

Modélisation statistique du contact tracing

Bertrand Thirion (INRIA), Alain Barrat (CNRS), Chiara Poletto (INSERM), Alexandra Mailles (Santé Publique France), Moez Draief (Capgemini), Roxane Adle (Orange), Vittoria Colizza (INSERM)

Nous décrivons dans ce document une **modélisation mathématique du contact tracing** qui conduit à des modèles de simulation réalistes. Ces scénarios s'appuient sur des simulations relativement standards de la phase de pré-confinement, que l'on perturbe graduellement par des interventions : isolation et contact tracing. Sur la base de ces résultats, nous discutons la problématique de l'**adoption par la population**, qui est le paramètre clé affectant l'efficacité de l'application. Nous formulons enfin des **recommandations** pour accroître l'adoption.

1. Formalisation du contact tracing

Le contact tracing vise à interrompre la chaîne de transmission. Notons tout d'abord que le contact tracing, qu'il soit standard ou via une application, n'a pas vocation à être l'unique mesure de mitigation mais l'une parmi diverses mesures (masques, gestes barrières, isolation des cas symptomatiques, etc). On peut donc bien entendu l'envisager par elle-même dans une modélisation, mais il n'est pas nécessaire d'obtenir une extinction totale de l'épidémie par contact tracing seul pour montrer son intérêt. En effet, **chaque mesure va contribuer à limiter la propagation**. En particulier, les statistiques de contact ont évolué considérablement depuis mars¹. De ce point de vue, il semble raisonnable par simplicité de comparer 3 scénarii :

i-scénario sans mesure de lutte.

ii-scénario avec simple isolation des cas symptomatiques.

iii-scénario avec isolation des cas symptomatiques et contact tracing.

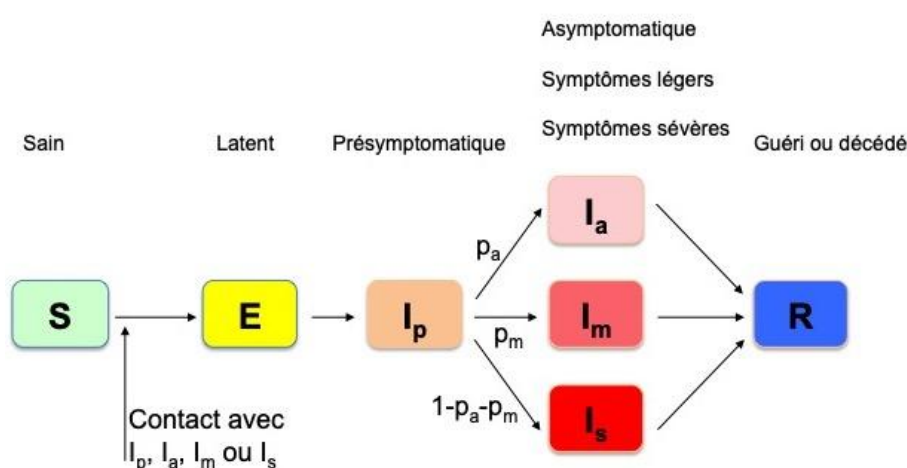
Il est également possible d'ajouter des mesures supplémentaires correspondant à la limitation des contacts, dont on sait qu'elles sont efficaces, mais la comparaison des scénarii ii et iii est cruciale pour comprendre comment les paramètres d'adoption et de respect des alertes influencent l'effet de l'application.

¹ "Quantifying the impact of physical distance measures on the" 3 Apr. 2020, <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.03.31.20049023v1>. Accessed 22 Apr. 2020.

2. Modèle épidémique avec application

Nous essayons d'avoir un modèle réaliste, comportant un nombre limité de paramètres. Pour cela, nous considérons le modèle de propagation utilisé dans les rapports de l'INSERM².

2.1. Situation de base : le modèle épidémique sans intervention



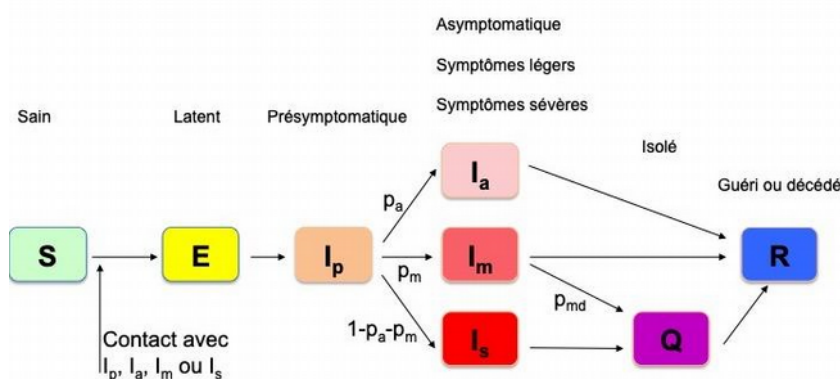
Le schéma ci-contre représente le scénario de base d'une contamination, lorsqu'il n'y a pas d'intervention.

Les probabilités de contamination sont modulables en fonction du contact et de l'état de l'individu contaminant.

Les durées moyenne de passage dans les différents états sont

fixées. On calibre le modèle en ajustant la probabilité de transmission pour avoir un taux de contamination voulu, par exemple entre 2 et 3.

2.2. Ajoutons maintenant l'isolation des cas détectés



Par définition, les asymptomatiques ne sont pas isolés. Chaque cas avec des symptômes sévères est détecté et isolé après un temps donné.

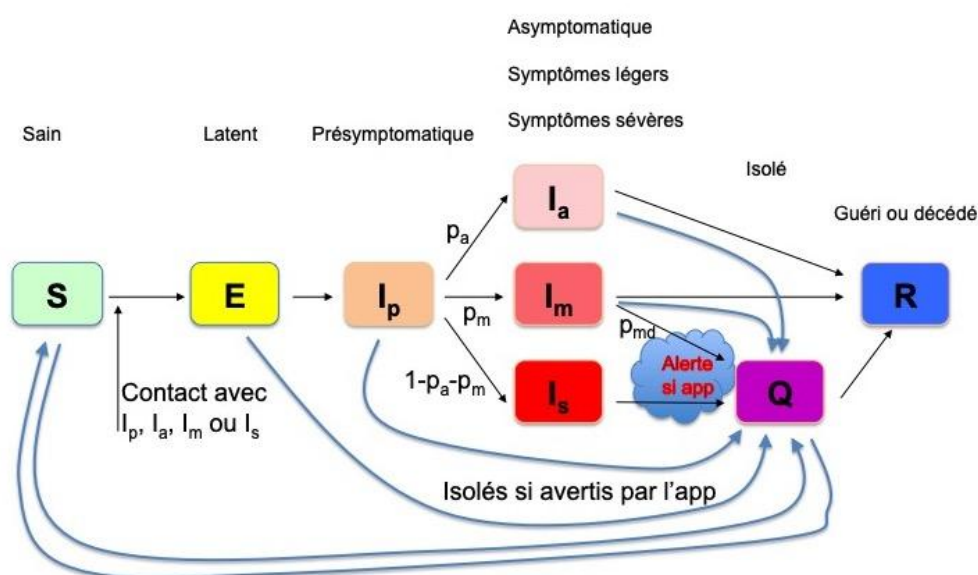
Chaque cas avec symptômes légers, s'il a tendance à se préoccuper (probabilité p_{md}), se fait tester et est détecté et isolé après un

temps donné.

2.3. Ajoutons maintenant l'application

Une certaine fraction des individus possède l'application, et une certaine fraction est "*compliant*" c'est-à-dire encline à suivre les instructions reçues. Quand un cas est détecté et isolé :

- S'il n'a pas l'application : rien ne se passe (ici on pourrait modifier en ajoutant un contact tracing partiel des contacts "forts" comme maison ou travail).
- S'il a l'application, on considère les individus avec qui le cas a été en contact dans les jours précédents et qui ont l'application ; si le temps de contact avec le cas est supérieur à un seuil de détection, l'individu reçoit une alerte (immédiate).



Quand un individu reçoit une alerte :

- s'il est *compliant* : il s'isole 14 jours (flèches bleues sur le schéma). S'il est sain, il ressort sain après 14 jours, s'il était contaminé il ressort R. Ceci modélise sa maladie ; comme il est isolé, il ne participe pas à la diffusion.
- s'il n'est pas *compliant*, on suppose quand même qu'il va se surveiller un peu plus. Du coup, on le rajoute à ceux qui seront détectés même s'ils ont des symptômes légers, et on peut raccourcir le délai entre symptômes et isolation.

Il est clair que de cette manière on va isoler des présymptomatiques ainsi que des asymptomatiques et peu-symptomatiques, et donc diminuer les transmissions par ces individus qui ne seraient pas détectés sans contact tracing.

3. Simulations numériques

Pour tester les hypothèses, on simule le modèle à la fois sur des données de contact réelles et sur des données synthétiques.

- **données réelles**: il s'agit de données de contacts entre personnes dans un lieu de travail pendant une semaine³.
- **population synthétique**: à partir des données statistiques de la population, on crée

une population synthétique, avec des agents qui ont un foyer, un lieu de travail, une école, des relations sociales et donc ont des contacts dans ces différentes circonstances, plus des contacts résiduels aléatoires dans la même zone géographique (par exemple les contacts dans les transports). Une partie des contacts se répète chaque jour, une autre partie est aléatoire.

Les données collectées par des capteurs reflètent donc une situation très pertinente par essence. En revanche, elles concernent une population de taille limitée et n'incluent pas les contacts avec la population extérieure. Les données synthétiques permettent de considérer une population de taille bien plus grande mais leur construction est basée sur toute une série d'hypothèses.

Quelques résultats préliminaires

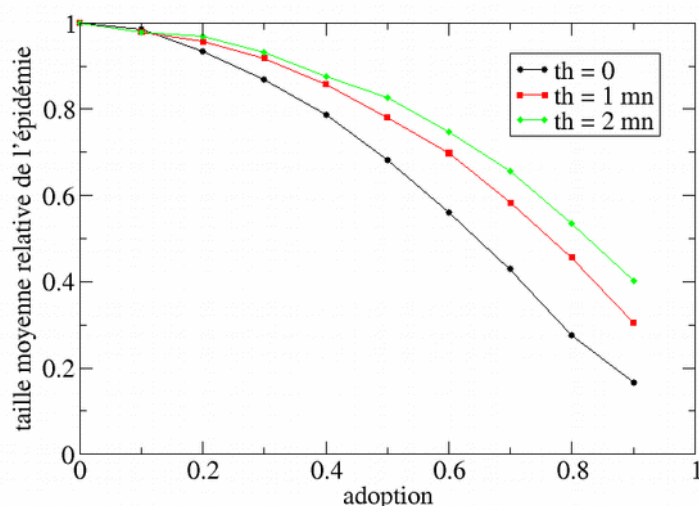
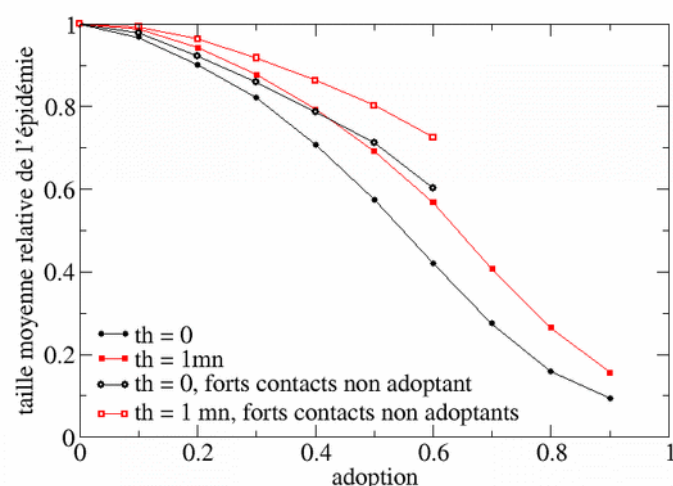


Figure : taille relative de l'épidémie par rapport au cas sans application, en fonction de la fraction de la population qui a l'application.

Ici les présymptomatiques ont une infectiosité égale aux symptomatiques, les asymptomatiques et symptomatiques légers ont une infectiosité de 50% par rapport aux symptomatiques sévères. La moitié des cas légers sont détectés. Pour l'application, on suppose que tout le monde est compliant.

- Le principal facteur d'efficacité de l'application est le taux d'adoption : **l'efficacité de l'application croît quadratiquement par rapport à l'adoption**. Ce comportement **quadratique** est caractéristique des effets de réseaux. Ceci implique que l'efficacité est faible si l'adoption est limitée, mais non nulle : **il n'y a pas d'effet de seuil sur l'efficacité**.



On réalise ici une simulation où les personnes ayant le plus de contacts sont non-adopteurs de l'application (scénario pessimiste) : l'efficacité de l'application est fortement réduite, mais elle ne s'annule

pas et conserve le comportement quadratique observé ci-dessus.

A noter : une limitation importante des simulations : ici on simule uniquement l'application, et non le contact tracing habituel. Donc, on ne distingue pas entre les contacts que le contact tracing habituel aurait retrouvé et l'application.

4. Discussion du paramètre principal : l'adoption

4.1. Pénétration

La Pénétration du Smartphone en 2019 est au global de 77%: Proportion (%), age⁴

[12-17]: 86

[18-24]: 98

[25-39]: 95

[40-59]: 80

[60-69]: 62

[70+]: 44

L'adoption est probablement très faible avant 12 ans. L'âge moyen d'obtention du premier smartphone se situe à 11 ans et demi⁵. Il est à noter que l'utilisation des smartphones est associée positivement au nombre de contacts⁶. La pénétration d'Android en France est de 77%.⁷

4.2. Adoption de l'application

Environ 4 000 volontaires de la plateforme de surveillance participative www.COVIDnet.fr ont été interrogés sur l'utilisation possible de l'application. Environ 75% d'entre eux ont déclaré que cette application devrait être proposée en France, et un peu moins ont déclaré qu'ils l'utiliseraient personnellement (données collectées du 31 mars au 4 avril ⁸).

Il est toutefois important de considérer qu'il s'agit d'une cohorte biaisée vers l'intérêt pour les projets/informations liés à la santé. La réponse devrait être plus faible dans la population générale. Un sondage publié par BFM indique que 46% des personnes interrogées installeraient l'application sur leur portable ⁹. À Singapour, 1M de personnes sur 5,6M (<20%) ont adopté l'application, qui était une application centralisée gérée par le

4 Baromètre du numérique 2019. <https://www.credoc.fr/publications/barometre-du-numerique-2019> (2019).

5 "Téléphone portable : 7 chiffres qui montrent à quel point nous sommes accros" <https://www.sudouest.fr/2019/02/06/telephone-portable-7-chiffres-qui-montrent-a-quel-point-nous-sommes-accros-5798196-4725.php>

6 "The French Connection: The First Large Population-Based" 15 Jul. 2015, <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0133203>. Accessed 25 Apr. 2020.

7 https://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/rapport-barometre-num-2019.pdf

8 "Actualités - covidnet.fr." https://covidnet.fr/fr/nouveaute/2020/04/10/2020s15_COVID_19_FR/. Accessed 22 Apr. 2020.

9 "Une majorité de Français contre une application obligatoire" 12 Apr. 2020, <https://www.bfmtv.com/societe/une-majorite-de-francais-contre-une-application-obligatoire-de-type-stopcovid-sur-leur-telephone-1892571.html>. Accessed 23 Apr. 2020.

gouvernement ayant accès au numéro de téléphone portable de l'utilisateur.

Nous pensons que l'adoption sera fortement liée à deux facteurs :

- **Vie privée et traitement des données** : l'adoption aura lieu seulement si le public comprend que la collection temporaire des clés des contact et leur traitement n'attendent pas à la vie privée. Il faut faire savoir qu'elle est open source, et inviter la communauté académique à examiner le code avant déploiement. L'affrontement médiatique et les débats autour de solutions alternatives nuisent à l'image de cette application auprès de la communauté plus technophile.
- Le fait que la version française de l'application soit semble-t-il seulement pour Android et non pour Iphone limite a priori l'adoption, et empêche une population qui serait a priori intéressée de l'installer.