

Stratégies numériques de lutte contre la pandémie de la COVID-19 : l'adoption des applications mobiles de *contact tracing*

Digital strategies to fight the COVID-19 pandemic: the adoption of mobile contact tracing applications

Robert VISEUR¹

¹ Service TIC, Faculté Warocqué d'Économie et de Gestion, UMONS, Belgique, robert.viseur@umons.ac.be

RÉSUMÉ. En décembre 2019 démarrait dans la ville chinoise de Wuhan une épidémie de pneumonie attribuée à un nouveau coronavirus. Sa diffusion mondiale conduisit le 11 mars 2020 l'OMS à déclarer pandémie l'épidémie de COVID-19. Frappée elle-aussi, l'Europe a connu des confinements successifs pour limiter la pression sur les systèmes de soins de santé. Cependant, certains pays (p. ex. Taiwan et Corée du Sud) ont mieux contenu ce début de pandémie, en témoignent des chiffres de mortalité sensiblement plus faibles. Dans ces pays, le numérique a souvent occupé une place importante dans la réponse des états face à la pandémie. Dans cette recherche, nous traitons plus spécifiquement de l'adoption des applications mobiles de *contact tracing*, largement déployées en Europe sur le modèle de projets asiatiques comparables. D'une part, nous mettons en évidence la déconnexion entre l'état des connaissances, formelles ou expérientielles, des applications de *proximity tracing*. D'autre part, grâce à l'analyse du processus de prise de décision face à cette innovation, pour les gouvernements et les citoyens, nous identifions deux modalités distinctes de consentement, libre ou orienté. Aux stratégies globales de diffusion, nous préférons une stratégie locale de diffusion et proposons une application au contexte universitaire.

ABSTRACT. In December 2019, an epidemic of pneumonia attributed to a new coronavirus started in the Chinese city of Wuhan. Its global spread led the WHO to declare the COVID-19 epidemic a pandemic on March 11, 2020. Europe has also been hit by the epidemic and has experienced successive confinements to limit the pressure on health care systems. However, some countries (e.g. Taiwan and South Korea) have been better able to contain the pandemic, as evidenced by significantly lower mortality figures. In these countries, digital technology is often an important part of the government's response to the pandemic. In this research, we focus on the adoption of mobile contact tracing applications, which are widely deployed in Europe on the model of comparable Asian projects. On the one hand, we highlight the disconnection between the state of knowledge, formal or experiential, of proximity tracing applications. On the other hand, thanks to the analysis of the decision making process in front of this innovation, for governments and citizens, we identify two distinct modalities of consent, free or directed. We prefer a local diffusion strategy to global diffusion strategies and propose an application to the university context.

MOTS-CLÉS. covid19, big data, tracing, tracking, adoption, santé.

KEYWORDS. covid19, big data, tracing, tracking, adoption, health.

1. Introduction

En décembre 2019 démarrait dans la ville chinoise de Wuhan, capitale de la province de Hubei, une épidémie de pneumonie attribuée à un nouveau coronavirus baptisé SARS-CoV-2 [DON 20]. Cette maladie à coronavirus 2019 (ou COVID-19) conduisit au confinement strict de la ville de Wuhan dès le 23 janvier 2020 et à celui de la plupart des villes importantes de Hubei dès le 24 janvier [LAU 20]. Bien que localement efficaces, ces mesures de confinement n'empêchèrent pas une diffusion de la maladie en Chine continentale et à plusieurs dizaines d'autres pays conduisant le 11 mars 2020 l'[OMS](#) à déclarer pandémie l'épidémie de la COVID-19. En Europe, la maladie frappa durement l'Italie. Malgré la mise en place progressive du confinement dès le 9 mars, le système de soins de santé y atteignit rapidement ses limites (du fait notamment de la capacité limitée des unités de soins intensifs) tandis que les autres pays européens connaissaient une progression similaire du virus (avec quelques jours ou semaines de décalage) et mettaient à leur tour en œuvre des mesures de confinement [SAG 20].

Pays	DPMI	Pays	DPMI
Vietnam	0,47	Allemagne	114,75
Thaïlande	0,85	Belgique	878,96
Chine	3,31	Espagne	697,26
Singapour	4,66	États-Unis	643,08
Nouvelle Zélande	5,21	France	498,66
Corée du Sud	8,34	Israël	214,59
Slovaquie	10	Italie	595,07
Japon	12,72	Royaume-Uni	631,19

Tableau 1. Taux de mortalité par million habitants (07/2020)

En matière de lutte contre la pandémie, un relatif consensus se dégage quant à l'importance des tests, du *tracing* et de la mise en quarantaine, soit la stratégie *test/trace/isolate* [SAL 20]. Les chiffres de mortalité (par exemple : DPMI, *deaths per million inhabitants* ; cf. Tableau 1) révèlent cependant de fortes disparités entre les états. Comparé aux états occidentaux (cf. 2 colonnes de droite, Tableau 1), certains pays principalement asiatiques (auxquels il convient d'ajouter Taïwan avec un DPMI inférieur à 1 malgré sa proximité avec la Chine [SUM 20]) tirent mieux leur épingle du jeu (cf. 2 colonnes de gauche, Tableau 1), avec des DPMI près de 100 fois inférieurs. Certains de ces pays (p. ex. Chine, Corée du Sud, Singapour et Taïwan) se distinguent par leur stratégie d'endiguement laissant une place importante aux outils numériques. Parmi ces derniers, l'utilisation d'outils de *tracing* efficaces, permettant l'identification rapide et la mise en quarantaine de cas contacts, est reconnue comme importante en association avec des fortes capacités de test [KRE 20]. En Europe, la réponse des états a généralement consisté, en l'absence de traitement efficace faisant consensus et de vaccin validé en quantité suffisante, en un mélange de promotion de gestes barrières (soit en France : se laver les mains, tousser dans son coude, utiliser des mouchoirs à usage unique et porter un masque conforme) et de comportements jugés responsables (p. ex. respecter la distanciation sociale ; voir par exemple le slogan « *Dedans avec les miens, dehors en citoyen* » utilisé en France), complété par des confinements (*lockdown*), plus ou moins stricts, plus ou moins longs, et par une application de la stratégie tester / tracer / isoler souvent contrariée par les tensions liées à la disponibilité de tests en quantité suffisante et à l'existence d'un processus de traçage efficace. Dans ce contexte, les applications mobiles dédiées au suivi des interactions entre citoyens apparaissent rapidement comme une solution séduisante pour permettre un passage à l'échelle du *contact tracing* [FERG 20].

Dans la section suivante, nous dressons un panorama de la gestion de la pandémie dans ces pays, en insistant sur les outils effectivement mis en œuvre, avant de proposer une synthèse des outils exploitables et de leur intégration. Dans une troisième section, nous présentons les différentes approches du *contact tracing*, avant de pointer les limitations du *proximity tracing* tel que mis en œuvre en Europe. Dans une quatrième section, nous analysons la diffusion des applications de *contact tracing* et les limitations de l'adoption par les citoyens. Dans une cinquième partie, nous discutons nos résultats. Premièrement, nous pointons les latences dans la mise à jour des spécifications de ces applications sur base des connaissances formelles ou expérientielles. Deuxièmement, nous y détaillons les étapes du processus de décision, d'une part, pour les états (adoption primaire), d'autre part, pour les citoyens (adoption secondaire). Cela nous permet de mettre en évidence l'existence de deux modalités distinctes de consentement (libre ou orienté). Troisièmement, nous suggérons la mise en place de stratégies de diffusion localisées, avec une application au contexte universitaire, de manière à favoriser l'appropriation et l'optimalisation du dispositif.

2. Stratégie numérique des états

Les états retenus, à savoir la Chine continentale, la Corée du Sud, Singapour et Taïwan, pour leur efficacité dans la gestion de la pandémie, ont développé des outils numériques permettant le profilage des voyageurs (p. ex. profils de risque dans les aéroports), le contrôle des déplacements des populations (p. ex. passeport sanitaire sur *smartphone*), le *tracing* des cas positifs (p. ex. applications mobiles), l'analyse de données (p. ex. *tracking* des déplacements des cas positifs), le suivi médical à distance (p. ex. documentation de l'état de santé), la création de bases de données (p. ex. modélisation) et la communication (p. ex. utilisation de Whatsapp). Le tableau 2 fournit une synthèse structurée de solutions retenues dans chacun des pays.

	Chine	Corée du Sud	Singapour	Taïwan
(1)	Application de passeport sanitaire affichant un profil de risque (code couleur et QR code) pour le passage des <i>check points</i> .		Élaboration de profils de risque à l'entrée du pays sur base de l'historique des voyages antérieurs.	
(2)		Tracing appliqué aux individus positifs.	Pionnier de l' <i>app contact tracing</i> (TraceTogether).	<i>Tracing</i> manuel et numérique (plate-forme TRACE).
(3)	Surveillance des lieux publics (p. ex. mesure de température à distance).	Collecte de 7 catégories de données personnelles incluant les données de localisation. Remontée de clusters.		Surveillance de la mise en quarantaine.
(4)		Report de la situation sanitaire des cas positifs en situation de quarantaine (p. ex. symptômes et température).		
(5)	Création de bases de données de cas positifs (utilisables pour la modélisation et le <i>machine learning</i>).			
(6)	Signalement des lieux à risque.	Signalement des lieux à risque.	Communication vers le grand public via Whatsapp.	Communication, lutte contre la désinformation sur Internet.

(1) Profiling (2) Tracing (3) Tracking (4) Caring (5) Big open data (6) Communicating. Références : [JIA 20] [LIN 20] [PAN 20] [PAR 20] [TIN 20] [SUM 20] [WAN 20].

Tableau 2. Résumé des principales stratégies numériques

L'état de préparation des pays asiatiques s'explique notamment par les épidémies de MERS en 2015 (Corée du Sud) et de SRAS (Taïwan) en 2003. Il en a résulté la mise en place de lois, de procédures, d'agences et d'outils mobilisables en cas d'essor d'une nouvelle pandémie telle que celle de la COVID-19. Si l'on se base sur le cas de la France, aujourd'hui progressivement documenté, le caractère à la fois soudain et extrêmement rapide de la pandémie a tout d'abord nécessité le

développement, itératif, d'outils permettant le suivi des hospitalisations, de la mortalité, des contaminations (tests) puis, une fois les vaccins disponibles, de la progression de la campagne de vaccination [GUI 21] [RON 21]. En lien avec ces efforts, la France s'est par la suite distinguée par la publication d'*open data* [CHI 21], rapidement réutilisées pour le suivi de la pandémie (voir par exemple [CovidTracker](#)). Cette infrastructure a été complétée par des outils dédiés au suivi de contacts.

Dans le cadre de la stratégie de tester / tracer / isoler, et face à la croissance rapide du nombre de cas, le passage à l'échelle du processus de suivi de contact est rapidement apparu comme un point d'attention majeur [FERG 20]. Georgieva et al. (2021) [GEO 21] dressent un panorama des différentes approches possibles pour réaliser un suivi de contact à large échelle : le contrôle basé sur Internet (formulaire d'autorisation, dématérialisés ou non), le contrôle basé sur Bluetooth (applications mobiles spécialisées), le contrôle basé sur la géolocalisation (géolocalisation via le téléphone portable) et le contrôle basé sur les puces implantées sous la peau. En Europe, ce sont principalement les deux premières approches, moins invasives, qui ont été retenues. Nous poursuivons en présentant le principe des applications mobiles de *contact tracing* ainsi que leurs limitations, parmi lesquelles nous pointons notamment les freins à une adoption massive, nécessaire à son bon fonctionnement.

3. Cas des apps de *contact tracing*

Les apps de *contact tracing* se sont dégagées comme une solution, jugée plus respectueuse de la vie privée, susceptible de contribuer à l'endiguement de la pandémie. Cependant, selon les états, les fondements technologiques peuvent sensiblement différer.

3.1. Principe du *contact tracing*

Le *contact tracing* peut être réalisé de manière manuelle (p. ex. *call center*) ou automatique. Le *tracing* manuel reste considéré comme indispensable, tandis que la réelle efficacité du *tracing* automatisé demeure discutée [BRA 20]. L'automatisation du *tracing* par suivi de déplacements a déjà été appliquée pour la lutte contre les virus HIV, Ebola et H1N1 [ROW 20b]. La large diffusion des *smartphones* dans de nombreux pays offre dès lors, avec le « *digital contact tracing* », de nouvelles perspectives pour réduire le taux de reproduction (R_0) du virus [FER 20], en permettant d'alerter rapidement les cas contacts, avec cependant des modalités techniques sensiblement différentes. Riemer et al. (2020) distinguent ainsi le « *surveillance tracing* » (basé sur un large éventail de données incluant les données GPS et de localisation des téléphones mobiles) et le « *proximity tracing* » (basé sur un suivi des contacts, c'est-à-dire des personnes présentes à une distance et pendant une durée limitée fixées par cahier des charges, grâce à la technologie Bluetooth Low Energy) [RIE 20]. Dans ce second cas, dominant en Occident, le système peut être centralisé (anonymat garanti entre les utilisateurs mais pas vis-à-vis des autorités sanitaires) ou décentralisé (anonymat garanti). Si le premier offre un contrôle accru de l'information des utilisateurs à risque, le second rassure davantage les utilisateurs en matière de vie privée. En découle un conflit éthique mettant en balance respect de la vie privée, liberté de circulation et sauvegarde des vies humaines dans un contexte sanitaire où le décideur politique est parfois porté sur l'action rapide sans une réflexion préalable suffisante pour assurer l'efficacité des mesures prises [MORL 20] [ROW 20a].

3.2. Principe du *proximity tracing*

Les applications mobiles dites de *contact tracing* sont, selon les pays, basées soit sur le *surveillance tracing* (*tracking*), soit sur le *proximity tracing*, lequel peut être centralisé ou décentralisé [ELK 20] [JOH 20b] [RIE 20] [VAU 20a]. Les états d'Europe occidentale ont majoritairement opté pour des systèmes de *proximity tracing* jugés plus respectueux de la vie privée (cf. Tableau 3).

Au niveau mondial, Singapour a été un des pionniers avec son système TraceTogether basé sur la technologie centralisée [BlueTrace](#). Il a par la suite été exploité par l'Australie (*CovidSafe*) et par Hong Kong ([LeaveHomeSafe](#)) [AHM 20] [GUI 21]. Les solutions européennes ont originellement été

discutées au sein du projet [PEPP-PT](#) (*Pan-European Privacy-Preserving Proximity Tracing*). Deux protocoles, DP-3T et ROBERT, finalement utilisés en production, en sont issus [VAU 20a]. Le protocole centralisé [ROBERT](#) (*ROBust and privacy-presERving proximity Tracing*) a été retenu par la France pour son application StopCovid (rebaptisée ensuite TousAntiCovid). Le protocole décentralisé [DP-3T](#) (*Decentralized Privacy-Preserving Proximity Tracing*) a pour sa part été pour les applications allemandes, puis belges et suisses. La fonctionnalité de détection de contacts y est fréquemment déléguée à une interface de programmation d'applications (API), basée sur la technologie Bluetooth, et proposée par Google et Apple sous le nom d'*exposure notification* (GAEN). Cette dernière est supposée permettre la détection de proximité, c'est-à-dire une estimation de la distance entre deux terminaux mobiles sur base de l'atténuation d'un signal Bluetooth Low Energy [AHM 20].

	Belgique	France	Suisse	Royaume-Uni	Singapour
Nom	Coronalert	StopCovid	SwissCovid	NHS COVID-19	Trace Together
Technologie	Bluetooth LE	Bluetooth LE	Bluetooth LE	Bluetooth LE	Bluetooth LE
Framework	DP-3T (avec GAEN)	ROBERT	DP-3T (avec GAEN)	DP-3T (avec GAEN)	BlueTrace
Décentralisé	oui	non	oui	oui	non
Obligatoire	non	non	non	non	≥12/2020
Open source	AL2	MPL2	MPL2	MIT	(OpenTrace)
Dépôt	oui	oui	oui	oui	oui
Activité	oui	oui	non	non	oui
Intéropé- rabilité	oui	non	non	non	non
Services ajoutés	résultats des tests	attestation de déplacement (QR code)	rembourse-ment des tests	niveau de risque local	App SafeEntry

Sources : Coronalert ([1](#), [2](#), [3](#), [4](#)), StopCovid/TousAntiCovid ([1](#), [2](#)), SwissCovid ([1](#), [2](#), [3](#)), NHS COVID-19 ([1](#), [2](#)), Trace Together ([1](#), [2](#)) ; DP-3T ([1](#)) ; ROBERT ([1](#)), BlueTrace ([1](#)), OpenTrace ([1](#)) ; comparaisons pré-existantes ([1](#), [2](#)).

Tableau 3. Comparaison de quelques applications de contact tracing

Le qualificatif « décentralisé » ne fait pas ici référence à un éventuel fonctionnement en pair-à-pair des applications [GUI 21]. Les protocoles, qu'ils soient centralisés ou non, nécessitent en effet la présence d'un serveur central avec lequel communique l'application mobile. Les architectures centralisées, comme BlueTrace, impliquent que l'utilisateur s'enregistre sur le serveur central, qui envoie ensuite à chaque terminal un identifiant temporaire [AHM 20]. Les terminaux échangent ces identifiants. Lorsqu'un citoyen est testé positif, il peut téléverser sur le serveur central les identifiants des terminaux desquels il a été à proximité, ce qui permet d'identifier les individus à risque, en vue notamment de les notifier. Classé par Ahmed et al. (2020) [AHM 20] parmi les protocoles centralisés, ROBERT diffère cependant de BlueTrace par le type de données stockées sur le serveur central. Au contraire de BlueTrace qui permet aux autorités sanitaires de proactivement contacter les utilisateurs jugés à risque, ROBERT nécessite que les utilisateurs vérifient régulièrement sur le serveur si leurs identifiants sont étiquetés comme à risque. Le protocole français n'implique par ailleurs pas de communiquer la totalité des contacts, ce qui empêche par exemple les analyses de graphe social. Dans les architectures décentralisées, aucun enregistrement n'est nécessaire. Les terminaux génèrent eux-mêmes un identifiant, à la durée de vie très courte, qui est ensuite échangé avec les terminaux détectés à proximité [AHM 20]. Lorsqu'un citoyen est testé positif, il peut charger sur le serveur les identifiants

des terminaux avec lesquels il a été en contact. Cette liste est ensuite chargée par les autres utilisateurs, qui peuvent dès lors être notifiés par l'application.

3.3. Critiques du *proximity tracing*

Les applications mobiles de *proximity tracing* ont fait l'objet de critiques sur le plan de la souveraineté technologique, de la sécurité informatique, de la vie privée, de la fiabilité, de la diffusion et de l'efficacité.

3.3.1. *Souveraineté technologique*

La divergence technologique entre les applications françaises et allemandes reposent, notamment, sur des considérations liées à la souveraineté technologique [GUI 21]. L'application allemande, et ses proches cousines (p. ex. Coronalert et SwissCovid) sous-traitent en effet une partie des tâches techniques au système de notification d'exposition GAEN (*Google/Apple Exposure Notification*) publié, mis à jour et déployé par Google et Apple. Par ailleurs, la dépendance éventuelle aux GAFAMs dépasse la seule estimation du voisinage sur les systèmes décentralisés mais concerne également la partie serveur de l'application, avec par exemple l'utilisation d'[Amazon AWS](#) pour Coronalert (*app* belge étroitement dérivée de la Corona-Warn-App allemande) et SwissCovid, et celle de [Google Cloud](#) pour TraceTogether [LEI 20c].

La France a, pour sa part, décidé, pour son application StopCovid (rebaptisée ensuite TousAntiCovid), de s'appuyer sur le protocole centralisé [ROBERT](#) (*ROBust and privacy-presERving proximity Tracing*). Ce choix, appuyé par un consortium d'acteurs, notamment industriels, d'abord informel puis formalisé [ASS 22], lui offre une plus grande indépendance technologique lui permettant d'éviter le recours au système GAEN. Cependant, il l'expose à davantage de difficultés pour faire fonctionner correctement l'application. Apple, engagé avec Google dans le soutien à une technologie décentralisée jugée plus respectueuse de la vie privée¹ refuse en effet que l'application fonctionne en tâche de fond, soit la majorité du temps, une précaution appliquée aux applications tierces pour, d'une part, préserver la vie privée des utilisateurs, d'autre part, économiser la batterie [GUI 21]. L'hébergement des serveurs est par ailleurs assuré par [Outscale](#), filiale de Dassault Systems, soit une société française [CHE 20]. StopCovid vient ainsi compléter un dispositif national visant à casser les chaînes de transmission du virus composé de SI-DEP, une plate-forme sécurisée où sont enregistrés les résultats des tests, et Contact Covid, une application d'identification et de prise en charge des personnes-contacts [CHE 20] [RON 21].

3.3.2. *Sécurité informatique*

La sécurité des applications de *contact tracing* a fait précocement l'objet de critiques, moins pour la technologie en elle-même (souvent décentralisée) que pour les possibilités d'attaques ou pour les levées progressives des garanties contre l'utilisation dérivée des données, notamment à des fins sécuritaires. L'application [TraceTogether](#) (Singapour), devenue obligatoire, et dont les données sont utilisables par la police², constitue un précédent inquiétant. Le même type de tentative a émergé dans d'autres pays comme Israël³.

Au delà de ce risque de détournement par les états, Dehaye et Reardon [DEH 20] montrent comment les outils logiciels du capitalisme de surveillance, habituellement utilisés à des fins essentiellement marketing, notamment analysés par Viseur [VIS 21a], permettraient le développement de systèmes de surveillance des applications de *tracing* en exploitant simplement les *trackers* compatibles Bluetooth

¹ Cf. [lemonde.fr](#).

² Cf. [bbc.com](#) et [JOH 20a].

³ Cf. [haaretz.com](#).

d'ores et déjà largement diffusés sur les *smartphones*. D'autres attaques ont été documentées [VAU 20a] [AHM 20]. White et van Basshuysen [WHI 20] soulignent en particulier le caractère faussement rassurant des solutions décentralisées, elles-mêmes vulnérables, plus complexes que les systèmes centralisés, qui par ailleurs se prêtent à l'analyse et à la gestion des risques (p. ex. audits).

3.3.3. Vie privée

En France, mais aussi dans d'autres pays comme la Belgique ou la Suisse, les applications mobiles de *contact tracing* ont rapidement heurté la sensibilité de l'opinion publique concernant l'usage des données à caractère personnel. Les applications des états membres de l'Union Européenne sont supposées respecter le [RGPD](#) (*Règlement Général de Protection des Données*), que le protocole soit ou non décentralisé. Ce règlement repose sur quelques principes forts incluant le consentement libre et éclairé au traitement des données ainsi que la proportionnalité des données collectées aux finalités associées à leur traitement [BAN 18]. Les applications de suivi de contact européennes ont généralement fait l'objet d'une analyse par leur autorité locale de protection des données, sans que ces précautions n'éteignent cependant totalement les critiques.

Des réserves ont ainsi été émises par la [CNIL](#) (*Commission Nationale Informatique & Liberté*)⁴, cette dernière rappelant le respect du « *principe de proportionnalité* » se traduisant notamment « *par une collecte et une conservation des données limitées à ce qui est strictement nécessaire, afin de minimiser l'atteinte portée à la vie privée des personnes* » ainsi que l'adéquation des « *finalités* » du traitement de ces données à la « *mission d'intérêt public* » soutenue par l'application de suivi de contact. La Commission recommandait également le recours à un « *dispositif volontaire* » de suivi de contact. Au regret, par exemple de certains sénateurs (cf. [GUI 21]), a notamment été exclue l'association de StopCovid à une contrepartie (p. ex. liberté de circulation plus importante) en vue d'inciter les utilisateurs à un téléchargement plus large.

3.3.4. Fiabilité

La fiabilité du Bluetooth pour la détection de contacts dans un rayon fixe est notamment critiquée par Leith et Farrell [LEI 20b]. Après avoir exploré le potentiel de la technologie Bluetooth pour la détection de proximité [LEI 20a], les auteurs ont testé le calcul du voisinage de la technologie GAEN fournie par Apple et Google, utilisée notamment par les applications de *tracing* [Coronalert](#), [Corona-Warn-App](#) et SwissCovid. Les tests ont été menés dans des trams [LEI 20b] et des bus, soit des lieux publics où ce type de *contact tracing* est particulièrement utile. En effet, dans ce contexte, il est difficile, voire impossible, de recontacter manuellement des personnes contacts en cas de test positif. Ces tests ont montré une proportion rédhitoire de faux positifs conduisant au constat d'une absence de lien clair entre la distance entre deux terminaux compatibles Bluetooth et l'estimation de celle-ci sur base de la puissance du signal.

En pratique, ces résultats ont été confirmés par d'autres chercheurs [KIN 22] [NGU 20] [KAT 16]. Katevas et al. (2016) [KAT 16] parlent ainsi d'une erreur d'estimation de 0,75m en moyenne pour une distance de 1,5m, et de 1,5m pour 3m, sur un iPhone 5S ou 6S. Des pistes de fiabilisation existent cependant. Kindt et al. (2022) [KIN 22] soulignent, d'une part, la difficulté à réaliser un dispositif fiable à l'aide d'un *smartphone*, compte tenu notamment de la latence et des mécanismes d'économie d'énergie, d'autre part, le potentiel lié à la conception de terminaux spécifiquement dédiés au *contact tracing*. Quant à Nguyen et al. (2020) [NGU 20], ils montrent, après avoir testé divers capteurs potentiellement disponibles sur un *smartphone* (incluant le baromètre, le Bluetooth, la caméra, le GPS, le magnétomètre, le microphone et le WiFi), qu'une combinaison de capteurs améliore l'évaluation des distances. La précision atteint ainsi 87 % en combinant le BLE, le WiFi, le microphone, le baromètre et le magnétomètre, contre 25 % en recourant uniquement au BLE.

⁴ Cf. [cnil.fr](#) et [cnil.fr](#).

3.3.5. Diffusion

La question de la diffusion a fait l'objet de nombreux travaux théoriques [BOB 09]. Parmi ceux-ci, les théories basées sur « *le rôle des cognitions sociales dans l'évaluation rationnelles d'une technologie* » occupent une place importante, avec en particulier la « *théorie de la diffusion* » [ROG 03] et le « *modèle d'acceptabilité de la technologie* » [DAV 89]. D'une part, Rogers [ROG 03] montre que la diffusion d'une innovation est progressive. Elle démarre avec un public d'« *innovateurs* », ouverts à l'expérimentation, avant de s'étendre aux « *adopteurs précoces* », recherchant des solutions nouvelles mais fonctionnelles, et jouant un rôle de prescripteur, puis à la majorité de la population composée de suiveurs convaincus par l'exemple d'utilisation réussie par les adopteurs précoces [ROG 03] [TRO 21]. Rogers [ROG 03] propose également un processus de décision en cinq phases, déployable par un individu ou par une organisation, face à une innovation (« *innovation-decision process* »). Ces phases successives incluent la compréhension (acquisition de connaissances), la persuasion (formation d'une attitude favorable ou défavorable), la décision (choix d'adopter ou de rejeter l'innovation), la mise en œuvre (utilisation de l'innovation) et la confirmation (évaluation *a posteriori* du choix). La décision se traduit donc par l'adoption ou le rejet de l'innovation. Lors de la mise en œuvre, l'innovation peut être modifiée par les utilisateurs, ce que Rogers [ROG 03] qualifie de ré-invention, laquelle influence positivement la durabilité de l'innovation. Lors de la confirmation, l'adoption peut être, soit continuée, soit interrompue ; tandis que le rejet peut perdurer ou déboucher sur une adoption tardive. Le processus d'adoption proprement dit recouvre en pratique les trois dernières phases. L'adoption d'une technologie est également traitée par Davis [DAV 89]. Ce dernier identifie l'utilisabilité et l'utilité perçues comme deux éléments centraux dans la formation de l'intention d'adopter une technologie nouvelle [BOB 09]. Différents moyens, telles que la formation, permettent de la stimuler.

Or, les applications de *contact tracing* nécessitent une large adoption par la population [RIE 20]. Le chiffre de 60% de taux d'adoption a été évoqué comme un seuil à atteindre pour que les *apps* de *contact tracing* soient efficaces [FRA 20]. En effet, la couverture de contacts est proportionnelle au carré du taux d'adoption. Un taux d'adoption élevé est donc nécessaire pour couvrir une part substantielle des contacts. Les auteurs ont par la suite relativisé ce taux de 60 %, l'estimant nécessaire pour mettre fin à la pandémie, mais jugeant l'application utile dans la lutte contre la diffusion de la pandémie, même en cas d'adoption plus faible, en combinaison avec d'autres mesures d'endiguement [ONE 20]. Almagor et Picascia [ALM 20] y voient aussi un outil complémentaire aux mécanismes de *contact tracing* manuel.

3.3.6. Efficacité

Les freins à la diffusion des applications de suivi de contacts couplés aux problèmes inhérents à la fiabilité de la technologie Bluetooth pour l'identification des contact soulèvent la question de l'impact des applications mobiles de *contact tracing*.

L'efficacité d'un dispositif de *contact tracing* peut être mesurée par le nombre de contacts positifs par cas index (formule ϵ). Salathé et al. (2020) [SAL 20] ont estimé ce score ϵ pour l'application SwissCovid. Ils arrivent à un résultat comparable à des dispositifs de *tracing* évalués en Corée du Sud ou à Taïwan. L'impact reste cependant limité par la faible diffusion de SwissCovid, estimée à 16,7 % au moment de l'étude, avec comme conséquence un nombre extrêmement limité de cas positifs (65) identifiés grâce à l'application (pour une critique détaillée de SwissCovid : lire [VAU 20b]).

Des différences existent par ailleurs entre pays. Ainsi la comparaison entre les applications françaises et anglaises pointe une différence flagrante dans les notifications, soit 172 mille côté français et 1,7 million côté anglais [GUI 21]. Cette différence peut s'expliquer par différents facteurs incluant des taux d'adoption différents, des performances variables en matière de déclaration de cas et les choix technologiques locaux incluant, dans le cas de l'application française, un fonctionnement dégradé sur les *smartphones* de marque Apple.

4. Adoption du *proximity tracing*

Nous allons maintenant nous intéresser au potentiel de diffusion (limite maximale), à l'estimation de la diffusion ainsi qu'à l'utilité et l'utilisabilité perçues de ces solutions, en nous intéressant davantage aux solutions belges et françaises.

4.1. Potentiel de diffusion

La diffusion des applications de *contact tracing* est limitée par différents facteurs. Premièrement, elles nécessitent un *smartphone* compatible, ce qui suppose, d'une part, la propriété d'un *smartphone* (taux d'équipement), d'autre part, la compatibilité matérielle et logicielle du *smartphone* détenu. Celle-ci est elle-même fonction des parts de marché des systèmes d'exploitation mobile et de leurs différentes versions encore en circulation. Deuxièmement, l'installation du logiciel et sa configuration nécessitent que l'utilisateur dispose de compétences suffisantes. Nous utilisons comme *proxy* de la compétence des utilisateurs la proportion des utilisateurs installant au moins une application par mois sur leur terminal mobile.

	Belgique (Coronalert)			France (TousAntiCovid)		
	Total	Android	iOS		Android	iOS
Taux d'équipement	76 %			77 %		
Parts de marché		64,69 %	34,68 %		77,00 %	22,00 %
Compatibilité		84,90 %	92 %		94,10 %	100,00 %
Compétences	49 %			49 %		
Pénétration max.	32,76 %	20,72 %	12,04 %	35,64 %	27,64 %	8,30 %
Couverture	10,73 %			12,70 %		

Sources : CREDOC et Digital Wallonia (taux d'équipement), Digital Wallonia (parts de marché), Google, Le Soir et Phonandroid (compatibilité), comScore (pourcentage d'utilisateurs installant au moins 1 nouvelle application chaque mois).

Tableau 4. Estimation du potentiel de diffusion

Le potentiel de diffusion maximal est donc estimé à environ un tiers de la population (cf. Tableau 4) sur base d'un calcul réalisé pour la Belgique et pour la France. Cette limite ne constitue bien sûr pas une limite physique ; par contre, elle fournit une valeur qu'il sera difficile de dépasser sans renouveler le parc de terminaux mobiles ou procéder à un effort en matière de support aux utilisateurs les moins à l'aise avec les procédures d'installation ou de configuration de nouvelles applications sur un *smartphone*.

Reste que la diffusion réelle des applications de *contact tracing* peut se révéler difficile à estimer compte tenu, d'une part, de la transparence des états quant au nombre de téléchargements, d'autre part, de la distinction existant entre téléchargement et utilisation réelle de l'application. Ce point est traité dans la section suivante.

4.2. Estimation de la diffusion

La publication des statistiques de téléchargement par les états n'est pas systématique. De plus, télécharger ne signifie pas activer ni encore utiliser au quotidien. Le tableau ci-dessous, sur base de statistiques partielles pour différentes applications mobiles de *contact tracing*, permet d'estimer le taux

de désinstallation à environ 20 % et le taux d'utilisation à environ 60 %. Le taux de pénétration varie entre moins de 10 % pour la Belgique et plus de 35 % pour Singapour (qui se distingue par la distribution d'un jeton à la population peu à l'aise avec les applications mobiles). La population cible est fixée à 80 % de la population totale.

	Belgique	France	Suisse	Royaume-Uni	Singapour
Nom :	Coronalert	TousAntiCovid	SwissCovid	NHS COVID-19	Trace Together
Date :	02/10/2020	11/11/2020	04/11/2020	08/10/2020	04/09/2020
Téléchargements	791.000	7.476.505	2.736.921	16.000.000	2.400.000
Population cible	9.194.113	52.800.000	6.856.000	53.016.000	4.967.728
Jetons	0	0	0	0	400.000
Pénétration max.	8,60 %	14,16 %	27,28 %	30,18 %	56,36 %
Couverture max.	0,74 %	2,01 %	7,44 %	9,11 %	31,77 %
Désinstallations		1.500.000			
Désinstallations		20,06 %			
Utilisateurs actifs			1840000		1.400.000
Utilisateurs actifs			67,23 %		58,33 %
Pénétration max.	8,60 %	11,32 %	20,42 %	30,18 %	36,23 %
Couverture max.	0,74 %	1,28 %	4,17 %	9,11 %	13,13 %

Sources : Coronalert (1), TousAntiCovid (1, 2), SwissCovid (1), NHS COVID-19 (1), TraceTogether (1).

Tableau 5. Diffusion et utilisation des applications de contact tracing

Des efforts de transparence sur la diffusion ont été réalisés par certains pays comme la France, qui a dans un second temps publié les statistiques d'activation, et par la Suisse. Reste que certains pays demeurent discrets quant au nombre de téléchargements ou d'utilisateurs actifs. Quelles sont les approches permettant dès lors d'estimer ce nombre de téléchargements d'une application pour laquelle seuls quelques chiffres sont ponctuellement publiés (p. ex. point-presse) ? La mise à disposition d'une application mobile passe généralement par les magasins d'applications tels qu'App Store (écosystème Apple) ou Google Play (écosystème Google). Sur ces magasins d'application, les utilisateurs postent régulièrement des évaluations relatives aux applications. Dès lors, nous posons comme hypothèse que le nombre de téléchargements est proportionnel au nombre d'évaluations sur le magasin d'applications (H1 : $y = a.x + b$). Notre proposition est de collecter les données officielles de téléchargements fournies ponctuellement par les gouvernements (p. ex. point-presse) et ces statistiques publiées en continu par les magasins d'application (p. ex. Play Store), puis de créer un modèle de régression. Ce dernier comporte donc une variable indépendante (nombre d'évaluations) et une variable dépendante (nombre de téléchargements). Un tel modèle a été créé avec le logiciel [R](#) sur base de statistiques publiées en octobre et novembre 2020 pour la Belgique, la France, l'Allemagne, le Royaume-Uni et Singapour.

```
Call:
lm(formula = DOWNL ~ RATES, data = covid19apps)

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 1.104e+06  9.286e+05  1.189   0.31987
RATES       1.796e+02  1.598e+01 11.234   0.00151 **
---

```

```

Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Residual standard error: 1372000 on 3 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9768,    Adjusted R-squared:  0.969
F-statistic: 126.2 on 1 and 3 DF,  p-value: 0.001512
Coefficients:
(Intercept)      RATES
1104365.2        179.6

```

Tableau 6. Régression linéaire sous R (prédiction du nombre de téléchargements sur base du nombre de commentaires sur Google Play)

Notre modèle de régression linéaire est présenté Tableau 6 ($y = 179,6x + 1104365,2$). La variable indépendante (x), soit le nombre de commentaires sur Google Play Store (RATES), est significative. De plus, le modèle présente un coefficient de détermination (R^2) élevé (0,969), soit un indice de qualité du modèle. Un contrôle visuel (diagramme) des données a été réalisé pour vérifier la cohérence entre les données réelles (DOWNL, soit le nombre de téléchargements) et les valeurs fournies par le modèle. L'ajout de la note associée à l'application comme seconde variable indépendante n'a pas permis de l'améliorer. Cette méthode d'estimation fournit une piste de solution au manque, notamment relevé par Elkhodr et al. (2021) [ELK 21], de données fiables sur l'utilisation et l'efficacité de ces applications. Elle est susceptible de fonctionner sous conditions (telles que la similarité du comportement de *feedback* ou l'absence d'évènement susceptible d'amener une discontinuité dans le processus de diffusion : campagne de promotion massive, ajout de fonctionnalités utiles...).

L'intention d'adopter une technologie, notamment traitée par Davis [DAV 89], est positivement influencé par l'utilisabilité et l'utilité perçues [BOB 09]. Comment les utilisateurs d'applications mobiles de *contact tracing* les perçoivent-ils ? Ce point est traité dans la section suivante.

4.3. Utilité et utilisabilité perçues

La question de la perception, d'une part, de l'utilité, d'autre part, de l'utilisabilité, a été abordée de deux manières distinctes, premièrement, par l'analyse des commentaires associés à l'application belge Coronalert, d'autre part, par l'envoi d'une enquête auprès d'une importante cohorte d'étudiants.

Une copie des commentaires postés pour l'application Coronalert sur le magasin Google Play a été sauvegardée le 20 novembre 2020 ($n=3145$). La note attribuée à l'application (3,3/5 au 20/11/2020 et moins de 3/5 au 12/02/2021) reflète la faible satisfaction des utilisateurs. L'analyse de ces avis fait ressortir des problèmes à la fois sur le plan de l'utilisabilité (problèmes de mise à jour, de compatibilité, de batterie...) et sur celui de l'utilité perçue. Est ainsi mise en évidence la problématique de l'encodage des cas positifs dans l'application (de manière à ce que les cas contacts soient ensuite automatiquement prévenus). Là où SwissCovid met par exemple en place un système de code Covid à 12 chiffres transmis au patient, le système belge, nécessitant une action du centre de dépistage ou du médecin, se traduit fréquemment par l'absence de remontée de cas positifs et donc le sentiment chez certains utilisateurs frustrés que l'application est en réalité inutile. Dès lors, un travail sur l'ergonomie de ce dispositif semble essentiel pour exploiter au mieux la base installée et par ailleurs transformer les utilisateurs en ambassadeurs. Ce mécanisme, supposé limiter les risques de faux positifs, et les attaques associées, n'est pas propre à Coronalert et est connu comme un facteur d'accroissement des délais de signalement des contacts positifs [WHI 20].

Une enquête a été réalisée grâce à un outil institutionnel de formulaire en ligne (Microsoft Forms) en février 2021 auprès d'un groupe de 977 étudiants belges de Bachelier (Licence) et de Master en économie et gestion avec un taux de réponse de 14,12% ($n=138$). Le taux d'équipement des étudiants ayant répondu est de 100% tandis que le taux d'installation de Coronalert est de 20% (comparable,

voire inférieur, au taux alors atteint en Belgique⁵). Parmi ceux ne l'ayant pas installé, 66% n'ont aucune intention de l'installer et 25% s'y refuseraient en cas de recommandation par les autorités universitaires. Si les étudiants restent à 75% sans opinion quant à l'utilisabilité, ils sont 33% à douter de l'efficacité de l'application pour lutter contre la pandémie. Surtout, 46% affirment ne pas avoir confiance en l'application. La pierre d'achoppement concerne essentiellement le principe du *tracing* (parfois confondu avec le *tracking*) et son impact sur la vie privée. Il semble donc que le public étudiant ne soit pas plus réceptif que le reste de la population même si, sans surprise, le taux d'équipement constitue un atout en matière de diffusion. Par contre, nous voyons qu'une action de communication ciblée permettrait d'atteindre un taux de pénétration compris entre 51% (soit la proportion d'étudiants ayant déjà installé l'application ou acceptant de le faire en cas de demande des autorités) et 76% (soit les étudiants précédents auxquels sont ajoutés les étudiants acceptant, peut-être, d'installer l'application en cas de demande des autorités). À noter que ces résultats ont présenté une grande stabilité au fil de l'arrivée des réponses et de la sollicitation des différents groupes d'étudiants.

5. Discussion

Nous discutons dans cette section, premièrement, la problématique de l'évolution en continu des spécifications, deuxièmement, le succès, ou l'échec, des applications de *proximity tracing*, en prenant en compte cette fois les incitants mis en œuvre localement pour favoriser leur adoption et, troisièmement, le potentiel local des applications mobiles de suivi de contact.

5.1. Gestion des connaissances et spécifications

Comme souligné par Rowe et al. (2020) [ROW 20b], l'efficacité de la réponse organisée face à la pandémie de la COVID-19 dépend de la gestion des connaissances relatives au virus permettant l'adéquation et l'adaptation des mesures prises. Ainsi, de très fortes incertitudes ont entouré les mécanismes de transmission du virus à son apparition [FERG 20]. Un travail continu de mises à jour des connaissances s'est donc révélé nécessaire. A ainsi rapidement, et contrairement par exemple au SARS [HE 20a], émergé l'importance des présymptomatiques (personnes infectées sans symptôme pendant la période d'incubation mais symptomatiques au delà) dans la transmission du SARS-CoV-2 à l'origine de plus de quarante pour cent des contaminations [HE 20a] [SLI 20] [LAU 20]. Au contraire, le rôle des asymptomatiques (personnes infectées ne présentant aucun symptôme), soit environ quinze pour cent des malades [HE 20b], dans la chaîne de contamination, a pu être minoré au fil du temps [MAD 20] [CAO 20]. Quant aux modes de transmission du virus, si les contacts, directs ou indirects (*fomite*), et les gouttelettes (*droplets*) font globalement consensus, la contribution éventuelle des aérosols (particules de taille comprise en 5 et 20 μm) au caractère aéroporté (*airborne*) faisait toujours débat en mars 2021⁶ [GRE 21] [LEU 21], sans d'ailleurs que ce débat scientifique n'annule l'intérêt d'améliorer la ventilation des lieux clos par exemple [BHA 20]. L'émergence de nouveaux variants, aux caractéristiques de contagiosité, d'échappement immunitaires et de létalité potentiellement différentes (p. ex. Omicron ; [DYE 21]), renforce encore l'importance d'une gestion dynamique des connaissances.

L'optimisation des mesures nécessite donc un suivi des évolutions dans la compréhension du virus. Le développement d'outils numériques n'y échappe pas. Parmi ceux-ci, les outils de modélisation occupent une place un peu particulière puisque, d'une part, ils peuvent aider à la compréhension de la propagation de la maladie (p. ex. identification de lieux de contamination ; [CHA 20], à la fixation des priorités (p. ex. stratégie vaccinale ; [BUB 21]), à l'évaluation de nouveaux outils

⁵ Munzert et al. (2021) [MUN 21] notent également une proportion un peu moindre des 18-29 ans à adopter l'application allemande ainsi que la forte influence de la confiance envers le gouvernement.

⁶ En avril 2021, le CDC étatsunien rappelait d'ailleurs que le principal mode de transmission était l'exposition à des gouttelettes (*droplets*), chargées viralemment, susceptibles de rester en suspension dans l'air (cf. [cdc.gov](https://www.cdc.gov)).

(p. ex. potentiel des outils de *digital contact tracing* ; [FERR 20]) ou à l'identification des facteurs de succès (p. ex. délai pour tester dans une stratégie tester / tracer / isoler ; [KRE 20]), d'autre part, ils nécessitent la disponibilité de données ainsi que de connaissances à jour pour la fixation des paramètres d'entrée du modèle (p. ex. taux de contamination provenant des présymptomatiques dans une modélisation de *tracing* ; [KRE 20]). Anticiper l'impact du déploiement d'un outil peut donc bénéficier de ces outils de modélisation.

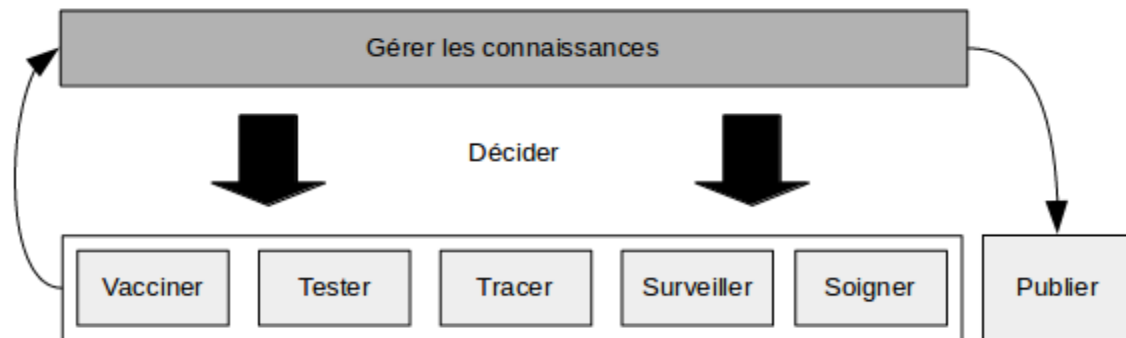


Figure 1. Réponse à la pandémie de la COVID-19 et gestion des connaissances

Ces points concernent en pratique les connaissances formelles relatives au virus. Nous pouvons y ajouter les connaissances formelles liées aux technologies mobilisées par le *proximity tracing*, en particulier le recours au Bluetooth pour identifier les personnes présentes dans un voisinage donné autour de l'utilisateur, dont la fiabilité est rapidement apparue comme problématique. Ces connaissances formelles peuvent être complétées par les connaissances, plus expérientielles cette fois, remontées par les utilisateurs, notamment au travers des avis extraits des magasins d'applications quant à leur perception du fonctionnement de l'application. Les spécifications des applications de suivi de contact, dès lors que l'on souhaite en optimiser l'impact, ne peuvent dès lors pas demeurer figées. En fonction, par exemple, de la connaissance des modalités de la transmission, la taille du voisinage pris en compte en *proximity tracing* pour étiqueter un contact à risque est susceptible d'évoluer. Outre l'anticipation des mécanismes d'adoption, bien étudiés dans la littérature, l'efficacité du suivi de contact par application mobile dépend aussi de son intégration dans un dispositif plus large [ROW 20a] susceptible d'évoluer en fonction de l'évolution des connaissances relatives au virus et de devoir être adapté rapidement (cf. Figure 2). Hong Kong en fournit une illustration frappante : après avoir géré avec succès les premières phases de la pandémie, notamment grâce à l'utilisation d'outils numériques, mais pris un important retard en matière de vaccination de la population âgée, la cité souffrait début 2022 d'une létalité record⁷. L'efficacité des dispositifs numériques tels que le *proximity tracing* dépend donc autant de la qualité intrinsèque de la solution (p. ex. capacité à identifier les cas contacts), de son adaptation au public cible, que de la qualité de son intégration dans une réponse plus globale (p. ex. capacité à produire des tests, à en remonter rapidement le résultat si ce dernier est positif, à démanteler des *clusters* et à vacciner les personnes fragiles).

Ce caractère en apparence figé du dispositif peut nuire à l'utilité et à l'utilisabilité perçues de ces applications, dès lors à l'intention de les adopter sur base volontaire. Le processus de décision peut cependant être orienté, voire forcé, comme nous allons le discuter, avec l'évolution de la stratégie française.

⁷ Cf. [ft.com](https://www.ft.com).

5.2. Adoption et formes de consentement

5.2.1. Du consentement libre...

Le principe des *apps* de *contact tracing* affiche une efficacité discutable du fait notamment de la difficulté d'atteindre un taux de diffusion suffisant. Ce taux reste limité par le taux d'équipement (qui est par ailleurs plus faible chez la population à risque des plus de 65 ans), la compatibilité logicielle / matérielle (fonction de l'âge de l'équipement et de ses mises à jour) ainsi que de la capacité de l'utilisateur à installer et configurer de nouvelles applications (p. ex. paramètres Bluetooth).

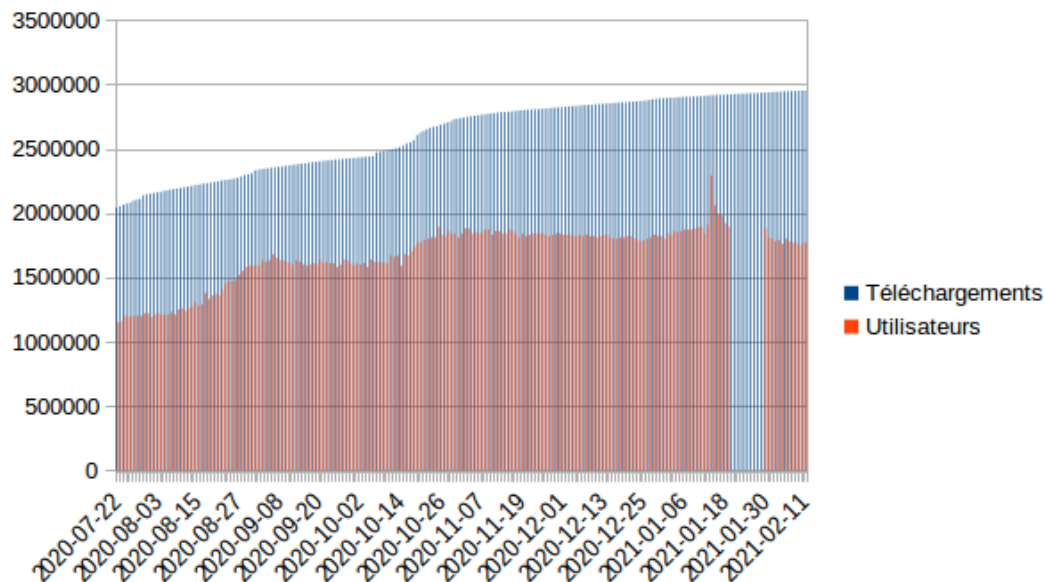


Figure 2. Évolution des téléchargements et des utilisateurs actifs pour l'application SwissCovid (données : Federal Office of Public Health)

Les statistiques fournies pour l'application SwissCovid depuis juillet 2020 montrent ainsi une évolution lente du nombre de téléchargements mais surtout une stagnation des utilisateurs actifs (cf. Figure 2), avec un taux de pénétration tournant autour des 25 %, une valeur cohérente avec notre estimation du potentiel de pénétration maximale de ce type de dispositif.

Face aux difficultés de diffusion en cas de consentement libre, la France s'est essayé au consentement orienté, en transformant l'application de *proximity tracing* en hub sanitaire incluant également le pass sanitaire, devenu par la suite le controversé pass vaccinal.

5.2.2. Au consentement orienté

L'application française StopCovid, pour laquelle des données officielles⁸ sont également publiées, a connu un historique un peu différent. Après une croissance molle (moins de 0,5% de nouvelles activations par jour) à sa création, elle a connu un regain d'intérêt suite à l'allocution du Président Macron puis le *rebranding* TousAntiCovid (22/10/2020), avec une multiplication par 3 du nombre d'enregistrements en 2 semaines. Cependant, à partir de janvier 2021, le nombre d'enregistrements a à nouveau stagné (environ 0,2% de nouvelles activations quotidiennes) tandis que le taux de pénétration restait également inférieur à 25%. L'insuccès de TousAntiCovid s'est par la suite, en apparence du moins, démenti, en témoignent les chiffres communiqués début 2022 dans un rapport du ministère de la Santé et du secrétariat d'État au Numérique, soit 51,4 millions de téléchargements et 38 millions d'utilisateurs actifs mensuels⁹. Reste que ces chiffres sont aussi la conséquence de l'ajout à l'application

⁸ Cf. data.gouv.fr.

⁹ Cf. numerama.com.

de suivi de contacts, à partir d'août 2021, des fonctionnalités de passe sanitaire (via « Mon Carnet »). L'accès à de nombreux lieux de convivialité (p. ex. hôtels, restaurants et bars), de culture (p. ex. théâtres et restaurants) et de soins (p. ex. hôpitaux) sous réserve de présentation d'un passe sanitaire valide a constitué, même si un document papier restait valable, un incitant puissant pour l'utilisation de l'application. Comme conséquence, le taux de signalement des cas positifs a augmenté de 11% à 24% des utilisateurs testés positifs, avec un nombre de notifications en très forte hausse en janvier 2022, dopé par l'explosion du nombre de cas provoqués par la vague Omicron. La situation est différente en Belgique. L'application a conservé son rôle spécialisé, la gestion du passe sanitaire local, baptisé « CST » (*Covid Safe Ticket*), étant dévolue à l'application mobile [CovidSafeBE](#). Par conséquent, début 2022, le nombre d'utilisateurs actifs de Coronalert ne dépassait toujours pas le million¹⁰.

Contexte	Compréhension	Persuasion	Décision	Mise en œuvre	Confirmation
Gouvernement	Connaissance des expérimentations asiatiques. Intervention de sociétés de conseil (p. ex. CapGemini). Recherche universitaire sur la dynamique de la pandémie et le contact tracing (« <i>flatten the curve</i> »).	Promotion des succès asiatiques (p. ex. Singapour). Saturation des dispositifs de <i>tracing</i> manuel. Autorisation du principe par la CNIL (25 mai 2020).	Exploration des solutions au niveau européen. Mise en place d'un consortium (aide pro bono dès le 08 avril 2021 puis rémunérée après le 02 juin 2020).	Développement en <i>open source</i> de l'application sur base de technologies souveraines. Lancement de StopCovid (02 juin 2020).	Lancement de TousAntiCovid (22 octobre 2022). Renforcement des fonctionnalités (concept de « <i>hub sanitaire</i> » : certificat de vaccination, résultats des tests...) Intégration du pass sanitaire (09 juin 2021) puis du pass vaccinal (24 janvier 2022) ; abandon le 14 mars 2022.
Citoyen (StopCovid / TousAntiCovid, sans pass) [consentement libre]	Débats médiatiques (à charge et à décharge : menace contre la vie privée vs efficacité pour détecter les cas positifs).	Propagande gouvernementale une fois la nouvelle application lancée.	Culture individualiste (Europe vs Asie) moins sensible aux objectifs collectifs [ROG 03]. Retours, souvent critiques, des premiers utilisateurs (« <i>trial by others</i> » ; [ROG 03]). Calcul bénéfice-risque (préservé sa vie privée vs sauver des vies humaines) : consentement libre.	Téléchargement puis utilisation (test), de l'application (±80 % des téléchargements). Croissance des téléchargements après le discours présidentiel (22/10).	Utilisation prolongée si absence de problème (p. ex. déchargement de la batterie ou absence d'alerte si cas contact). Déception quant à la réalité de la promesse (abandon).
Citoyen (TousAntiCovid, avec pass) [consentement orienté]	Connaissance préalable du concept. Débats médiatiques relatifs aux projets de pass sanitaire (puis de pass vaccinal).	Décision gouvernementale d'intégrer le pass sanitaire (puis vaccinal) dans l'application. Propagande gouvernementale une fois la nouvelle application lancée.	Craintes envers une éventuelle « société du pass ». Adhésion plus large par désir de conserver une vie sociale normale (<i>nudge</i>) : consentement orienté.	Utilisation de l'application (au moins pour le service ajouté de pass numérique ; cf. TousAntiCovid Carnet).	Utilisation prolongée (jusqu'au retrait du pass vaccinal le 14 mars 2022 : stagnation des inscriptions au service ; puis abandon). Forte croissance des notifications de cas contacts pendant la vague Omicron.

Tableau 7. *Processus de décision face au proximity tracing*

À l'échelle d'une organisation, l'adoption se déroule en deux étapes, incluant l'adoption primaire, soit la décision par l'organisation de déployer une technologie, et l'adoption secondaire, soit la décision effective par les utilisateurs [BID 20]. Nous retrouvons cette distinction dans l'adoption du *proximity tracing* avec, d'une part, le choix de cette technologie par les gouvernements, d'autre part, le consentement des citoyens à adopter cette technologie. Le Tableau 7 détaille, pour la France, les cinq étapes du processus de décision de Rogers [ROG 03]. Les éléments intervenant dans la décision d'adopter ou non recouvrent les facteurs d'acceptabilité préalablement identifiés par Georgieva et al.

¹⁰ Cf. [rtbf.be](#).

(2021) [GEO 21], incluant la transparence (réflexions techniques communes, caractère *open source*), des déterminants socio-culturel (solidarité), de la sécurité (vie privée) et celle de la réversibilité (thème de la « *société du pass* »). La question de la vie privée, rendue plus difficile à appréhender compte tenu de la complexité de la technologie, ressort comme une préoccupation commune aux populations d'autres pays européens [ZIM 21].

Le principe du pass sanitaire, et les discours officiels qui l'accompagne, assimilé à une forme extrême de *nudge*, entraîne de vives inquiétudes relayées par les médias (voir par exemple [SLA 22]). Du point de vue des citoyens, la nature de ce consentement a en effet évolué au fil du temps. S'il est resté (relativement) libre dans la plupart des états, la France s'est distinguée par le choix d'intégrer l'application de *proximity tracing* (TousAntiCovid Bluetooth) et le dispositif de pass sanitaire (TousAntiCovid Carnet) au sein d'une même application (TousAntiCovid), là où des états voisins comme la Belgique ou la Suisse choisissaient de scinder les deux fonctionnalités (Coronalert BE, CovidSafeBE ; SwissCovid, COVID Certificate). Il en résulte cette fois un consentement orienté (cf. Tableau 7). Deux processus d'adoption secondaire se succèdent : le premier, similaire dans la plupart des pays européens (Belgique, France, Suisse...), caractérisé par un consentement libre ; le second, propre à la France, à partir du 09 juin 2022, caractérisé par un consentement orienté, appliqué par les citoyens ayant dans un premier temps rejeté, ou abandonné, l'application.

Evgeny Morozov critique cette évolution, laquelle s'inscrit selon lui dans les principes du « *solutionnisme technologique* », à savoir la foi en l'efficacité des solutions numériques comme moyen simple et immédiat de résoudre des défis sociétaux [MORO 14]. Il dénonce en particulier la transformation du « *solutionnisme progressiste* », suivant une logique de « *nudge* » [THA 17], en « *solutionnisme punitif* », dès lors que la technologie, comme celle du passe sanitaire numérique (inclus dans l'application de suivi de contact), permet de « *freiner nos activités quotidiennes et punir toute transgression* »¹¹. Cette critique paraît d'autant plus fondée que la France, par exemple, ne s'encombre pas d'une évaluation systématique des dispositifs mis en œuvre, ce que déplore par exemple la CNIL¹². Au final, trois types de consentements (continuum) peuvent donc être distingués : le consentement libre (Belgique, Suisse), le consentement orienté (France) et le consentement forcé (Singapour). Si, contrairement à Singapour, la France n'a pas imposé l'utilisation de son application, la commodité offerte par la disponibilité du pass sous une forme numérique (plutôt que papier) a permis d'accroître le nombre d'utilisateurs. Si le consentement libre ne débouche pas sur une utilisation massive, le consentement orienté s'accompagne pour sa part d'un désengagement massif dès lors que les incitations disparaissent.

Ces approches plus coercitives, de même que les appels à la peur [BLO 16], ne font dès lors pas l'unanimité. Rowe et al. (2020) [ROW 20b], ainsi que Zimmermann et al. (2021) [ZIM 21], suggèrent ainsi que les messages diffusés soient basés sur la transparence quant aux processus mis en œuvre, aux finalités poursuivies et à la durée du dispositif. En particulier, la communication devrait s'accompagner d'une information sur les fondements techniques des applications de *contact tracing* (p. ex. décentralisation et/ou gardes-fous mis en œuvre en matière de protection des données à caractère personnel). Nous proposons dès lors dans la section suivante une stratégie de diffusion localisée basée sur un consentement libre et éclairé d'un groupe d'utilisateurs cibles.

5.3. Stratégie de diffusion localisée

Dans le cas du *tracing*, et compte tenu des limitations à une diffusion aisée du *proximity tracing*, nous proposons une exploitation plus ciblée du dispositif, susceptible d'atteindre une masse critique locale d'utilisateurs et de servir de terrain d'expérimentation afin d'améliorer la technologie mais aussi le processus dans lequel elle s'intègre. Plutôt que de chercher à atteindre des taux élevés au niveau

¹¹ Cf. [theguardian.com](https://www.theguardian.com).

¹² Cf. [cnil.fr](https://www.cnil.fr).

national, nous discuterons dès lors le ciblage de populations disposant de meilleurs taux d'équipement et d'une appétence plus forte pour les nouvelles technologies. Nous pensons par exemple au public étudiant et à l'inclusion du *proximity tracing* comme un élément de solution pour gérer la réouverture des universités. Depuis le début de la pandémie de la COVID-19, les universités ont connu en effet de longues périodes de fonctionnement en distanciel [VIS 21b], avec à la clef des craintes quant à la qualité des apprentissages et aux effets sur le moral des plus jeunes.

Traiter le *tracing* spécifiquement dans les universités se justifie à plusieurs titres. Premièrement, les lieux d'enseignement ressortent comme la seconde source de *clusters* hors établissements de santé [SPF 20]. Le nombre de cas par *cluster* augmente par ailleurs avec le niveau d'enseignement. L'enseignement supérieur et post-secondaire compte ainsi pour un tiers des *clusters* et pour près de la moitié des *clusters* à criticité élevée [SPF 20]. Au delà d'un éventuel biais lié à la vigilance en œuvre dans ces établissements, ce résultat peut s'expliquer par le caractère au moins partiellement aéroporté du virus [LEU 21] ainsi que par la mauvaise ventilation de certains locaux [BHA 20], en particulier durant les mois froids. Deuxièmement, les moins de 25 ans peuvent être un vecteur de contamination une fois revenus à domicile (cf. Madewell et al., 2020 [MAD 20], concernant les transmissions domestiques) au contact de personnes plus fragiles (grands-parents, parents avec comorbidités...). Le risque sanitaire porte moins sur eux-mêmes que sur les personnes côtoyées. En Belgique, les moins de 25 ans représentaient ainsi moins de 0,05 % des morts COVID-19 contre près de 95 % pour les 65 ans et plus (source : Sciensano ; chiffres du 10 novembre 2020). Troisièmement, le fonctionnement des cours en distanciel contraint les enseignants à l'adaptation de leurs enseignements [VIS 21b]. Si cette expérimentation forcée (utilisation de la visioconférence, évaluation en ligne...) permet une montée en compétences dans le domaine du numérique (p. ex. utilisation des *Learning Management Systems* type Claroline et Moodle), l'expérimentation de nouvelles méthodes pédagogiques (p. ex. classe inversée) et le test de nouveaux logiciels (p. ex. interactivité via Wooclap pour tester la qualité des apprentissages au travers de questionnaires interactifs), elle occasionne aussi une surcharge de travail réalisée au détriment d'autres activités privées (p. ex. vie familiale) ou professionnelles (p. ex. recherche). Quatrièmement, les mesures de confinement et le fonctionnement en distanciel des universités n'est pas sans conséquence sur la qualité des apprentissages (p. ex. décrochages) ni même sur la santé mentale des plus jeunes, suite notamment à leur isolement et au manque de soutien social [DEM 21] [KOH 21].

Une stratégie d'ouverture des établissements d'enseignement supérieur et universitaire aurait ainsi pu s'appuyer sur le *proximity tracing* en combinaison d'autres mesures telles que l'utilisation éthique de *nudges* (p. ex. signalisation dans les locaux, par exemple pour adapter la distanciation sociale, fonction du code couleur en vigueur selon le risque sanitaire¹³ ; cf. [THA 17]), le respect strict de protocoles d'occupation des salles (p. ex. désinfection des équipements et aération régulière des locaux), l'investissement dans des équipements d'assainissement de l'air, l'organisation régulière de tests (p. ex. *pooling* en période de faible incidence et mise à disposition de kits d'auto-prélèvements salivaires¹⁴) et l'utilisation d'applications de *tracing* pour la rupture des chaînes de transmission. L'efficacité du *tracing* local suppose que, d'une part, l'administration du test soit compatible avec le protocole de remontée de cas positifs dans l'application de *proximity tracing* (p. ex. Coronalert en Belgique), pour permettre un isolement non seulement de la personne positive (quarantaine) mais aussi de ses cas contacts (tant que ces dernières n'ont pas elles-mêmes été testées), d'autre part, que l'adoption soit importante au sein de la communauté universitaire. Une communication ciblée permettrait à première vue de renforcer la base installée jusqu'à atteindre, voire dépasser, localement, le seuil recommandé de 60%.

¹³ Cf. la [circulaire](#) d'application en Belgique francophone.

¹⁴ Cf. l'UMONS pour un [exemple](#) en Belgique francophone.

6. Conclusion

Cette recherche nous a permis de présenter les stratégies de lutte contre la pandémie de la COVID-19 basées sur le numérique et, en particulier, l'utilisation des applications mobiles de suivi de contact (*contact tracing*). Les états asiatiques étudiés présentaient une meilleure préparation à la pandémie de la COVID-19 due aux pandémies antérieures (SRAS, MERS...). En plus d'une population disciplinée (p. ex. culture du masque) et d'une logistique solide pour la réalisation massive de tests (stratégie « *test/trace/isolate* »), ils disposaient de procédures, d'outils et d'une législation adaptés à la lutte contre les pandémies. Les outils numériques utilisés pour la pandémie de la COVID-19 sont diversifiés et complémentaires. Ils couvrent notamment le profilage des personnes à risque (p. ex. voyageurs), le *trac(k)ing* des cas contacts (p. ex. identification des *clusters*), la surveillance des cas positifs mis en quarantaine, le suivi à distance des patients, la création de bases de données et la communication (p. ex. lutte contre les *fake news*). Les approches du *trac(k)ing* y sont généralement efficaces mais aussi plus intrusives qu'en Europe.

Sur le plan du numérique, les états européens comme la France semblent s'être davantage concentrés sur le développement de leurs systèmes d'information de santé [RON 21], la publication d'*open data* [CHI 21] puis le déploiement d'applications de *contact tracing* [CHE 20] [ROW 20a]. Ces dernières, jugées plus respectueuses de la vie privée, souffrent cependant de plusieurs limitations. Premièrement, la technologie utilisée pour la détection de proximité, basée sur le protocole BLE intégré aux *smartphones*, se révèle insuffisamment fiable, sans que ce constat n'ait été suivi d'une évolution des choix techniques. Deuxièmement, la mauvaise intégration avec le dispositif de dépistage peut localement se révéler mal pensé et bloquer les remontées de cas positifs, et dès lors handicaper les notifications. Troisièmement, leur utilisation massive, condition nécessaire à leur efficacité, souffre de freins importants à l'adoption. Face aux mauvais chiffres d'utilisation de l'application, la France s'est distinguée des pays voisins, comme la Belgique ou la Suisse, en passant d'un consentement libre à un consentement orienté, par l'intégration des fonctionnalités de passe sanitaire (puis vaccinal). Si la diffusion a dès lors été fortement stimulée (de même d'ailleurs que les signalement de contacts), cette croissance s'est accompagnée de réactions parfois violentes au sein de la population (polarisation, manifestations). Cette recherche a permis de mettre en évidence deux pistes d'amélioration : d'une part, l'amélioration de la fonctionnalité, centrale, de détection de proximité, d'autre part, la simplification (sans en altérer la sécurité) de la remontée de cas positifs. Sur le plan de l'adoption, et dès lors que l'on renonce au « *solutionnisme punitif* » à la française, c'est-à-dire à l'obligation déguisée, cibler, et convaincre, des populations à l'aise avec les technologies mobiles, à risque ou susceptibles d'accroître la circulation du virus, en leur sein ou au sein de populations à risque, semble cependant une opportunité pour accroître l'utilité des applications de *proximity tracing*. Agir au niveau local permet en effet d'adapter la communication et d'optimiser, avec cette fois la coopération active et durable des utilisateurs, l'ensemble du dispositif mis en œuvre pour casser des chaînes de contamination.

Cette recherche exploratoire offre plusieurs perspectives. Premièrement, la diffusion des applications de *proximity tracing* a été analysée sur base de théories valorisant le rôle des connaissances dans le choix rationnel d'adopter ou non une technologie nouvelle [BOB 09]. Or, comme le souligne Rowe [ROW 20a], l'« *appel à la peur* » fait partie de l'arsenal des outils exploités par les états dans le cadre de cette pandémie. Ce mécanisme, discuté et exploité dans le cadre de campagnes de prévention sanitaire, agit sur la persuasion des individus [BLO 16]. Son analyse amène de nouveaux cadres théoriques, laissant davantage de place aux émotions, distinguant, d'une part, le traitement de la menace, d'autre part, le traitement des recommandations. Dans ce contexte, l'appel à la peur augmenterait les chances d'adoption des recommandations dès lors que, d'une part, la menace est jugée crédible, ce qui activerait une motivation à la protection, d'autre part, que les recommandations sont perçues comme efficaces. L'efficacité recouvre ici, au moins partiellement, nos facteurs d'utilité perçue (efficacité des recommandations en tant que telles) et d'utilisabilité (capacité à appliquer ces recommandations, soit l'auto-efficacité). Deuxièmement, nous avons mis en évidence l'intérêt de

traiter les données en provenance des magasins d'application, d'une part pour suivre la diffusion des applications, d'autre part pour rapidement identifier les problèmes rencontrés par les utilisateurs. Or, l'automatisation de la collecte des avis, et des statistiques associées, est rendue possible par l'existence d'API (interfaces de programmation d'applications) associées aux magasins d'applications et de scripts dédiés à l'extraction des données (voir par exemple [Google-Play-Scraper](#) et [App Store Review Scraper](#) pour Python). Cette disponibilité ouvre une opportunité de traitement en continu incluant, outre l'estimation du nombre d'utilisateurs, le classement automatisé des avis des utilisateurs par apprentissage supervisé. Troisièmement, les états ont parfois manqué de transparence quant aux performances réelles de ces applications sur le plan de leur adoption [ELK 21]. Nous avons vu que le nombre de téléchargements paraissait proportionnel au nombre d'évaluations postées sur les magasins d'application (modèle de régression). Une étude plus systématique, par pays ou par région, basée sur les données officielles plus récentes (notamment les jeux publiés en *open data*) et la collecte automatique des statistiques extraites des magasins d'applications permettrait de valider cette approche. En lien avec la problématique de la diffusion des innovations, l'analyse de ces données permettrait enfin de confronter la diffusion de ces applications, sur leur cycle de vie, au processus (courbe en « S ») décrit par Rogers [ROG 03].

7. Bibliographie

- [ALM 20] ALMAGOR, J., PICASCIA, S. (2020). Exploring the effectiveness of a COVID-19 contact tracing app using an agent-based model. *Scientific Report* 10, 22235.
- [AHM 20] AHMED, N., MICHELIN, R. A., XUE, W., Ruj, S., MALANEY, R., KANHERE, S. S., ... & JHA, S. K. (2020). A survey of covid-19 contact tracing apps. *IEEE Access*, 8, 134577-134601.
- [ASS 22] ASSASSI, E. (2022). Un phénomène tentaculaire : l'influence croissante des cabinets de conseil sur les politiques publiques. Rapport de commission d'enquête n°578, 16 mars 2022.
- [BAN 18] BANCK, A. (2018). RGPD : la protection des données à caractère personnel, Gualino.
- [BHA 20] BHAGAT, R. K., WYKES, M. D., DALZIEL, S. B., & LINDEN, P. F. (2020). Effects of ventilation on the indoor spread of COVID-19. *Journal of Fluid Mechanics*, 903.
- [BID 20] BIDAN, M., BIOT-PAQUEROT, G., CHABOUD, M. C., & LENTZ, F. M. (2020). Inversion du domaine de l'adoption: les technologies latentes. *Management & Datascience*, 4(2).
- [BLO 16] BLONDE, J., GIRANDOLA, F. (2016). Faire « appel à la peur » pour persuader ? *Revue de la littérature et perspectives de recherche, NecPlus, L'Année psychologique*. Vol. 116, pp. 67-103.
- [BOB 09] BOBILLIER-CHAUMON, M. E., & DUBOIS, M. (2009). L'adoption des technologies en situation professionnelle: quelles articulations possibles entre acceptabilité et acceptation?. *Le travail humain*, 72(4), 355-382.
- [BRA 20] BRAITHWAITE, I., CALLENDER, T., BULLOCK, M., & ALDRIDGE, R. W. (2020). Automated and partly automated contact tracing: a systematic review to inform the control of COVID-19. *The Lancet Digital Health*.
- [BUB 21] BUBAR, K. M., REINHOLT, K., KISSLER, S. M., LIPSITCH, M., COBEY, S., GRAD, Y. H., & LARREMORE, D. B. (2021). Model-informed COVID-19 vaccine prioritization strategies by age and serostatus. *Science*, 371(6532), 916-921.
- [CAO 20] CAO, S., GAN, Y., WANG, C., BACHMANN, M., WEI, S., GONG, J., ... & LU, Z. (2020). Post-lockdown SARS-CoV-2 nucleic acid screening in nearly ten million residents of Wuhan, China. *Nature communications*, 11(1), 1-7.
- [CHA 21] CHANG, S., PIERSON, E., KOH, P. W., GERARDIN, J., REDBIRD, B., GRUSKY, D., & LESKOVEC, J. (2021). Mobility network models of COVID-19 explain inequities and inform reopening. *Nature*, 589(7840), 82-87.
- [CHE 20] CHEVALLIER, J. (2020). Un nouvel outil numérique : StopCovid. *Revue française d'administration publique*, vol. 174, no. 2, 2020, pp. 519-528.
- [CHI 21] CHIGNARD, S. (2021). L'open data de crise : entre mobilisation citoyenne et communication gouvernementale. *Jeux numériques. Les Annales des Mines*, n°14, juin 2021, pp. 73-77.
- [DAV 89] DAVIS, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS quarterly*, 319-340.
- [DEH 20] DEHAYE, P. O., & REARDON, J. (2020). Proximity Tracing in an Ecosystem of Surveillance Capitalism. In *Proceedings of the 19th Workshop on Privacy in the Electronic Society*, pp. 191-203.

- [DEM 21] DE MAN, J., RENS, E., WOUTERS, E., VAN DEN BROECK, K., BUFFEL, V., & LORANT, V. (2021). L'effet du confinement lié au Covid-19 sur la santé mentale des jeunes. *Percentile*, 26, 19.
- [DON 20] DONG, E., DU, H., & GARDNER, L. (2020). An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time. *The Lancet infectious diseases*, 20(5), 533-534.
- [DYE 21] DYER, O. (2021). Covid-19: Omicron is causing more infections but fewer hospital admissions than delta, South African data show. *BMJ*, vol. 375.
- [ELK 21] ELKHODR, M., MUBIN, O., IFTIKHAR, Z., MASOOD, M., ALSINGLAWI, B., SHAHID, S., & ALNAJJAR, F. (2021). Technology, Privacy, and User Opinions of COVID-19 Mobile Apps for Contact Tracing: Systematic Search and Content Analysis. *Journal of Medical Internet Research*, 23(2).
- [FERG 20] FERGUSON, N.M, LAYDON, D., NEDJATI-GILANI, G., et al. (2020). Impact of non-pharmaceutical interventions (NPIs) to reduce COVID-19 mortality and healthcare demand (Report 9), Imperial College London.
- [FERR 20] FERRETTI, L., WYMANT, C., KENDALL, M., ZHAO, L., NURTAY, A., ABELER-DÖRNER, L., ... & FRASER, C. (2020). Quantifying SARS-CoV-2 transmission suggests epidemic control with digital contact tracing. *Science*, 368(6491).
- [FRA 20] FRASER, C., ABELER-DÖRNER, L., FERRETTI, L., PARKER, M., KENDALL, M., & BONSALE, D. (2020). Digital contact tracing: comparing the capabilities of centralised and decentralised data architectures to effectively suppress the COVID-19 epidemic whilst maximising freedom of movement and maintaining privacy. University of Oxford.
- [GEO 21] GEORGIEVA, I., BEAUNOYER, E., & GUITTON, M. J. (2021). Ensuring social acceptability of technological tracking in the COVID-19 context. *Computers in Human Behavior*, 116, 106639.
- [GRE 21] GREENHALGH, T., Jimenez, J. L., Prather, K. A., Tufekci, Z., Fisman, D., & Schooley, R. (2021). Ten scientific reasons in support of airborne transmission of SARS-CoV-2. *The Lancet*.
- [GUI 21] GUILLOTIN, V., LAVARDE, C., SAVARY, R.P. (2021). Crises sanitaires et outils numériques : répondre avec efficacité pour retrouver nos libertés. Rapport d'information n° 673 (2020-2021), 3 juin 2021.
- [HE 20a] HE, X., LAU, E. H., WU, P., DENG, X., WANG, J., HAO, X., ... & LEUNG, G. M. (2020). Temporal dynamics in viral shedding and transmissibility of COVID-19. *Nature medicine*, 26(5), 672-675.
- [HE 20b] HE, J., GUO, Y., MAO, R., & ZHANG, J. (2020). Proportion of asymptomatic coronavirus disease 2019: A systematic review and meta-analysis. *Journal of medical virology*.
- [JIA 20] JIAN, S. W., CHENG, H. Y., HUANG, X. T., & LIU, D. P. (2020). Contact tracing with digital assistance in Taiwan's COVID-19 outbreak response. *International Journal of Infectious Diseases*, 101, 348-352.
- [JOH 20a] JOHNSON, B. (2020a), Some prominent exposure apps are slowly rolling back freedoms. *MIT Technology Review*, 23 novembre 2020.
- [JOH 20b] JOHNSON, B. (2020b). The Covid Tracing Tracker: What's happening in coronavirus apps around the world. *MIT Technology Review*, 16 décembre 2020.
- [KAT 16] KATEVAS, K., HADDADI, H., TOKARCHUK, L., & CLEGG, R. G. (2016). Detecting group formations using iBeacon technology. In *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct* (pp. 742-752).
- [KOH 21] KOHLS, E., BALDOFSKI, S., MOELLER, R., KLEMM, S. L., & RUMMEL-KLUGE, C. (2021). Mental Health, Social and Emotional Well-Being, and Perceived Burdens of University Students During COVID-19 Pandemic Lockdown in Germany. *Frontiers in Psychiatry*, 12, 441.
- [KRE 20] KRETZSCHMAR, M. E., ROZHNova, G., BOOTSMA, M. C., VAN BOVEN, M., VAN DE WIJGERT, J. H., & BONTEN, M. J. (2020). Impact of delays on effectiveness of contact tracing strategies for COVID-19: a modelling study. *The Lancet Public Health*, 5(8), pp. 452-459.
- [LEI 20a] LEITH, D. J., & FARRELL, S. (2020a). Coronavirus contact tracing: Evaluating the potential of using bluetooth received signal strength for proximity detection. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 50(4), 66-74.
- [LEI 20b] LEITH, D. J., & FARRELL, S. (2020b). Measurement-based evaluation of Google/Apple Exposure Notification API for proximity detection in a light-rail tram. *Plos one*, 15(9).
- [LEI 20c] LEITH, D. J., & FARRELL, S. (2020c). Coronavirus Contact Tracing App Privacy: What Data Is Shared by the Singapore OpenTrace App?. In *International Conference on Security and Privacy in Communication Systems* (pp. 80-96). Springer, Cham.
- [LEU 21] LEUNG, N. H. (2021). Transmissibility and transmission of respiratory viruses. *Nature Reviews Microbiology*, 1-18.

- [LAU 20] LAU, H., KHOSRAWIPOUR, V., KOCBACH, P., MIKOLAJCZYK, A., SCHUBERT, J., BANIA, J., & KHOSRAWIPOUR, T. (2020). The positive impact of lockdown in Wuhan on containing the COVID-19 outbreak in China. *Journal of travel medicine*, 27(3).
- [LIN 20] LIN, L., & HOU, Z. (2020). Combat COVID-19 with artificial intelligence and big data. *Journal of travel medicine*, 27(5).
- [MAD 20] MADEWELL, Z. J., YANG, Y., LONGINI, I. M., HALLORAN, M. E., & DEAN, N. E. (2020). Household Transmission of SARS-CoV-2: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA network open*, 3(12).
- [MOR 20] MORLEY, J., COWLS, J., TADDEO, M., & FLORIDI, L. (2020). Ethical guidelines for COVID-19 tracing apps, *Nature*, Vol. 582, 4 juin 2020.
- [MOR 20] MOROZOV, E. (2014). Pour tout résoudre cliquez ici ! L'aberration du solutionnisme technologique, FYP éditions, 2014.
- [MUN 21] MUNZERT, S., SELB, P., GOHDES, A., STOETZER, L. F., & LOWE, W. (2021). Tracking and promoting the usage of a COVID-19 contact tracing app. *Nature Human Behaviour*, 5(2), 247-255.
- [NGU 20] NGUYEN, K. A., LUO, Z., & WATKINS, C. (2020). Epidemic contact tracing with smartphone sensors. *Journal of Location Based Services*, 14(2), 92-128.
- [ONE 20] O'NEILL, P.H. (2020). No, coronavirus apps don't need 60% adoption to be effective. *MIT Technology Review*, 5 juin 2020.
- [PAN 20] PAN, X. B. (2020). Application of personal-oriented digital technology in preventing transmission of COVID-19, China. *Irish Journal of Medical Science (1971-)*, 189(4), 1145-1146.
- [PAR 20] PARK, S., CHOI, G. J., & KO, H. (2020). Information technology-based tracing strategy in response to COVID-19 in South Korea—privacy controversies. *Jama*, 323(21), 2129-2130.
- [RIE 20] RIEMER, K., CIRIELLO, R., PETER, S., & SCHLAGWEIN, D. (2020). Digital contact-tracing adoption in the COVID-19 pandemic: IT governance for collective action at the societal level. *European Journal of Information Systems*, 29(6), 731-745.
- [ROG 03] ROGERS, E.M. (2003). *Diffusion of innovations - Fifth edition*. The Free Press.
- [RON 21] RONAI, M. (2021). La construction d'un système d'information épidémiologique. *Enjeux numériques. Les Annales des Mines*, n°14, juin 2021, pp. 62-72.
- [ROW 20a] ROWE, F. (2020). Contact tracing apps and values dilemmas: A privacy paradox in a neo-liberal world. *International Journal of Information Management*, 55, 102178.
- [ROW 20b] ROWE, F., NGWENYAMA, O., & RICHET, J. L. (2020). Contact-tracing apps and alienation in the age of COVID-19. *European Journal of Information Systems*, 29(5), 545-562.
- [SPF 20] SPF (2020). COVID-19 Point épidémiologique hebdomadaire du 01 octobre 2020, *Santé publique France*.
- [SAG 20] SAGLIETTO, A., D'Ascenzo, F., Zoccai, G. B., & De Ferrari, G. M. (2020). COVID-19 in Europe: the Italian lesson. *Lancet*, 395(10230), 1110-1111.
- [SAL 20a] SALATHÉ, M., Althaus, C. L., Neher, R., Stringhini, S., Hodcroft, E., Fellay, J., ... & Low, N. (2020a). COVID-19 epidemic in Switzerland: on the importance of testing, contact tracing and isolation. *Swiss Medical Weekly*, 150(1112).
- [SAL 20b] SALATHÉ, M., et al. (2020). Early evidence of effectiveness of digital contact tracing for SARS-CoV-2 in Switzerland. *Swiss Medical Weekly*, 16 décembre 2020.
- [SLA 22] SLAMA, M. (2022). *Adieu la liberté. Essai sur la société disciplinaire*. Presse de la Cité.
- [SLI 20] SLIFKA, M. K., & GAO, L. (2020). Is presymptomatic spread a major contributor to COVID-19 transmission? *Nature Medicine*, 26(10), 1531-1533.
- [SUM 20] SUMMERS, J., CHENG, H. Y., LIN, H. H., BARNARD, L. T., KVALSVIG, A., WILSON, N., & BAKER, M. G. (2020). Potential lessons from the Taiwan and New Zealand health responses to the COVID-19 pandemic. *The Lancet Regional Health-Western Pacific*, 100044.
- [THA 17] THALER, R. H., & SUNSTEIN, C. R. (2017). *Nudge : la méthode douce pour inspirer la bonne décision*. Vuibert.
- [TIN 20] TING, D. S. W., CARIN, L., DZAU, V., & WONG, T. Y. (2020). Digital technology and COVID-19. *Nature medicine*, 26(4), 459-461.
- [TRO 21] TROTT, P. (2021). *Innovation Management and New Product Development - Seventh Edition*. Pearson.

- [VAU 20a] VAUDENAY, S. (2020a). Centralize or Decentralized. The Contact Tracing Dilemma. EPFL, Lausanne, Suisse.
- [VAU 20b] VAUDENAY, S. (2020), The Dark Side of SwissCovid. En ligne : <https://lasec.epfl.ch/people/vaudenay/swisscovid.html> (consulté le 07 octobre 2020).
- [VIS 21a] VISEUR, R. (2021a). Du tracking, des contre-mesures et de leur efficacité dans la publicité ciblée. Revue ouverte d'ingénierie des systèmes d'information, Volume 2, Numéro 1.
- [VIS 21b] VISEUR, R. (2021b). Transformation pédagogique vers le distanciel en contexte de crise : l'expérience de la COVID-19, 26^{ème} conférence annuelle de l'AIM.
- [WAN 20] WANG, C. J., NG, C. Y., & BROOK, R. H. (2020). Response to COVID-19 in Taiwan: big data analytics, new technology, and proactive testing. *Jama*, 323(14), 1341-1342.
- [WHI 21] WHITE, L., & VAN BASSHUYSEN, P. (2021). Without a trace: Why did corona apps fail?. *Journal of medical ethics*.
- [ZIM 21] ZIMMERMANN, B. M., FISKE, a., PRAINSACK, B., HANGEL, N., MCLENNAN, S., & BUYX, A. (2021). Early Perceptions of COVID-19 Contact Tracing Apps in German-Speaking Countries: Comparative Mixed Methods Study. *Journal of medical Internet research*, 23(2).