curiosité, comme « de la science-fiction », ainsi que le formulent dans leurs débats certains membres du Conseil scientifique. Mais les choses s'accroissent, des pays asiatiques semblent faire face efficacement à l'épidémie, et en quelques jours, les choses se précisent, deviennent plus concrètes. Des initiatives sont envisagées dans différents pays européens. Des acteurs français du numérique sont sollicités, à commencer par Inria en matière de recherche scientifique. Le 8 avril 2020, le secrétaire d'État au Numérique et le ministre de la Santé annoncent la création d'une application française, baptisée StopCovid. La vigilance du Conseil scientifique se porte, ici aussi, sur le respect de principes associés à l'idée d'un « commun numérique ». Ces derniers semblent particulièrement adaptés aux enjeux de santé, et avaient émergé lors de premiers échanges entre chercheurs européens en santé et dans le domaine du numérique : développement public, code source ouvert et auditable, anonymat, fonctionnalité unique, volontariat, au service de l'utilisateur, etc. Dans les deux cas, pour les bases de données comme pour l'usage d'une application de traçage, la position du Conseil scientifique porte sur des principes, formulés assez tôt dans la séquence de déploiement de ces outils pour devoir être respectés à l'échelle nationale, y compris dans la situation critique des premiers temps de l'épidémie.

PARTAGER L'EXPERTISE ET LA VIGILANCE

Tant dans le domaine du numérique que dans d'autres, le Conseil scientifique s'est efforcé de construire ses éclairages avec d'autres experts, acteurs ou instances. Cette démarche traduit le souci d'élargir le débat, et de le partager avec d'autres experts et avec l'ensemble de la population. Quelques jours après la publication du premier avis sur les questions numériques, des membres du Conseil scientifique prennent des positions publiques par voie de presse, en s'associant à un grand nombre d'experts et de professionnels de santé pour souligner l'intérêt sanitaire d'une application nationale, dont le développement et l'usage sont alors controversés. Pour ce groupe d'experts, « d'un point de vue sanitaire, l'application StopCovid, dûment encadrée, doit faire partie d'une stratégie nationale de contrôle de l'épidémie »⁵. Loin de constituer à elle seule un « Graal technologique », elle peut du moins contribuer utilement à une stratégie sanitaire plus générale.

Dans sa composition initiale, le Conseil scientifique ne comprenait aucun expert du numérique. L'importance de ces enjeux et les débats émergents ont conduit à envisager la participation d'un expert, Aymeril Hoang, qui a rejoint le Conseil scientifique le 3 avril 2020. Le Conseil scientifique a parallèlement suscité des liens avec de nombreux autres acteurs ou instances, parfois créées *de novo*. Il a bénéficié d'éclairages issus d'expériences asiatiques, en Corée du Sud par exemple, et a rapidement établi des liens, en France, avec le Conseil national pilote d'éthique du numérique, présidé par Claude Kirchner, afin de favoriser une réflexion sur les principes d'usage du numérique en situation épidémique. Il a, notamment, bénéficié d'un premier bulletin de veille de cette instance, en avril 2020⁶.

⁴ Cf. article dédié dans ce même numéro de Jean-Baptiste Calcoen, pp. 97-105.

⁵ COLLECTIF (2020), « Traçage numérique : Pour éviter une seconde crise sanitaire, il faut s'en donner les moyens », *Le Monde*, 25 avril.

⁶ COMITÉ CONSULTATIF NATIONAL D'ÉTHIQUE, « Comité national pilote d'éthique du numérique, bulletin de veille », n°1, 6 avril 2020.

Le Conseil scientifique établit aussi des liens avec la direction de l'Inria, dans la phase de conception et de développement d'outils sécurisés, conformes à de hauts standards éthiques et de protection souveraine, mais donnant lieu à des débats internes à cet institut quant à l'opportunité de développer de tels outils au service de l'État. Il a enfin établi, à partir de juin 2020, des liens avec une instance nouvellement créée, le Comité de contrôle et de liaison (CCL) sur le numérique, animée par le président de la Conférence nationale de Santé, le Pr Emmanuel Rusch. Associant experts, parlementaires et représentants de patients, cette instance incluait un membre du Conseil scientifique, Daniel Benamouzig. En plus de ces liens, et par une sorte de mise en abîme collective, l'ensemble des acteurs associés à ces échanges ont constamment entretenu des liens plus informels, dans le cadre décentralisé rendu possible par le recours massif, inédit et très largement partagé aux outils numériques de communication, de type Zoom ou Teams !

Au-delà des événements et péripéties liés à la dynamique de l'épidémie, plusieurs points de vigilance apparaissent sur les questions de données et de numérique dans les réflexions du Conseil scientifique. Rétrospectivement, leur portée apparaît plus large que la simple réaction aux événements qui les ont suscités en situation d'incertitude. Ces points de vigilance font en outre apparaître les liens étroits entre les principes énoncés et leurs implications pratiques, très directes et concrètes pour les opérateurs économiques comme pour les usagers.

En premier lieu, les enjeux de souveraineté nationale et européenne en termes de contrôle des outils numériques et d'effectivité de la loi sont d'emblée apparus comme un point majeur, difficile à prendre en compte. Si les différents systèmes d'information mis en place pour piloter la gestion de l'épidémie ont été placés sous un régime de contrôle public, tant sur un plan réglementaire que sur un plan opérationnel, il n'en a pas été de même pour les applications mobile StopCovid puis TousAntiCovid, du fait de règles non négociables des magasins d'application du duopole Google-Apple sur les systèmes d'exploitation mobiles que ces entreprises non européennes éditent.

De manière plus large, le recours à des solutions propriétaires fermées en interaction directe avec le grand public, qu'elles soient éditées par des organisations à but lucratif européennes ou non européennes, comme Google ou Apple, peut légitimement interroger la puissance publique sur un risque de perte de contrôle dans sa relation avec les usagers. Il est ainsi apparu qu'une solution de traçage de contacts ne pouvait en aucun cas être légitimement être éditée par un acteur privé, même européen, y compris sous la supervision étroite d'une autorité sanitaire. Une telle position de principe n'exclut aucunement un scénario favorable aux innovations, dans lequel des acteurs privés peuvent expérimenter et développer des prototypes, la puissance publique se réservant ensuite, comme le Conseil scientifique l'avait suggéré dans son avis du 20 avril 2020, la possibilité de nationaliser au juste prix la solution qui émerge et rencontre son public. Elle pose néanmoins la question de la pertinence d'un recours à des scénarios permettant *in fine*, dans le numérique, d'éviter que des pans entiers de services d'intérêt général soient confiés à des acteurs privés, souverains ou non, et de ce fait très difficilement pilotés dans le cadre de politiques publiques.

Puisque « le logiciel dévore le monde »⁷, l'enjeu de développer et de recourir à des communs, supervisés par le secteur public, dans le monde du logiciel et des applications grand public, en particulier dans le domaine de la santé publique, semble plus que prégnant. Cette stratégie demande de pouvoir s'appuyer sur une recherche publique qui soit à la fois fondamentale et opérationnelle (de type « recherche-action »), comme le monde de la santé publique le pratique dans de nombreux domaines, et comme plusieurs équipes de

⁷ En référence au célèbre article du 20 août 2011 dans le *Wall Street Journal*, "Why software is eating the world" de Marc Andreessen, fondateur de Netscape et devenu l'un des investisseurs les plus influents de la Silicon Valley, <https://a16z.com/2011/08/20/why-software-is-eating-the-world/>

l'Inria ont su le faire sur des dizaines de projets en santé publique pendant la pandémie, au-delà de l'application StopCovid.

Cela interroge aussi sur la poursuite d'un modèle de développement de solutions numériques « cœur de métier » des services d'intérêt général s'appuyant sur les compétences et capacités opérationnelles des entreprises privées de service numérique. Dans une telle configuration, le risque de voir certains services numériques stratégiques, développés et pilotés par des acteurs privés, échapper à l'autorité publique compétente nous paraît réel. En effet, ces acteurs privés n'ont pas de raisons, du fait de leur objet social, d'être pleinement alignés avec les intérêts du service public. Au-delà des seuls enjeux de santé publique, qui sont très importants, l'État nous semble légitime à s'interroger, à la lumière de l'épidémie, sur l'investissement dans un renforcement des capacités de développement et d'innovation numériques des différents opérateurs de l'État, à l'instar de ce qui a été fait pour la partie la plus amont de prototypage avec le programme Beta.gouv.fr et les *start-up* d'État. Les nombreuses propositions d'entreprises de services numériques de développer « de bout en bout » des solutions de traçage de contacts, reçues au plus fort de la crise, en mars et avril 2020, quand l'État s'est trouvé en position vulnérable, témoignent du risque de ne pas développer les capacités stratégiques opérationnelles de l'État en matière de logiciel et de numérique.

Enfin, le dernier point de vigilance, et non des moindres, est celui des conditions d'adhésion sociale aux solutions numériques destinées au grand public. Comme pour tout service, privé ou public, les options doivent être perçues comme utiles, voire indispensables, pour la vie quotidienne de l'utilisateur ciblé. Dans le contexte épidémique, cela a été le cas pour une large majorité de Français avec le passe sanitaire ou les attestations de déplacement. Au-delà de la majorité, l'adhésion doit veiller à l'inclusion possible de tous les utilisateurs ciblés, y compris lorsqu'ils sont éloignés du numérique, pour des raisons liées à leur condition ou à leur âge par exemple. Dès sa phase de conception, le service proposé doit offrir un parcours n'obligeant pas l'utilisateur final à recourir à une application ou à un terminal numérique, afin de ne pas exclure les personnes les plus éloignées des usages numériques quelles qu'en soient les raisons. Comme pour beaucoup d'enjeux de santé publique, les dimensions sociales liées à l'adhésion des publics visés et à l'existence d'inégalités vis-à-vis des services proposés constituent des conditions indispensables au déploiement de solutions pertinentes, en situation de crise et au-delà.

Épidémiologie basée sur les eaux usées : actualité et futur d'une méthode épidémiologique alternative, pour détecter et suivre les épidémies

Par Vincent MARÉCHAL

Professeur de virologie (Sorbonne Université), co-fondateur de COVID-IA
et directeur du Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) OBEPINE

Mickaël BONI

Vétérinaire en chef, Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA),
direction scientifique et technique, co-fondateur du GIS OBEPINE

Yvon MADAY

Professeur de mathématiques (Sorbonne Université),
co-fondateur de COVID-IA et du GIS OBEPINE

Nicolas CLUZEL

Ingénieur de recherche en apprentissage statistique
à la Maison des Modélisations Ingénieries et Technologies (Sorbonne Université)

Et le Groupement d'intérêt scientifique (GIS) OBEPINE

Cette signature collective réunit Laurent MOULIN et Sébastien WURTZER
(Eau de Paris), Isabelle BERTRAND et Christophe GANTZER (LCPME UMR 7564,
Université de Lorraine – CNRS), Jean-Marie MOUCHEL (Sorbonne Université),
Soizick LE GUYADER (IFREMER), Nicolas BOUDAUD (Actalia),
Christophe PEYREFITTE et Stéphanie RAFFESTIN (Institut Pasteur de Guyane),
Clémentine WALLET et Olivier ROHR (Université de Strasbourg).

L'épidémiologie basée sur les eaux usées a été utilisée avec succès – et pour la première fois à une échelle mondiale – afin de suivre l'épidémie de Covid-19. L'OBservatoire ÉPIDémiologique daNs les Eaux usées (OBEPINE) réunit des chercheurs issus de différents champs disciplinaires (virologie, hydrologie, mathématiques, microbiologie environnementale), ayant pour objectif commun de promouvoir l'épidémiologie basée sur les eaux usées afin de suivre les infections microbiennes, et notamment virales. Couplée à un modèle mathématique innovant, la stratégie mise en place par OBEPINE a permis de suivre la dynamique de l'épidémie de Covid-19 sur près de 200 stations de traitement des eaux usées – soit près de 40 % de la population française – jusqu'en mai 2022. Le succès de cette démarche ouvre des perspectives majeures pour détecter et suivre les maladies infectieuses émergentes, auxquelles nous serons inévitablement exposés dans un futur proche, en France et ailleurs.

Présentation d'OBEPINE

Le Groupement d'intérêt scientifique (GIS) OBEPINE (OBservatoire ÉPIdémio-
logique daNs les Eaux usées) est un consortium de recherche qui vise à promouvoir
l'analyse des eaux usées pour suivre la circulation d'agents pathogènes (Sars-CoV-2,
grippe, virus des gastro-entérites, autres coronavirus, bactéries multirésistantes,
parasites...), objectif qui s'inscrit dans le domaine en pleine expansion de l'épidé-
miologie des eaux usées. Le suivi de ces agents et la constitution d'aquathèques
(banque d'échantillons d'eaux usées) ont vocation à devenir un outil épidémiolo-
gique innovant au service de la protection des populations, notamment en prévision
de futures crises sanitaires. Le GIS regroupe différents laboratoires rattachés
aux tutelles suivantes : Sorbonne Université, Université de Lorraine, Université
Clermont Auvergne, le CNRS, l'Inserm, l'Ifremer, Eau de Paris et l'IRBA.

LES EAUX USÉES : UNE RESSOURCE POUR MIEUX APPRÉHENDER L'ÉPIDÉMIOLOGIE DES INFECTIONS VIRALES

L'épidémiologie basée sur les eaux usées (*wastewater-based epidemiology* ou WBE) est
une approche alternative aux méthodes d'épidémiologie conventionnelle, qui exploitent
les données de santé individuelles. La WBE se base sur l'analyse des molécules ou
des microorganismes présents dans les effluents qui recueillent les urines et les selles
– dans les égouts ou les stations de traitement des eaux usées (STEU) notamment – afin
d'explorer l'état de santé de la population. Cette stratégie de surveillance peut permettre
d'évaluer la circulation d'agents pathogènes d'origine humaine ou animale, la consomma-
tion de médicaments (dont antibiotiques, analgésiques, pilules contraceptives, etc.) ou de
drogues illicites par exemple (voir la Figure 1 ci-contre).

John Paul et ses collaborateurs sont sans doute les premiers, dès la fin des années 1930,
à avoir perçu l'intérêt de cette stratégie pour suivre les épidémies. À l'occasion d'une
épidémie de poliomyélite frappant la ville de Charleston (Caroline du Sud), ils démontrent
en effet que l'on peut détecter le virus de la poliomyélite dans les eaux des égouts (1). Cette
stratégie est particulièrement séduisante puisqu'elle permet de suivre l'épidémie de façon
globale (*i.e.* sans suivre les cas individuellement). Par ailleurs, le virus de la poliomyélite
étant excrété en majorité par des sujets infectés non symptomatiques, la surveillance des
eaux usées s'impose progressivement comme un outil d'alerte précoce en cas d'épidémie,
et comme un moyen pertinent pour évaluer l'efficacité des campagnes vaccinales (2, 3).
Depuis les années 1980, la WBE a été appliquée à de nombreux autres virus et en parti-
culier aux virus impliqués dans les gastro-entérites saisonnières (rotavirus, norovirus,
astrovirus), aux entérovirus et aux virus des hépatites A et E ; elle s'est développée rapide-
ment avec l'utilisation de techniques de biologie moléculaire comme la PCR quantitative
et le séquençage (4 à 6). Plus récemment, lors de la pandémie de Monkeypox, en 2022, le
génom viral a été détecté dans les eaux usées en France, aux Pays-Bas, aux États-Unis,
en Thaïlande et en Italie. Dans le futur, cette approche pourrait être élargie pour suivre
des infections transmises par les arthropodes (dont dengue, Zika) et certaines infections
respiratoires puisque nombre des virus impliqués sont excrétés dans les urines et / ou les
selles (grippes humaines et aviaires, virus de la bronchiolite, rougeole etc.).

En février 2022, ce sont encore des analyses conduites dans les stations de traitement
des eaux usées de Londres qui ont permis de mettre en évidence la circulation silencieuse
d'un poliovirus potentiellement pathogène dérivé d'une souche vaccinale atténuée (4).

Si l'épidémiologie basée sur les eaux usées a été appliquée à de nombreux pathogènes (virus, bactéries, champignons ou protozoaires) par le passé, c'est sans doute à l'occasion de l'épidémie de Covid-19 que cette approche a définitivement acquis ses lettres de noblesse. Ainsi, plus de 75 % des articles scientifiques portant sur l'épidémiologie des eaux usées appliquée aux virus ont été publiés depuis le début de la crise Covid-19.

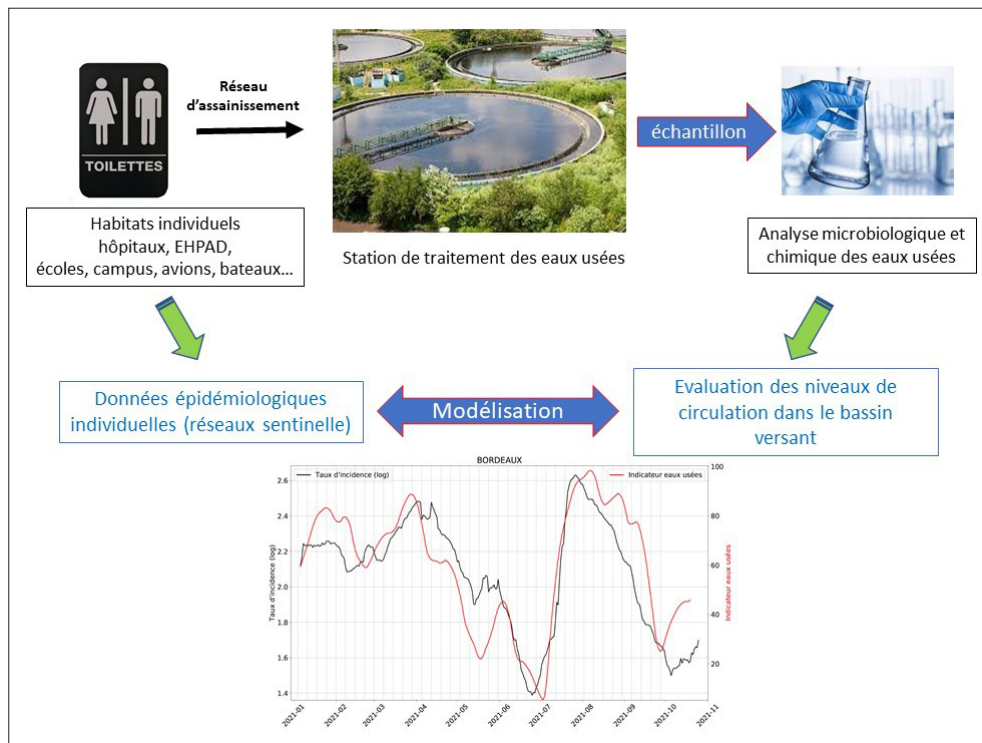


Figure 1. Principe de l'épidémiologie basée sur les eaux usées (WBE)
(Source : OBEPINE).

SUIVI DES EAUX USÉES PAR OBEPINE : DE LA QUESTION À L'INNOVATION, DE L'INNOVATION À LA SURVEILLANCE

Le succès de l'épidémiologie des eaux usées appliquée au suivi de la Covid-19 doit beaucoup aux spécificités de cette infection (5). Bien que les équipes chinoises aient rapidement identifié l'agent étiologique de la Covid-19, les mesures sanitaires prises dès le début de l'épidémie n'ont pas empêché la diffusion rapide du virus, une dynamique telle que l'OMS a déclaré dès le 11 mars 2020 l'état de pandémie. Cette situation contraste singulièrement avec les précédentes émergences liées à des coronavirus hautement pathogènes et, notamment, avec l'épidémie de Sras (syndrome respiratoire aigu sévère) en 2002 (6) une épidémie a touché 29 pays (774 morts) en quelques mois seulement. Si l'épidémie de Sras a été endiguée à l'aide de mesures relativement simples (quarantaine, isolement précoce

des patients ayant des signes cliniques évocateurs), le contrôle de l'épidémie Sars-CoV-2 a sans doute été rendu impossible pour plusieurs raisons :

- la transmission du Sars-CoV-2 est assurée pour une large part par des porteurs peu ou pas symptomatiques impossibles à identifier en absence de tests virologiques spécifiques ;
- les symptômes sont souvent peu spécifiques et peuvent ressembler à ceux d'autres infections respiratoires hivernales (autres coronavirus, grippes, infections à adénovirus, etc.) ;
- la transmission commence plusieurs jours avant la survenue des signes cliniques ;
- les tests massifs (RT-PCR puis tests antigéniques) n'ont été déployés en France qu'à l'été 2020 ; les données épidémiologiques recueillies sont sensibles aux politiques de dépistage et à l'adhésion de la population.

En l'absence d'indicateurs épidémiologiques fiables et / ou suffisamment nombreux, l'évolution de l'épidémie a été évaluée avec des indicateurs assez peu spécifiques jusqu'à l'été 2020 : appels téléphoniques d'urgence, taux d'hospitalisation et entrées en réanimation (confirmation virologique des cas à l'hôpital uniquement). Dès lors, il était impossible d'évaluer l'ampleur de l'épidémie, sa dynamique sur les différents territoires, ni même de dater l'arrivée du virus sur le territoire national.

C'est dans ce contexte particulier que l'Observatoire épidémiologique dans les eaux usées (OBEPINE) a été mis en place. Même si la Covid-19 est principalement une maladie respiratoire, les sujets infectés (malades ou porteurs sains) excrètent des quantités importantes de virus dans leurs selles, souvent sur plusieurs semaines (7, 8). Ces premières

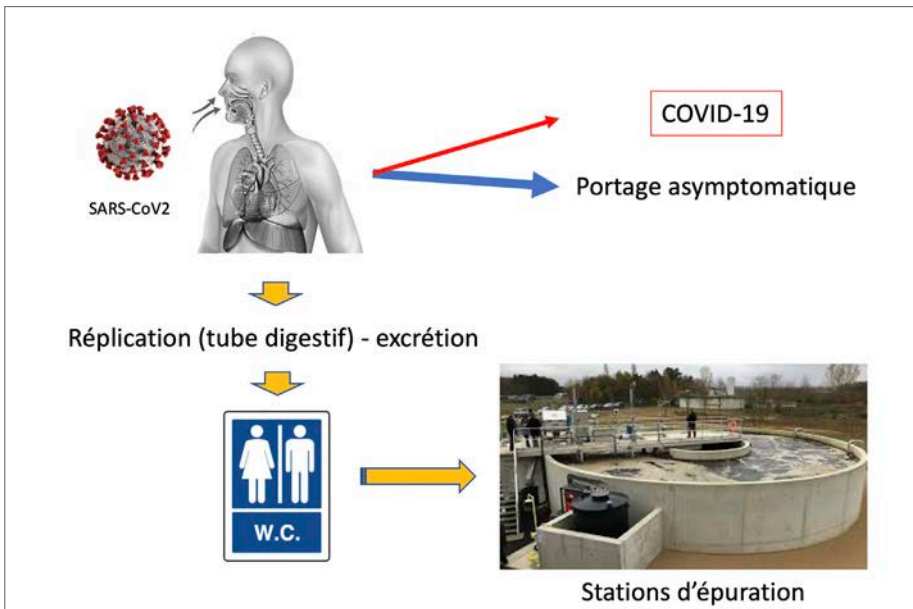


Figure 2. Projet OBEPINE (Source : OBEPINE).

Bien que la Covid-19 soit essentiellement une infection respiratoire, sans signe clinique chez près de la moitié des porteurs, les personnes infectées excrètent des quantités importantes de virus dans leurs selles. Le génome viral peut être quantifié à l'entrée des stations d'épuration par des techniques moléculaires, et fournir ainsi une évaluation de la dynamique virale dans le bassin versant correspondant.

observations ont incité les chercheurs du consortium OBEPINE à supposer (1) que le virus pouvait transiter dans les eaux usées, et (2) que les variations des quantités de virus arrivant dans chaque STEU étaient corrélées à la dynamique de l'épidémie dans le bassin versant correspondant (voir la Figure 2 ci-avant en bas).

Les travaux réalisés aux Pays-Bas ont été les premiers à révéler la présence de Sars-CoV-2 dans les eaux usées très tôt après le début de l'épidémie (9). La simple détection du génome viral ne permettait pas toutefois de préciser l'évolution de l'épidémie, puisqu'elle restait qualitative (présence / absence). Afin de proposer un modèle épidémiologique dynamique, les équipes d'OBEPINE ont élaboré dès mars 2020 des techniques de quantification du génome viral dans les eaux usées. Cette approche innovante permet de démontrer que les quantités de virus arrivant dans les STEU – en Île-de-France et dans le Grand Est – sont significativement influencées par les mesures de confinement mises en place en France entre le 17 mars et le 11 mai 2020 (voir la Figure 3 ci-dessous) (10, 11).

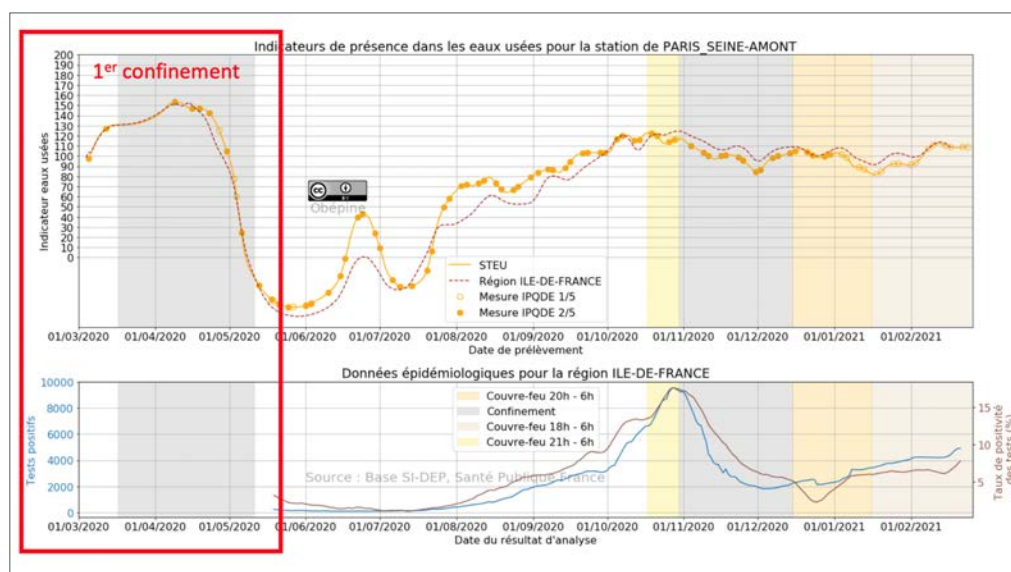


Figure 3. Dynamique de l'épidémie de Covid-19 en Île-de-France (Source : OBEPINE).

La vignette supérieure illustre l'évolution de l'indicateur eaux usées (WWI - logarithmique) mis en place sur plusieurs STEU d'Île-de-France. La vignette inférieure (données Santé publique France) illustre le nombre de tests positifs et le taux de positivité.

Le cadre rouge met en évidence la période du premier confinement.

À notre connaissance, les travaux d'OBEPINE ont été les premiers à démontrer que le suivi dynamique de l'épidémie pouvait être étudié *via* la quantification du Sars-CoV-2 dans les eaux usées. Ces résultats seront relayés par la presse scientifique internationale comme une approche de choix pour suivre l'évolution de l'épidémie de Covid-19 (12).

CONSTRUCTION D'UN DISPOSITIF DE SUIVI NATIONAL

Les premières données publiées par OBEPINE ont motivé le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation à soutenir la recherche dans ce domaine,

et à proposer la construction d'un démonstrateur national de surveillance regroupant 150 STEU, dès juillet 2020 (voir la Figure 4 ci-dessous).

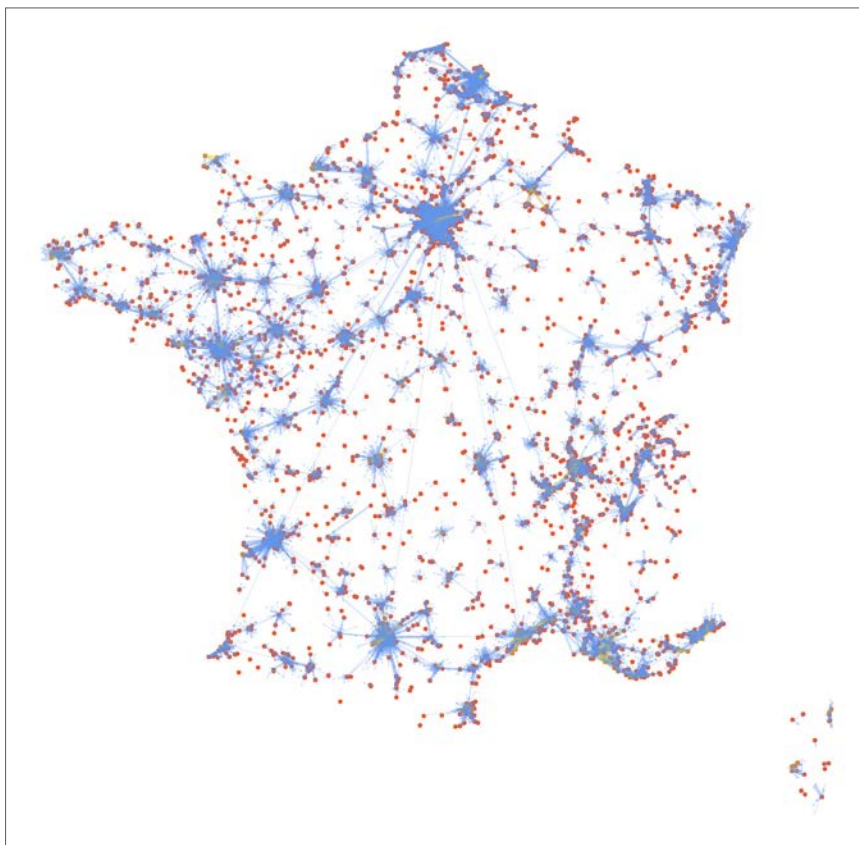


Figure 4. Carte des 150 stations suivies par OBEPINE (Source : OBEPINE).
Les équipes d'OBEPINE ont choisi 150 STEU (sur les 22 000 STEU françaises) sur la base d'un sondage reposant sur une quarantaine de critères économiques, démographiques, touristiques et géographiques.

Des protocoles innovants ont été proposés pour quantifier le génome viral dans les eaux usées à partir de prélèvements réalisés sur 24 heures. Toutefois, les résultats obtenus intègrent encore une certaine variabilité liée à des fluctuations intra- et inter-expérimentales, à la dilution des eaux usées selon les conditions météorologiques notamment, à des incidents dans l'exploitation des réseaux d'assainissement, au type de variant viral ou à la présence de molécules chimiques qui affectent l'efficacité des tests moléculaires.

Afin d'être en mesure de produire des courbes de tendance pour chaque STEU, et de pouvoir comparer ces courbes entre elles, les équipes OBEPINE ont construit un indicateur composite (WWI pour *wastewater indicator*), logarithmique, capable d'intégrer plusieurs informations au fil du temps dont les concentrations de génome dans les échantillons d'eaux usées, mais aussi des mesures chimiques ou physiques ; les valeurs de l'indicateur ont été secondairement filtrées (pour lisser les erreurs intrinsèques de mesure et tenir compte des aberrations) à l'aide d'un lisseur mathématique dédié, afin de produire

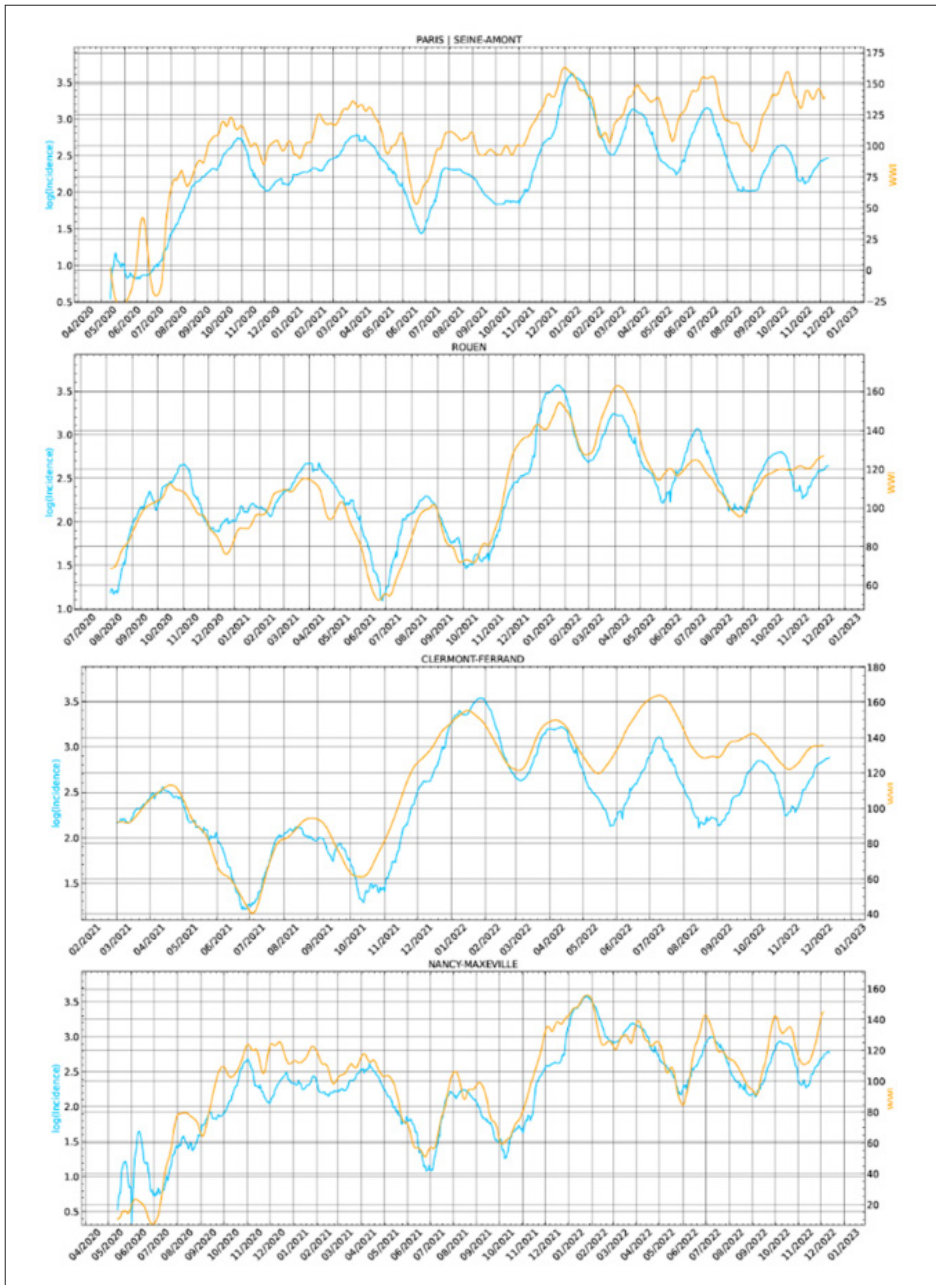


Figure 5. Courbes de tendance de l'indicateur eaux usées (jaune) et du logarithme du taux d'incidence (bleu, données Santé publique France) sur quatre villes de France (Source : OBEPINE).

des courbes de tendance (voir la Figure 5 ci-dessus). Ce lisseur introduit un processus auto-régressif dont le modèle s'inspire de modèles de dynamique d'épidémie, mais est indépendant des autres indicateurs existants (taux d'incidence, d'hospitalisation...). Ce n'est pas encore un « jumeau numérique » du nombre de personnes infectées, mais ce modèle sera optimisé afin de le devenir dans le futur (13, 14).

Le réseau de surveillance OBEPINE a été initialement déployé sur 150 STEU en France métropolitaine et outre-mer. À l'arrêt du dispositif de suivi, en avril 2022, OBEPINE suivait 200 STEU, soit près de 40 % de la population française. Les données produites ont été communiquées aux collectivités qui ont rejoint le dispositif, ainsi qu'aux autorités sanitaires ; elles ont également été mises à disposition de la presse et du grand public sur un site Internet dédié dès janvier 2021. Un dispositif institutionnel – Sum'Eau¹ (Anses - Santé publique France) – a été proposé fin 2021 afin de reprendre les missions de surveillance assurées par OBEPINE. Les données ne sont pas rendues publiques à ce jour.

Il serait erroné de conclure que cette approche a recueilli le soutien sans faille du monde de la santé en général, et du domaine de l'épidémiologie en particulier. L'épidémiologie basée sur les eaux usées n'est pas une discipline nouvelle, comme nous l'avons rappelé en introduction, mais la littérature était de toute évidence peu connue de certains professionnels de santé formés à une épidémiologie « individu-centrée », plus conventionnelle.

La preuve de concept la plus attendue était sans aucun doute la capacité de l'indicateur WWI à accompagner – voire anticiper – les tendances épidémiologiques observées *via* les indicateurs populationnels (taux d'hospitalisation, taux d'incidence, etc.). Comme l'illustre la Figure 5 (page précédente), le WWI montre une excellente corrélation avec les données d'incidence locales. Il est intéressant de noter que la vaccination contre la Covid-19 n'a pas supprimé le signal dans les eaux usées, même si elle a efficacement découplé la circulation du virus – toujours importante fin 2022 – et son impact sur le système de soins. Selon les territoires, les changements de tendance de l'épidémie ont pu parfois être anticipés avec plus de 7 jours d'avance, à la baisse comme à la hausse. L'intégration des données générées depuis l'origine du dispositif (environ 25 000 mesures) a permis de montrer que le virus peut être détecté dans les STEU dès que l'incidence dépasse 6 cas détectés/100 000 hab., ce qui est compatible avec les données publiées dans d'autres pays.

Le développement des outils de génomique dans les eaux usées a plus récemment permis de préciser non seulement la dynamique de l'épidémie de Covid-19, mais également de préciser la nature et les proportions relatives des variants en circulation. Si les approches les plus couramment utilisées s'appuient sur la connaissance des variants déjà connus, il est aujourd'hui possible de détecter des variants dans les eaux usées avant qu'ils n'émergent dans la population, une stratégie récemment validée par des chercheurs américains (15).

CONCLUSIONS

L'utilisation par les pouvoirs publics des données épidémiologiques issues des eaux usées reste marginale en France, souvent en raison d'une intégration insuffisante de cette démarche en santé publique, même si l'Union européenne a financé et encouragé cette initiative dès mars 2021². D'une part, les praticiens de la santé publique ont dû évaluer un nouveau flux de données distinct des mesures traditionnelles de la maladie, comme le suivi des hospitalisations ou les taux de positivité des tests individuels de diagnostic clinique. D'autre part, les chercheurs n'ont pas toujours l'expérience du processus de prise de décision au sein des systèmes de santé publique. Les chercheurs spécialisés dans la production et l'interprétation de données environnementales et les praticiens de santé publique spécialisés dans l'intervention en cas d'épidémie ont abordé la surveillance des eaux usées avec des corpus de connaissances distincts et des priorités différentes (par exemple, l'amélioration des outils scientifiques, d'une part, et la mise en œuvre de mesures

¹ <https://solidarites-sante.gouv.fr/archives/archives-presse/archives-communiqués-de-presse/article/le-ministere-des-solidarites-et-de-la-sante-et-le-ministere-de-la-transition>

² <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32021H0472>

de santé publique avec son lot de contraintes réglementaires, d'autre part). Un système de surveillance des eaux usées orientant les actions de santé publique nécessite une base scientifique solide, et une collaboration continue entre les chercheurs issus du monde académique et les professionnels de la santé (en particulier les ARS), ce qu'a toujours recherché le réseau OBEPINE afin de faire progresser les nouvelles connaissances dans le domaine³.

Des questions essentielles demeurent. Elles requièrent des développements complémentaires aux travaux déjà réalisés par OBEPINE et par d'autres équipes dans le monde (États-Unis, Australie, Suisse, Canada pour n'en citer que quelques-unes⁴) : sensibilité du WWI selon l'incidence de la maladie, effet des individus vaccinés ou asymptomatiques, modalités d'excrétion selon les variants, précocité et prédictivité de l'indicateur eaux usées, identifications précoce des variants cryptiques, intérêt de la surveillance ciblée sur sites particuliers (aéroports, avions, navires (16), campus universitaires, hôpitaux, élevages d'animaux, écoles vétérinaires...), fréquence et sites d'échantillonnage, identification des sources de contamination en remontant les réseaux d'eaux usées, surveillance dans les territoires sans réseau d'eaux usées ou dans les pays à faibles revenus, réalisation d'analyses à haut débit et de façon automatisée, intérêt de nouveaux indicateurs d'alerte composite à partir des eaux usées (résidus médicamenteux et agents pathogènes) (14, 17 à 20).

En dehors du développement des méthodes d'analyse, l'élaboration d'outils de modélisation et d'analyse des données pour la surveillance des eaux usées est fondamentale, voire critique. Les premiers efforts dans le monde pendant la pandémie de Covid-19 se sont appuyés sur des liens relativement simples entre les concentrations d'ARN du Sars-CoV-2 et les cas de Covid-19 ou les hospitalisations dans une communauté. Les efforts de recherche initiés par OBEPINE dès mars 2020 se poursuivent, afin d'améliorer et de développer des techniques numériques pertinentes pour la surveillance du Sars-CoV-2 ou d'autres agents pathogènes, notamment des techniques de modélisation prédictive et d'intégration des données sur les eaux usées dans les systèmes de surveillance. La construction de banques d'échantillons d'eaux usées est également primordiale. Ces projets sont essentiels pour mieux protéger nos sociétés et anticiper les futurs risques infectieux émergents.

BIBLIOGRAPHIE

(1) PAUL J. R., TRASK J. D. & CULOTTA C. S. (1939), "Poliomyelitic virus in sewage", *Science*, DOI: 10.1126/science.90.2333.258.

(2) MIYAMURA K., YAMASHITA K., YAMADERA S., KATO N., AKATSUKA M., HARA M. *et al.* (1992), "Poliovirus surveillance: Isolation of polioviruses in Japan, 1980-1991. A report of the National Epidemiological Surveillance of Infectious Agents in Japan", *Jpn J Med Sci Biol.*, 1992;45(4):203-14.

³ <https://doi.org/10.1289/EHP11519>

⁴ Europe : EU Sewage Sentinel System for Sars-CoV-2 Europe, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/events/eu4s-town-hall-meeting-2021-07-07_en

États-Unis : US National Wastewater Surveillance System (NWSS), <https://www.cdc.gov/healthywater/surveillance/wastewater-surveillance/wastewater-surveillance.html> ; voir aussi <https://waste.waterscan.org>

Australie : NSW Sewage Surveillance Program, <https://www.health.nsw.gov.au/Infectious/covid-19/Pages/sewage-surveillance.aspx>

Suisse : <https://www.rts.ch/info/suisse/13631968-le-programme-de-surveillance-du-covid-via-les-eaux-usees-coupe-de-moitie.htm>

Canada : Covid-19 wastewater coalition, <https://cwn-rce.ca/covid-19-wastewater-coalition/>

Monde : <https://sphere.waterpathogens.org/>

- (3) PELLEGRINELLI L., BUBBA L., PRIMACHE V., PARIANI E., BATTISTONE A., DELOGU R. *et al.* (2017), “Surveillance of poliomyelitis in Northern Italy: Results of acute flaccid paralysis surveillance and environmental surveillance, 2012-2015”, *Hum Vaccin Immunother*, 2017;13(2):332-8.
- (4) KLAPSA D., WILTON T., ZEALAND A., BUJAKI E., SAXENTOFF E., TROMAN C. *et al.* (2022), “Sustained detection of type 2 poliovirus in London sewage between February and July, 2022, by enhanced environmental surveillance”, *Lancet*, 2022;400(10362):1531-8.
- (5) MARÉCHAL V., MOULIN L., MADAY Y., BONI M. *et al.* (2021), « OBEPINE : une expérience française de suivi de l'épidémie de Covid-19 à travers les eaux usées », *Bull Acad Vét France*, 174.
- (6) DROSTEN C., PREISER W., GUNTHER S., SCHMITZ H. & DOERR H. W. (2003), “Severe acute respiratory syndrome: Identification of the etiological agent”, *Trends Mol Med*, 2003;9(8):325-7.
- (7) WOLFEL R., CORMAN V. M., GUGGEMOS W., SEILMAIER M., ZANGE S., MULLER M. A. *et al.* (2020), “Virological assessment of hospitalized patients with COVID-2019”, *Nature*, 2020;581(7809):465-9.
- (8) WU F., ZHANG J., XIAO A., GU X., LEE W.L., ARMAS F. *et al.* (2020), “Sars-CoV-2 titers in wastewater are higher than expected from clinically confirmed cases”, *mSystems*, 2020;5(4).
- (9) MEDEMA G., HEIJNEN L., ELSINGA G., ITALIAANDER R. & BROUWER A. (2020), “Presence of Sars-Coronavirus-2 RNA in sewage and correlation with reported Covid-19 prevalence in the early stage of the epidemic in The Netherlands”, *Environmental Science & Technology Letters*, 2020;7(7):511-6.
- (10) WURTZER S., MARECHAL V., MOUCHEL J. M., MADAY Y., TEYSSOU R., RICHARD E. *et al.* (2020), “Evaluation of lockdown effect on Sars-CoV-2 dynamics through viral genome quantification in waste water, Greater Paris, France, 5 March to 23 April 2020”, *Euro Surveill*, 2020;25(50).
- (11) BERTRAND I., CHALLANT J., JEULIN H., HARTARD C., MATHIEU L., LOPEZ S. *et al.* (2021), “Epidemiological surveillance of Sars-CoV-2 by genome quantification in wastewater applied to a city in the northeast of France: Comparison of ultrafiltration- and protein precipitation-based methods”, *Int J Hyg Environ Health*, 2021;233:113692.
- (12) LESTÉ-LASSERRE C. (2020), “Coronavirus found in Paris sewage points to early warning system”, *Science*, April.
- (13) COURBARIAUX M., CLUZEL N., WANG S.Y., MARECHAL V., MOULIN L., WURTZER S. *et al.* (2022), “A flexible smoother adapted to censored data with outliers and its application to Sars-CoV-2 monitoring in wastewater. *Frontiers in applied mathematics and statistics*”, 2022;8.
- (14) CLUZEL N., COURBARIAUX M., WANG S.Y., MOULIN L., WURTZER S., BERTRAND I. *et al.* (2022), “A nationwide indicator to smooth and normalize heterogeneous Sars-CoV-2 RNA data in wastewater”, *Environment International*, 2022;158.
- (15) KARTHIKEYAN S., LEVY J.I., DE HOFF P., HUMPHREY G., BIRMINGHAM A., JEPSEN K. *et al.* (2022), “Wastewater sequencing reveals early cryptic Sars-CoV-2 variant transmission”, *Nature*.
- (16) BONI M., GORGÉ O., MULLOT J.U., WURTZER S., MOULIN L., MADAY Y. *et al.* (2022), « L'Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA) et l'épidémiologie des eaux usées : intérêt pour les forces armées », *Bulletin de l'Académie nationale de Médecine*, 2022;206(8):1011-21.

- (17) WURTZER S., WALDMAN P., LEVERT M., CLUZEL N., ALMAYRAC J. L., CHARPENTIER C. *et al.* (2022), “Sars-CoV-2 genome quantification in wastewaters at regional and city scale allows precise monitoring of the whole outbreaks dynamics and variants spreading in the population”, *Science of the Total Environment*, 2022;810.
- (18) WURTZER S., WALDMAN P., FERRIER-REMBERT A., FRENOIS-VEYRAT G., MOUCHEL J. M., BONI M. *et al.* (2021), “Several forms of Sars-CoV-2 RNA can be detected in wastewaters: Implication for wastewater-based epidemiology and risk assessment”, *Water Research*, 2021;198.
- (19) WURTZER S., LEVERT M., DHENAIN E., BONI M., TOURNIER J. N., LONDINSKY N. *et al.* (2022), “First detection of Monkeypox virus genome in sewersheds in France”, *medRxiv*, 2022:2022.08.18.22278938.
- (20) WURTZER S., LEVERT M., DHENAIN E., ACCROMBESSI H., MANCO S., FAGOUR N. *et al.* (2022), “From Alpha to Omicron BA.2: New digital RT-PCR approach and challenges for Sars-CoV-2 VOC monitoring and normalization of variant dynamics in wastewater”, *Sci Total Environ*, 2022:157740.

ENJEUX NUMÉRIQUES

Au-delà des enjeux, quels avenir ?

Introduction : *Enjeux numériques*, 20^e !

Au-delà des enjeux, quels avenir ?

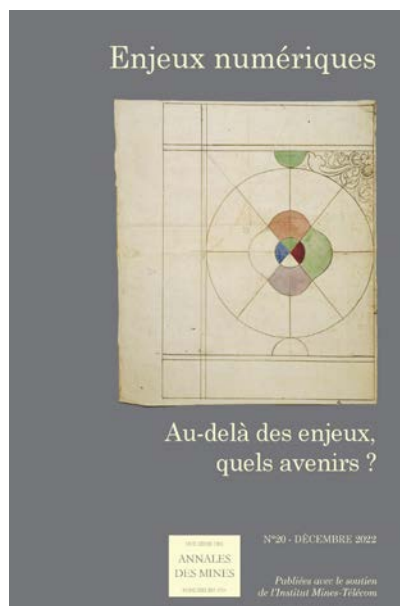
Jean-Pierre DARDAYROL

Satisfaire les besoins humains et vivre ensemble

L'agriculture numérique : les nouvelles technologies numériques

peuvent-elles accélérer la transformation profonde des systèmes alimentaires ?

Dr Véronique BELLON-MAUREL et Dr Isabelle PIOT-LEPETIT



n° 20 - Décembre 2022

Le numérique et la refondation du secteur électrique

Ivan FAUCHEUX

Gestion numérique de la crise sanitaire : quelques enseignements

Maurice RONAI

Sociétés en transition : quelles mutations attendre du numérique ?

Alexandre TISSERANT

La confiance à l'ère numérique commence par les mots

Côme BERBAIN

Marchés et métiers du droit aux défis du numérique

Bruno DEFFAINS

Le grand retour de la souveraineté : circuits courts ou circuits fermés ?

Pierre BONIS

Développer et conduire le numérique

Les fréquences, gestion d'une ressource-clé

François RANCY

Les objets : de la communication à l'intelligence

Anne-Lise THOUROUDE

Perspectives de la cybercriminalité des dix à vingt prochaines années

Éric FREYSSINET

Intelligences humaines et artificielles : collaboration, confrontation ou substitution ?

Arnaud de LA FORTELLE

Internet et ses usages : entre sagesse et frénésie

Michel SCHMITT

Sur quelques analogies invoquées dans les débats sur la régulation des dispositifs de modération des contenus sur les réseaux sociaux aux États-Unis

Jean-Yves OLLIER

Trente ans après le don du web gratuit et ouvert par le CERN, comment réinventer un Internet qui émancipe ?

Bertrand PAILHÈS

Interview with Maarten BOTTERMAN, former Board Chair of ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers)

Alexia KAPPELMANN & the Board of *Enjeux numériques*

Ce numéro a été coordonné par Jean-Pierre DARDAYROL

Ce numéro peut être consulté et téléchargé gratuitement sur notre site
<http://www.annales.org>

Data and models: Technopolitics of the health crisis

15 **StopCovid or not?** Aymeril Hoang.

The purpose here is to try to lay out the facts about the digital response to contact tracing issues during the Covid-19 crisis, and to take a critical look at it with the intention of perhaps informing current decision-makers about what could be attempted preventively, should a new outbreak with Covid-19-like characteristics occur. None of the protocols or tools deployed on a large scale, whether it be StopCovid, which did not work, paper notebooks at the entrance of shops, or even the large-scale system put in place by the Assurance Maladie (French Medicare), if they were not useless, seem to have had a decisive effect on stopping the chains of contamination. This paper calls for experimentation and action research on protocols that could work, in terms of user pathways, with citizens.

20 **“The cooperation reflexes developed during the crisis must be transformed into routine interaction processes”** **Interview with Jérôme FILIPPINI** Maurice Ronai & Aymeril Hoang.

Presentation of Jérôme FILIPPINI

A former student of the École Normale Supérieure, Sciences Po and ENA, Jérôme Filippini was Director of Information Systems at the Ministry of the Interior, then the first Director of State Information Systems (now Dinum), Secretary General for the Modernization of Public Action (SGMAP) to the Prime Minister, Secretary General of the Court of Auditors, and then Prefect in the Lot from 2017 to 2020, then in the Eure from 2020 to 2022, and in Reunion Island since August 2022.

23 **Technopolitics of a health crisis** **United States, Germany, Japan,** **United Kingdom** Maurice Ronai.

The pandemic revealed the unpreparedness of health systems and the limitations of “digital transformation” in government. In the United States, a parliamentary inquiry concluded in December 2022 that “the nation’s response to the coronavirus crisis was weakened by a fractured and outdated public health data infrastructure.” In Japan, the persistence of the fax machine and low adoption of the MyNumber card are crystallizing a debate about Japan’s “digital defeat.” In Germany, the public health system has struggled throughout the crisis with a stack of software and information systems. The “*fax Republik*” and a software program, Sormas, have become symbols of the “German digital backwardness” (*digitaler Ruckstand*). In the United Kingdom, the public digital system and the epidemiological surveillance system, which were caught out during the first months of the crisis, demonstrated unprecedented capacities for reactivity and innovation.

36 Building a dynamic, multisource surveillance for an emerging infections disease: The French experience with Covid-19

Julie Figoni for Santé publique France.

All countries in the world, confronted with the new emerging threat, Covid-19, have faced numerous challenges on the health, economic, societal, or political level. One of them was the fast structuration and implementation of a surveillance system that had to be multisource, responsive, and flexible over time to be able to provide relevant epidemiological markers for decision makers and outbreak management. This article describes how in France, the national public health agency in collaboration with all its partners has built such a system to monitor the trends of Covid-19 from January 2020 and its course throughout the pandemic. The rapid progress of knowledge on Sars-CoV-2, particularly on its transmission, its clinical presentation, the most affected populations, and its numerous risk factors for severity, hospitalization, or death has made it an even greater challenge requiring a constant evolution of the surveillance methods and tools, and of the preventive measures to avoid the rapid spread of the virus.

51 Participatory epidemiology: When the public participates in the surveillance and understanding of Covid-19

Sophie Pène & Maurice Ronai.

From March-April 2020, faced with the limitations of the data collected by emergency services and hospitals, the idea of relying on the public to complete the knowledge of the epidemic became commonplace. In a few weeks, a flourishing of online questionnaires and surveys was created to identify symptoms and enrich the clinical picture, count cases, map the spread, and understand the transmission mechanisms. These surveys and calls for contributions have been initiated by public health agencies, statistical offices, hospitals, universities and research centers, NGOs, companies and digital health start-ups, often in partnership. While the voluntary contribution of the public is the common factor in all these schemes, there is great diversity in the methods of recruitment. Some panels are random, based on calls for participation *via* social networks, with press coverage. Others mobilize polling institutes or pre-existing cohorts made up of specific populations (age, chronic patients at risk).

60 The making of the follow-up of the Covid-19 crisis at *Le Monde*

Les Décodeurs du *Monde*.

In a few weeks, an “atypical pneumonia” that appeared in China became a global pandemic, disrupting our lives. How can we account for the scope, effects and spread of this disease that was to become Covid-19? Since the beginning of the pandemic, *Le Monde*’s Les Décodeurs service has tried to follow the extent of this global public health emergency on a daily basis.

To tell the story of how we have tried to report on the extent of the health emergency since the first cases – identified in an *ad hoc* manner – is to tell a story of the epidemic and of the unpreparedness of health agencies in terms of open data. In fact, the latter were of capital interest to our readers, since it is on the basis of various indicators – contaminations, R0, hospitalizations, deaths, etc. – that health policies were decided that would have a major impact on our lives.

69 How to popularize Covid data?

Nicolas Berrod.

Since the beginning of the Covid-19 pandemic, in early 2020, data have been essential to follow the evolution of the epidemic and to try to anticipate what will happen next. Incidence rate, number of hospitalized patients, share of each Sars-CoV-2 variant among new positive cases, vaccination coverage... These indicators are provided on a daily, weekly, or monthly basis by several official organizations. As journalists, our mission is to use and popularize them in our articles and comments published on social networks. And when we work at *Le Parisien*, a newspaper for a very large audience, we also have to make this data accessible to everyone. Here is how we did it.

77 Mathematical modeling of the Covid-19 epidemic in France, and international comparison

Samuel Alizon & Mircea T. Sofonea.

The Sars-CoV-2 pandemic has brought to the forefront a scientific discipline that was previously discreet: Mathematical modeling of infectious diseases. A divinatory practice for some, a trivial application for others: It is above all little known in France. After explaining the foundations of this field and the different approaches to modeling, we return to the role of mathematical modeling during the epidemic in France. In order to highlight the variations of this role, we compare the different periods with marked policies implemented in other countries. In conclusion, we suggest ways of using epidemiological modelling in public decision-making.

86 Institutionalization of models during the Covid-19 crisis

Mathieu Corteel.

The Covid-19 crisis brought models to the political forefront. How did this shift occur? What were the organizational dynamics that carried it forward? How did models shape health strategies during the Covid-19 crisis? To answer these questions, this article analyzes the process of institutionalization of the models, *i.e.* the emergence of a cognitive and operational framework that was built around them. It thus defends the thesis of an intermittent institutionalization of models, leading the government to mobilize models from both public scientific organizations and private consulting firms. From then on, this study allows us to consider a new form of institutional entrepreneurship characterizing the government's thinking and action during the crisis.

91 Modelers of the Covid-19 epidemic

Fabrizio Li Vigni.

The emergence of “computational epidemiology” in the early 2000s has renewed the activity of modeling infectious diseases using numerical tools. During the Covid-19 crisis, the governments of some countries made their decisions based on the modeling of these researchers from the natural and engineering sciences. However, they were not the only modelers who were called upon by the authorities to anticipate the spread of the disease, and to autonomously engage in pedagogic activities to explain its causes to the general public. Outsiders – from the natural and social sciences – contributed to the research on Covid-19 even though they had never been involved in epidemics before. This article looks at these communities and why they have made themselves available in the last health crisis.

97 Lessons learned from the contact tracing activities carried out by the Assurance Maladie (French Medicare)

Jean-Baptiste Calcoen.

In record time, the Assurance Maladie implemented a national contact-tracing system dedicated to Covid-19. In each department, a contact-tracing platform made outgoing calls to positive cases and identified contact cases. These platforms operated 7 days a week from May 12, 2020 to June 2022, and handled 30 million positive cases and 23 million contact cases.

Despite the dramatic increase in cases, the Assurance Maladie was able to contact more than 90% of cases and contacts within a quick 24-hour timeframe. In order to cope with the magnitude of the epidemic, the Assurance Maladie has continuously adapted the contact-tracing system, progressively dematerializing it, and then fully dematerializing it as of July 2022.

While the effectiveness of the contact-tracing system has been proven in terms of the overall dynamics of the epidemic, the level of hospitalizations and the detection of contact cases, it is very complicated at this stage to determine whether or not cases have complied with isolation and whether or not the census of contact cases has been exhaustive.

This unique experience for the Assurance Maladie, and for the other actors of the health world, requires a complete feedback that will allow to define the role that the Assurance Maladie can play in the management of future health crises.

106 Interview with Professor Renaud Piarroux (Head of department at the Pitié Salpêtrière Hospital, specialist in epidemics, member of the Pierre Louis Institute of Epidemiology and Public Health attached to INSERM) on the COVISAN project

Maurice Ronai & Aymeril Hoang.

An epidemic is a population in a territory. The response is territorial. In the fight against epidemics, we try to find out in a very simple way where and when cases have occurred, with a geographical unit that allows us to organize the response.

The COVISAN project, deployed in April 2020, in the Paris region, was directly inspired by the experience of eliminating cholera in Haiti in the 2010s. To break the transmission chains, mobile teams offered systematic screening to patients potentially infected with Sars-CoV-2 as well as to their relatives, and accompanied them in their confinement. In total, more than 100,000 people will have been tested and accompanied by the COVISAN system. In the face of future epidemics, we must ask ourselves which organizations and leaders are capable of organizing a response that is both territorial and community-based.

112 BreakingTheChain.org: Dematerializing contact-case research for efficiency at scale

Florian Gauthier.

A number of citizen initiatives have emerged during the health crisis, whether to visualize data (CovidTracker, Coronaboard.fr, Covinfo.fr or Vaccinator.fr) or to facilitate access to vaccination (Covidliste, ViteMaDose). BreakTheChain.org is one of them.

- 120 Dr. Spreadsheet & Mr. Excel**
Tools for flexible data-structuring
in the health crisis
 Godefroy Beauvallet & Maurice Ronai.

A real digital “broom wagon”, Excel was used in a wide variety of ways during the health crisis, allowing the collection and progressive structuring of data, facilitating their transfer and exchange, and facilitating the modeling and exploration of the dynamics of the crisis. Spreadsheets and other flexible data-structuring tools proved to be usable where previous structured or *ad hoc* information systems could no longer manage the complexity of situations, the fluidity of events, and the variety of subjects. This review of the uses of Excel during the crisis traces the stages of the informational arrest of Covid: From the initial overflow of the official data processing systems to the regaining of control of the local interpretative autonomy zones once the ordeal was over.

- 128 Seeing the important things clearly**
Zeynep Tufekci, a sociologist in action
 Hervé Le Crosnier.

During the first phase of the pandemic, the scientific discourse was mainly occupied by physicians and epidemiologists. However, as early as January 2020, it was a sociologist in the United States who anticipated most of the inflections concerning the behaviors necessary to face the disease, and acceptable by society. Zeynep Tufekci, with her multidisciplinary approach and her fluid, accessible yet sharp and relevant writing skills, has been able to propose appropriate solutions in numerous forums and on Twitter. So much so that she was featured in a long article in the *New York Times* characterizing her as the sociologist who could see the important things clearly.

- 134 Personal data protection in the face**
of the health crisis
 Valérie Peugeot.

The Covid-19 pandemic tested the capacity of personal data law to deal with an unprecedented health emergency. The experience showed on the one hand the robustness and flexibility of these texts, and on the other hand the responsiveness of the institution in charge of ensuring their application. In extremely short timeframes, the government was able to be closely accompanied by the CNIL (National Commission for Information Technology and Civil Liberties) in the implementation of unprecedented measures, ensuring that the derogations granted were minimal, transitional and controlled, while researchers obtained authorisations to process health data in record time.

- 139 How the Scientific Council addressed**
the issue of digital tools
 Daniel Benamouzig & Aymeril Hoang.

From the very beginning of the epidemic, the digital health sector has been the object of striking innovations, without their place having been anticipated or imagined in an epidemic context. While these innovations have posed real challenges, they have also raised numerous difficulties, never purely technical in the case of health uses. By looking back at the experience of the Covid-19 Scientific Council, of which the authors were members between spring 2020 and July 2022, this article describes how this committee of experts, created to advise the highest authorities of the State, took part in the reflections on the place of digital technology in the fight

against the epidemic. It looks back at some of the key episodes and the gradual implementation of a collective vigilance approach, before evoking key dimensions that go beyond the framework of the epidemic.

**145 Wastewater-based epidemiology:
Current status and future of an alternative
epidemiological method for detecting
and monitoring epidemics**

Vincent Maréchal *et al.*

Wastewater-based epidemiology has been successfully used – and for the first time on a global scale – to monitor the Covid-19 epidemic. The OBservatoire ÉPIDémiologique daNs les Eaux usées (OBEPINE) brings together researchers from different disciplinary fields (virology, hydrology, mathematics, environmental microbiology) with the common objective of developing and validating wastewater-based epidemiology to monitor microbial, and particularly viral, infections. Coupled with an innovative mathematical model, the strategy implemented by OBEPINE has made it possible to monitor the dynamics of the Covid-19 epidemic in nearly 200 wastewater treatment plants – *i.e.* nearly 40% of the French population – until April 2022. The success of this approach opens up major prospects for detecting and monitoring emerging infectious diseases to which we will inevitably be exposed in the near future, in France and elsewhere.

Ont contribué à ce numéro

Samuel ALIZON est modélisateur en biologie et un des experts mondiaux de l'évolution de la virulence des maladies infectieuses. Directeur de recherche au CNRS, il dirige l'équipe Écologie et Évolution de la santé au Centre de recherche interdisciplinaires en biologie (CIRB) du Collège de France à Paris. Il est éditeur pour plusieurs revues internationales, auteur de nombreux articles scientifiques dans des revues prestigieuses et d'un livre Évolution, écologie et pandémies paru au Seuil/Points en 2020.

Ses travaux de thèse, sous la direction de Minus van Baalen de 2003 à 2006 au Laboratoire d'écologie de l'Université Pierre et Marie Curie, portaient sur la question : « Pourquoi les parasites nuisent-ils à leurs hôtes ? ». De 2006 à 2008, il est Professeur adjoint au département de mathématiques à l'Université de Queen's (Ontario, Canada) où il enseigne la théorie de jeux. Il est ensuite ETH Fellow dans l'équipe de Biologie théorique à Zürich (Suisse), où il travaille sur l'évolution du virus de l'immunodéficience humaine (VIH). En 2010, il est recruté comme chargé de recherche par le CNRS à Montpellier.

En 2012, il obtient un financement ATIP-Avenir du CNRS et de l'INSERM et crée son équipe pour analyser l'épidémiologie et l'évolution des maladies infectieuses humaines. En 2015, il obtient un prestigieux financement du Conseil européen de la recherche (ERC), et implémente l'étude clinique PAPCLEAR avec le Centre hospitalier universitaire de Montpellier sur les infections à papillomavirus humains (HPV) chez les jeunes femmes.

Début mars 2020, son équipe décide de modéliser l'épidémie du Sars-CoV-2 dans une optique de diffusion des savoirs, avec des rapports en français, fournissant, par exemple, la première estimation du nombre de reproduction de l'épidémie en France (<https://covid-ete.ouvaton.org/>). S'ensuivront des travaux publiés dans des journaux de référence, mais aussi le développement d'applications permettant au grand public de suivre et mieux comprendre l'épidémie.

→ *Modélisation mathématique de l'épidémie de Covid-19 en France, et comparaison internationale*

Godefroy BEAUVALLET est Professeur invité à Télécom Paris. Il est chef de service du Conseil général de l'Économie (CGE), président de l'AFNIC et membre du conseil d'administration de l'INA. Il a notamment été directeur du cabinet de Christophe Sirugue, secrétaire d'État chargé de l'Industrie, et directeur adjoint du cabinet de Michel Sapin, alors ministre de l'Économie et des Finances, après avoir été directeur de la Stratégie et des Affaires financières de l'Institut Télécom, directeur du Fonds AXA pour la recherche, et enseignant-chercheur en gestion. Il est le cofondateur de l'Institut Lean France.

Il a écrit plusieurs livres et divers articles scientifiques, notamment sur l'efficacité opérationnelle dans les environnements fortement numérisés et sur le numérique dans l'administration et dans la vie politique, et il a été vice-président du Conseil national du Numérique de 2013 à 2016. Ingénieur général des mines, il est diplômé de l'École polytechnique et de Télécom Paris.

→ *Dr Tableur & Mr. Excel - Les outils de structuration souple des données dans la crise sanitaire*

Daniel BENAMOUZIG est sociologue, directeur de recherche au CNRS au Centre de sociologie des organisations. Il est titulaire de la Chaire Santé de Sciences Po, et président du conseil scientifique de l'École des Hautes Études en Santé Publique. Il est membre du Conseil national de l'Alimentation, et a été membre de nombreuses instances dans le champ de la santé publique. De 2020 à 2022, il a notamment été membre du Conseil scientifique Covid-19. Ses travaux portent sur les institutions et sur la régulation du secteur de la santé. Daniel Benamouzig porte en particulier intérêt aux acteurs et aux raisonnements économiques. Il est l'auteur de nombreux articles scientifiques et de

plusieurs ouvrages, parmi lesquels, avec Joan Cortinas-Munos, *Des Lobbys au menu, les entreprises agroalimentaires contre la santé publique*, paru en 2022 (Éditions Raisons d'agir).

→ *Comment le Conseil scientifique s'est saisi de l'enjeu des outils numériques*

Nicolas BERROD est journaliste au *Parisien* depuis près de cinq ans. Il y traite notamment des questions de sciences, de médecine, d'environnement et de politique. De formation scientifique à la base (une année d'études d'ingénieur à la suite de son bac S), il s'est très vite passionné pour l'épidémie de Covid. Son activité professionnelle y a été en très grande majorité consacrée durant les deux premières années de la pandémie, avec notamment l'écriture de nombreux articles basés sur des données et illustrés par des infographies. Dans ce cadre, il a eu de nombreuses occasions d'échanger avec plusieurs instances fournisseuses de données, comme Santé publique France, l'Assurance maladie, ou encore la direction de la Recherche, des Études, de l'Évaluation et des Statistiques (Drees). Par la suite, il a eu l'occasion de s'intéresser à d'autres sujets dans les domaines de la santé, du climat, de l'énergie.

→ *Comment vulgariser les données du Covid ?*

Mickaël BONI a étudié la médecine vétérinaire à Toulouse, et la pathologie tropicale et les maladies infectieuses à Marseille. Spécialisé dans l'hygiène des aliments et de l'eau, il travaille actuellement à l'Institut de recherche biomédicale des armées. Il est expert auprès de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES).

→ *Épidémiologie basée sur les eaux usées : actualité et futur d'une méthode épidémiologique alternative, pour détecter et suivre les épidémies*

Jean-Baptiste CALCOEN est diplômé de l'IEP de Lille en 1996 et intègre l'École Nationale Supérieure de la Sécurité Sociale en 1999. À l'issue de sa formation, il rejoint la branche Assurance maladie et exerce des fonctions de manager stratégique puis d'agent de direction respectivement dans les CPAM de Côte d'Or et d'Ille-et-Vilaine, en charge notamment du pilotage de la relation clients et des services métiers (frais de santé, revenus de remplacement, risques professionnels). Le 1^{er} juillet 2015, il prend la direction de la CPAM de la Mayenne et participe activement à la gestion de la première vague de Covid-19 qui frappe le département en juillet 2020. Le 7 septembre 2020, il rejoint la Caisse nationale d'Assurance maladie pour prendre la direction de la Mission nationale "Contact Tracing", en charge du pilotage et de l'animation des 103 plateformes de *contact-tracing* mises en œuvre en mai 2020. Le 1^{er} juin 2022, il prend la direction de la CPAM d'Ille-et-Vilaine et la direction de la coordination régionale de la gestion du risque.

→ *Enseignements des actions de traçage des contacts réalisées par l'Assurance maladie*

Nicolas CLUZEL est ingénieur de recherche en apprentissage statistique à la Maison des Modélisations Ingénieries et Technologies (Sorbonne Université). Ingénieur diplômé de Télécom Bretagne-IMT Atlantique, il est également titulaire d'un Mastère spécialisé *Big Data - Data Science* de Télécom Paris. Il a travaillé en tant qu'ingénieur pour Thales Alenia Space, Continental Automotive Trading France SAS, NEXIO electromagnetism, Airbus Defence and Space - Intelligence, et l'Institut Carnot SMILES (Sorbonne Université).

→ *Épidémiologie basée sur les eaux usées : actualité et futur d'une méthode épidémiologique alternative, pour détecter et suivre les épidémies*

Mathieu CORTEEL est Arthur Sachs Fellow à Harvard University, Teaching Fellow à Harvard College et chercheur postdoctoral à Sciences Po Paris. Il a récemment publié son premier livre *Le Hasard et le Pathologique* (2020, Presses de Sciences Po) – rédigé à partir

de sa thèse de doctorat de philosophie soutenue à Sorbonne Université. Le livre retrace l'histoire des statistiques et des probabilités en médecine du XVII^e à la fin du XIX^e siècle. Il aborde à la fois des questions historiques, épistémologiques et politiques telles que l'émergence des statistiques dans les politiques de santé et l'impact des probabilités dans la pratique clinique. Dans le prolongement de ses recherches, Mathieu Corteel examine actuellement à Harvard les vastes collections d'archives des médecins américains qui se sont rendus à Paris au début du XIX^e siècle pour apprendre la méthode numérique. Il participe de même aux recherches sociologiques sur la crise de Covid-19 au Laboratoire d'évaluation interdisciplinaire des politiques publiques (LIEPP) et au Centre de sociologie des organisations (CSO) de Sciences Po Paris.

→ ***Institutionnalisation des modèles durant la crise de Covid-19***

Les Décodeurs du Monde existent depuis 2009. Au départ, il s'agissait d'un simple blog qui avait pour vocation d'héberger, de temps à autres, des articles de *fact-checking* de la parole publique. Petit à petit, l'idée a émergé de rassembler sous ce même nom d'autres formats novateurs dans un journalisme en pleine mutation. En 2014, Les Décodeurs devenaient un service à part entière du journal *Le Monde*. Outre les *fact-checking*, ils rédigent des articles d'explication, des infographies, des enquêtes rendues possibles par l'exploitation de bases de données, notamment, lors de collaborations internationales. Quelle que soit la forme, ils essaient de nouvelles manières d'écrire des articles et de raconter l'actualité.

Aujourd'hui, une vingtaine de personnes y travaillent : tous sont journalistes, et la plupart ont également des compétences ou une formation technique dans le développement informatique, les bases de données, la cartographie, etc.

L'article a été rédigé par Anne-Aël DURAND, Maxime FERRER, Léa SANCHEZ, Gary DAGORN, Pierre BRETEAU et Jonathan PARIENTÉ.

→ ***Le making of du suivi de la crise du Covid-19 au Monde***

Julie FIGONI au nom du groupe Surveillance de la Covid-19 de la direction des Maladies infectieuses de Santé publique France.

Établissement public administratif sous tutelle du ministère chargé de la Santé et de la Prévention, Santé publique France a été créé en mai 2016 par le regroupement de quatre organismes (l'Institut de veille sanitaire - InVS, l'Institut National de Prévention et d'Éducation pour la Santé - INPES, l'Établissement de Préparation et de Réponse aux Urgences Sanitaires - EPRUS, et le groupement d'intérêt public Adalis - addiction, drogue, alcool info service). Santé publique France est une agence d'expertise scientifique, fondée sur le continuum entre la connaissance et l'intervention à tous les échelons territoriaux. Santé publique France a pour mission d'améliorer et de protéger la santé des populations. Cette mission s'articule autour de trois axes majeurs : anticiper, comprendre et agir. Ces missions impliquent la mise en œuvre d'un système de veille et de surveillance afin de détecter et d'anticiper les risques sanitaires sur l'ensemble du territoire. Les métiers de pilotage et de maintenance du système d'alerte, de veille et d'analyse des signaux, d'investigation, permettent à l'agence de réaliser une analyse des données au plus proche de la réalité, d'analyser les risques et ainsi d'émettre dans les meilleurs délais les recommandations nécessaires à la prise de décision des pouvoirs publics pour protéger les populations. En relation avec les acteurs de terrain, l'agence produit une expertise scientifique en santé publique, indépendante pour la protection et l'amélioration de la santé des populations. Elle intervient également en préparation et réponse aux crises sanitaires, notamment par la mobilisation d'une réserve sanitaire pour renforcer le système de soins et, pour le compte de l'État, par l'acquisition, le stockage et la distribution des stocks stratégiques de produits de santé.

→ ***Structuration évolutive d'une surveillance multisource pour répondre à une infection émergente : l'expérience française face à la Covid-19***

Florian GAUTHIER démarre sa carrière en tant que *data scientist* à Etalab, où il conçoit Predvol, un outil basé sur des algorithmes pour orienter les patrouilles de police et de gendarmes afin de lutter contre les vols de voitures.

Après deux ans à entreprendre dans le numérique, il rejoint Bayes Impact en 2020 pour mener les travaux sur BriserLaChaine.org.

Il est aujourd'hui directeur de LaReserve.tech, un programme de mobilisation citoyenne lancé par Bayes Impact, pour créer des réponses rapides en temps de crises.

→ ***BriserLaChaine.org : dématérialiser la recherche de cas contacts pour une efficacité à l'échelle***

Aymeril HOANG, normalien, agrégé d'économie et gestion, et diplômé d'études approfondies en droit public de l'économie, est expert en innovation et numérique, et exerce depuis 2019, à titre indépendant, comme coach professionnel de dirigeants.

Il débute en 1999 dans la régulation des télécoms et du numérique à l'Arcep puis à la DGCCRF du ministère de l'Économie et des Finances. Il rejoint la direction du Trésor en 2005 et est affecté au service économique de l'Ambassade de France aux États-Unis, à San Francisco puis à Washington, sur les questions de numérique et d'innovation. En 2010, il co-fonde à Paris une *start-up tech* dans l'immobilier, puis devient en 2012 conseiller au cabinet de la ministre des PME, de l'Innovation et du Numérique, où il pilote la création de l'initiative *French Tech*.

En 2014, il devient directeur de l'innovation du Groupe Société Générale, où il lance un programme de 70 *start-up* internes. En 2018, il est nommé directeur de cabinet du secrétaire d'État au numérique. En mars 2020, lors de la crise du Covid-19, il co-pilote la *task force* numérique, lance l'appli StopCovid, puis devient membre du Conseil scientifique sur le Covid-19 d'avril 2020 à juillet 2022. Depuis octobre 2021, il est membre du comité éthique et scientifique de l'agence Viginum auprès du secrétaire général de la Défense de la Sécurité nationale.

→ ***Introduction - Données et modèles dans le « gouvernement de l'épidémie »***

→ ***Synthèse du numéro***

→ ***StopCovid ou encore ?***

→ ***« Les réflexes de coopération développés pendant la crise doivent se transformer en processus courants d'interaction » - Entretien avec Jérôme FILIPPINI***

→ ***« On a perdu en France l'expérience des épidémies et de leur gestion sur le terrain » - Entretien avec le Pr Renaud PIARROUX***

→ ***Comment le Conseil scientifique s'est saisi de l'enjeu des outils numériques***

Hervé LE CROSNIER, après avoir été conservateur de bibliothèques, enseignant-chercheur en informatique et sciences de l'information, est actuellement éditeur multimédias chez C&F éditions. Ses travaux portent sur la culture numérique et l'impact des technologies sur la société.

→ ***Y voir clair sur les choses importantes - Zeynep Tufekci, une sociologue dans l'action***

Fabrizio LI VIGNI est sociologue du numérique. Après une licence et trois masters en philosophie, histoire des sciences et sociologie générale obtenus à Palerme, Barcelone et Paris, il a soutenu une thèse en sociologie à l'École des hautes études en sciences sociales en 2018. Inscrite dans la sociologie des sciences et dans les Science & Technology Studies, elle a pour titre *Les systèmes complexes et la digitalisation des sciences. Histoire des instituts de la complexité en France et aux États-Unis*. C'est dans ce cadre qu'il a pu mener des recherches sur l'une des communautés les plus actives des sciences de la complexité : l'épidémiologie computationnelle. Ses recherches portent aujourd'hui sur la démocratie digitale, c'est-à-dire l'implémentation de la codécision (administrative, législative,

budgétaire) *via* des dispositifs numériques dans un contexte politique partisan et / ou institutionnel.

→ ***Les modélisateurs de l'épidémie de la Covid-19***

Yvon MADAY est professeur de mathématiques appliquées à Sorbonne Université et à l'Institut Universitaire de France. Il a été directeur de l'UFR de Mathématiques de l'UPMC et du laboratoire Jacques-Louis Lions, président de la Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles (SMAI) ainsi que fondateur et directeur de l'Institut Carnot Smiles. Parallèlement, il a développé un important programme de recherche sur une grande variété de sujets où il a encadré plus de 40 doctorants et a écrit plus de 200 articles dans des revues de haut niveau, ainsi que 6 livres. Il a été invité à l'ICM 2006, il a été élu à l'Académie Européenne des Sciences en 2003. Il a reçu le prix Jacques-Louis Lions de l'Académie des sciences en 2009, et en 2019, il a reçu le prix ICIAM Pioneer. Il co-dirige l'ERC Synergy EMC2 en chimie computationnelle. Il est co-fondateur de plusieurs initiatives de recherche sur le Covid-19 dont l'initiative Covid-IA et le GIS Obepine.

→ ***Épidémiologie basée sur les eaux usées : actualité et futur d'une méthode épidémiologique alternative, pour détecter et suivre les épidémies***

Vincent MARÉCHAL est professeur de virologie à Sorbonne Université, où il a dirigé l'UFR de Sciences de la Vie de 2015 à 2020. Ingénieur INA-PG de formation, il a partagé sa carrière d'enseignant-chercheur entre l'animation de formations en virologie et la recherche sur les virus oncogènes humains. Il a participé à de nombreux comités et conseils, et dirige depuis 2007 le conseil scientifique de l'Institut Louis Malardé (Polynésie française). Il a publié 124 articles scientifiques et chapitres d'ouvrage, et a assuré la coordination de 9 ouvrages scientifiques. Il est co-fondateur de plusieurs initiatives de recherche sur le Covid-19 dont l'initiative Covid-IA et le Groupement d'intérêt scientifique (GIS) OBEPINE, dont il est l'actuel directeur.

→ ***Épidémiologie basée sur les eaux usées : actualité et futur d'une méthode épidémiologique alternative, pour détecter et suivre les épidémies***

Valérie PEUGEOT, au sein du laboratoire de sciences sociales et humaines d'Orange, travaille sur les dispositifs numériques de contribution citoyenne dans la ville, la sobriété numérique ou encore l'inclusion numérique.

Après avoir été de 2013 à 2015 vice-présidente du Conseil National du Numérique, elle a rejoint le collège des commissaires de la CNIL, Commission nationale de l'informatique et des libertés en avril 2016, où elle a la charge du secteur de la santé.

Elle est également directrice pédagogique de l'Executive Master Digital Humanities à Sciences Po Paris, qui accompagne des étudiants dans la transformation numérique de leurs organisations, et membre du conseil d'administration du Campus Condorcet.

En tant que présidente de l'association Vecam de 2008 à 2021, elle a notamment œuvré à la diffusion de la pensée et des pratiques des communs en France. Attachée au monde de l'ESS (économie sociale et solidaire), elle est membre du conseil d'administration de la Fondation du Crédit coopératif.

Elle est co-auteur avec Serge Abiteboul de l'ouvrage paru en 2017, *Terra Data - Qu'allons-nous faire des données numériques ?*, aux éditions Le Pommier.

→ ***La protection des données à caractère personnel à l'épreuve de la crise sanitaire***

Sophie PÈNE, Professeure émérite en sciences de l'information à l'Université de Paris et chercheuse au Laboratoire Dicen-CNAM IDF, est une spécialiste des usages numériques dans l'éducation. Elle est membre du Conseil national du design et auditrice de l'Institut des Hautes Études pour les sciences et les technologies.

→ ***Épidémiologie participative : quand le public participe à la surveillance et à la compréhension du Covid-19***

Maurice RONAI contribue comme chercheur à l'École des hautes études en sciences sociales (EHESS), puis comme directeur associé d'une société de conseil, par ses travaux et publications, aux débats autour de la géopolitique des données, sur les droits et libertés numériques, sur l'ouverture des données publiques et le « gouvernement ouvert ». Il a dirigé le département Systèmes d'information de la mission interministérielle de l'Information scientifique et technique de 1982 à 1986. Chargé de mission au Commissariat général du Plan, il a été rapporteur en 2001 du livre blanc « Administration électronique et protection des données personnelles ». Commissaire à la CNIL, de 2014 à 2019, il était en charge des dossiers « communications électroniques » au sein du Collège, et membre de sa formation restreinte.

→ *Introduction - Données et modèles dans le « gouvernement de l'épidémie »*

→ *Synthèse du numéro*

→ *« Les réflexes de coopération développés pendant la crise doivent se transformer en processus courants d'interaction » - Entretien avec Jérôme FILIPPINI*

→ *Technopolitique d'une crise sanitaire - États-Unis, Allemagne, Japon, Royaume-Uni*

→ *Épidémiologie participative : quand le public participe à la surveillance et à la compréhension du Covid-19*

→ *« On a perdu en France l'expérience des épidémies et de leur gestion sur le terrain » - Entretien avec le Pr Renaud PIARROUX*

→ *Dr Tableur & Mr. Excel - Les outils de structuration souple des données dans la crise sanitaire*

Mircea T. SOFONEA, biologiste de formation (École normale supérieure, promotion 2010) initié à la modélisation des maladies infectieuses à l'Institut Pasteur (2013), a soutenu une thèse sur l'évolution de la virulence et les infections multiples à l'Université de Montpellier en 2017, sous la direction de Yannis Michalakis et Samuel Alizon, avant d'y être recruté en tant que maître de conférences un an plus tard. Il obtient, en 2021, un DU de stratégies anti-infectieuses à la Faculté de Médecine de Montpellier-Nîmes.

À la Faculté des Sciences de Montpellier, il est co-responsable des programmes de mathématiques & informatique pour les cursus de biologie, et est en charge d'unités d'enseignement en épidémiologie quantitative, processus populationnels, analyse spatiale, modélisation et probabilités. Il intervient par ailleurs dans d'autres formations (médicale, agronomique, préparation à l'agrégation) sur des thématiques de santé publique.

Au sein de l'équipe Évolution théorique et expérimentale de l'UMR MIVEGEC (Univ. Montpellier, CNRS, IRD), dont il prend la tête en 2021, il travaille sur l'impact des sources d'hétérogénéité (polymorphisme, structuration spatiale, traitements anti-infectieux, mesures sanitaires) dans l'analyse quantitative multi-niveaux (de l'intra-hôte à la santé publique en passant par la transmission) de pathogènes tels le virus Ebola, les papillomavirus humains, les bactéries multi-résistantes, et, depuis 2020, le Sars-CoV-2. Impliqué dans la diffusion scientifique et l'expertise auprès des autorités (Assemblée nationale) et des acteurs nationaux (HAS, SpF) et régionaux (ARS, CHU) de la santé publique, il est membre du groupe Air & Covid de l'ANSES, éditeur associé de la revue *Anaesthesia Critical Care & Pain Medicine*, membre du bureau de l'Action Coordonnée Modélisation de l'ANRS|MIE, et directeur adjoint recherche de l'Institut ExposUM.

→ *Modélisation mathématique de l'épidémie de Covid-19 en France, et comparaison internationale*