

Du confinement au marquage vert : une stratégie de sortie de crise

EsadeEcPol Insight #6 avril 2020

AUTHORS

Miquel Oliu-Barton

maître de conférence
en mathématiques,
Université Paris-Dauphine

Bary Pradelski

chargé de recherche au
CNRS ; Membre associé
du Oxford-Man Institute

Luc Attia

mathématicien,
École polytechnique

SUMMARY

— La pandémie de Covid-19 représente un défi mondial sans précédent. Afin d'endiguer sa progression, une vaste série de mesures de distanciation sociale et de confinement a été mise en place. Comment revenir à la normale ? Il s'agit d'éviter le retour de l'épidémie tout en minimisant les dommages socio-économiques. Nous proposons une méthode de déconfinement fondée sur deux éléments clés : identifier des zones vertes (sans cas de Covid-19) et progressivement les fusionner. Nos simulations montrent que les zones pourraient être rapidement unifiées, en 2 à 4 mois. Alors que la croissance exponentielle nous a fait beaucoup de mal durant l'expansion du virus, cette même croissance exponentielle nous aidera à retrouver le salut au plus vite.

Réseaux de proximité physique

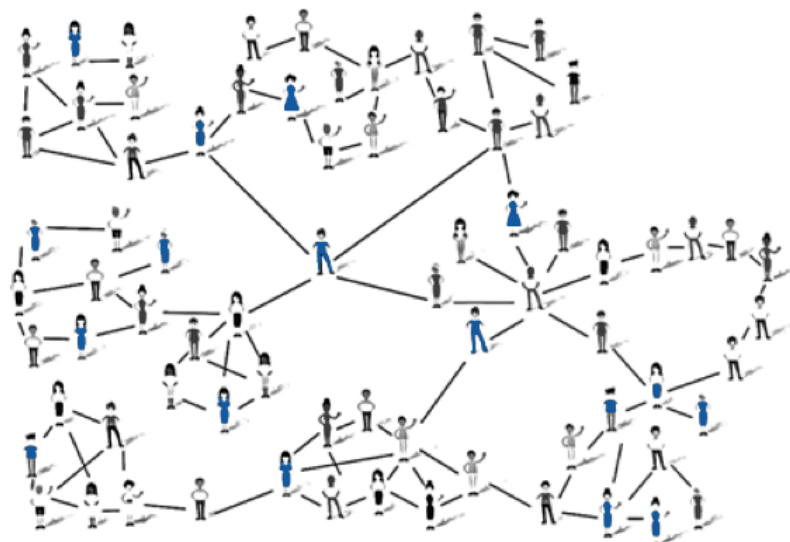
La pandémie actuelle illustre la **manière dont la croissance exponentielle de la contamination par un virus conduit à une explosion du nombre de cas** en quelques mois. La propagation du virus se fait par la proximité physique, c'est-à-dire par le contact entre deux personnes (poignées de main, baisers, émission de gouttelettes de salive). Il est par conséquent approprié d'avoir conscience du fait que nous faisons tous partie d'un vaste réseau d'interactions physiques.

Nous connaissons tous le réseau social Facebook, où chaque personne inscrite a, en moyenne, 300 amis. Chacune de ces amitiés peut être vue comme un lien au sein d'un vaste réseau. La distance entre deux personnes est naturellement mesurée par le nombre minimal de liens qu'il faut pour les relier. L'idée que

n'importe quelle personne peut être reliée à n'importe quelle autre, au travers d'une chaîne de relations individuelles comprenant au plus six liens, a été pour la première fois formulée à la fin des années 1920. Initialement, cette conjecture a d'ailleurs été imaginée pour le réseau des poignées de main, où deux personnes sont reliées entre elles si elles se sont déjà serré la main par le passé.

Au vu du mode de transmission du Covid-19, nous nous intéressons au réseau de **proximité physique** où deux personnes sont connectées si elles sont susceptibles de partager un lien de proximité physique. Déconnecter en partie ce réseau dense est l'élément fondamental des mesures de distanciation sociale et de confinement.

Figure 1
Un réseau humain



Mesures sanitaires, distanciation sociale et verrouillage

Dans la situation idéale, toute la population devrait être testée simultanément avec des tests parfaits (sans faux négatifs). En réalité, **les tests sont limités**, non simultanés et leur résultat est incertain. Ainsi, tandis que certaines règles sont fondées sur l'information disponible (la mise en quarantaine d'une personne qui a été en contact avec une personne testée positive), d'autres doivent inévitablement inclure l'ensemble de la population.

Les règles et les recommandations diffèrent selon les pays, mais convergent progressivement, et toutes ont pour objectif d'éliminer des liens ou, tout du moins, de les limiter. D'abord, **il s'agit de limiter l'intensité des contacts directs avec des mesures de distanciation sociale** (deux mètres entre les gens en dehors de leur domicile) ; s'y ajoutent des mesures sanitaires telles que le lavage fréquent des mains, le fait de tousser dans son coude et de porter un masque. En deuxième lieu, **il faut éliminer autant de liens que possible dans le réseau avec des confinements plus drastiques**.

Les confinements varient en intensité. Par exemple, en France, chaque personne doit rester à moins d'un kilomètre de chez soi, tandis qu'en Inde règne une totale interdiction de sortir de son domicile. De plus, il est actuellement quasiment impossible de voyager d'un pays européen à l'autre. Ces pays sont de fait des sous-réseaux déconnectés les uns des

autres au sein du réseau de proximité physique (voir la figure ci-dessous).

Figure 2
Le virus ne peut pas se propager dans des sous-réseaux déconnectés



Quelles règles ont-elles été mises en oeuvre ? **Des placements en quarantaine des citoyens revenant de zones à risques, des individus symptomatiques, ou testés positifs.** Plusieurs pays ont aussi changé leur politique de traitement des données privées avec l'objectif de suivre leurs citoyens grâce à leurs téléphones mobiles.

À cette étape de la pandémie, des mesures très strictes semblent être la seule solution viable pour aplatir la courbe de propagation, comme cela a pu être constaté en Chine et en Corée du Sud.



Une station de métro vide en France lors de l'épidémie de Covid-19 (Photo: L. Genet/Wikimedia)

Morceler le territoire

Morceler la population mondiale en des groupes déconnectés les uns des autres, en termes de proximité physique, **est le but des mesures de confinement**. La plupart des pays ont fermé leurs frontières. Cependant, ces mesures ne se retrouvent pas à l'intérieur des pays : de nombreux vols intérieurs continuent d'être assurés, aux États-Unis par exemple.

Comme nous l'avons déjà mentionné, en France, il est demandé à la population de ne pas se déplacer à plus d'un kilomètre de son domicile. Bien que ces mesures soient utiles pour réduire les interactions, le virus peut tout de même se propager à travers tout le réseau. Dans une ville de la taille de Paris, deux personnes qui vivent à 2 kilomètres l'une de l'autre peuvent toujours partager le même supermarché. Ainsi, toutes les personnes situées dans un diamètre de 10 kilomètres peuvent être reliées indirectement via 5 intermédiaires dans le réseau de proximité physique.

Au lieu d'imposer un rayon de circulation autorisé à chaque individu, nous proposons de laisser les personnes **se déplacer au sein de zones déconnectées**, telles que des villes ou des quartiers (ou des arrondissements dans le cas de Paris). L'objectif ? Morceler le réseau de proximité physique en composantes déconnectées, ce qui empêche le virus de se repropager à travers tout le territoire.

Par exemple, deux Parisiens vivant dans deux arrondissements différents qui seraient déconnectés ne peuvent pas s'infecter, même via des porteurs intermédiaires. Cette méthode a l'avantage de permettre d'évaluer bien plus facilement où ont émergé de nouveaux foyers infectieux et comment ils se sont propagés, ainsi que de savoir quelles zones sont à plus ou moins haut risque. Notons que, pour de nombreuses épidémies des siècles passés, les frontières entre des communautés infectées et saines ont été fermées. On parle de *cordon sanitaire* lorsque les zones infectées sont fermées, et de *cordon sanitaire inverse* lorsque ce sont les zones saines qui sont protégées. Dans un article récent, l'économiste Joan Monràs défend l'idée d'une telle approche par « zones vertes » afin de rouvrir l'économie, sans attendre que le virus soit maîtrisé entièrement dans tout le pays, ni qu'un vaccin soit disponible. Il propose aussi de définir ces zones en s'alignant sur l'activité économique.

À partir de ces idées, nous proposons une méthode de dé-confinement efficace et sécurisée. Grâce à cette méthode, les interactions sociales et économiques pourraient revenir à leur niveau normal rapidement, en **fusionnant progressivement et de manière sécurisée des zones entre elles**, à condition de maintenir un nombre de tests élevé.

Recréer des liens en créant des zones vertes

Les zones vertes correspondent à des zones géographiques où le système sanitaire est opérationnel, le taux de croissance des nouvelles infections est bas, et les risques futurs semblent maîtrisés. La définition exacte de ce que constitue le marquage vert dépendra de chaque pays, de ses besoins et de ses possibilités du moment, et doit être faite après consultation avec le corps médical, les experts en épidémiologie et les économistes. En réalité, une terminologie plus prudente telle que « zone orange » pourrait être préférable pour que le grand public comprenne la gravité de la situation, et le fait que la plupart des restrictions sont maintenues.

Illustration

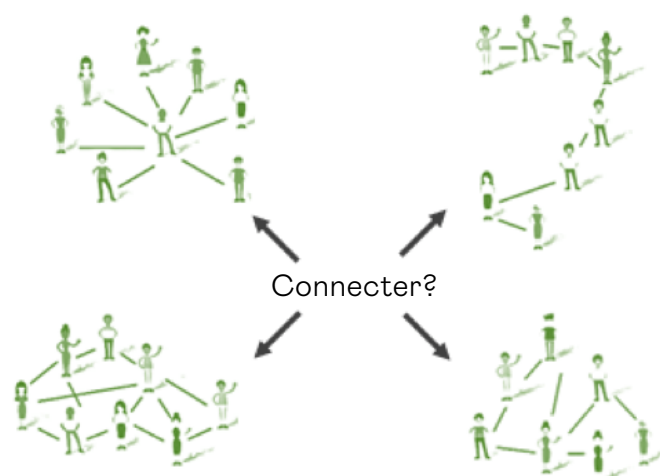
Pour illustrer nos propos, considérons une ville de 10 000 habitants où la plupart des gens travaillent dans une usine locale et/ou ont d'autres activités au sein de cette communauté. À partir du moment où le virus est maîtrisé pendant plusieurs jours (ce qui est établi en fonction de tests, et de la situation courante des hôpitaux) nous proposons de marquer cette ville comme étant verte. Ce faisant, les habitants vont pouvoir progressivement reprendre des occupations sociales et économiques, bien que toujours avec des précautions et des mesures barrières.

Tester la population avant de réintroduire des interactions **accélère l'éradication du virus**, comme cela a été montré dans la ville italienne de Vo'Euganeo, en Vénétie.

Après cette phase initiale, plusieurs zones vertes vont être identifiées. Après plusieurs jours - par exemple **une semaine - où la situation est maîtrisée dans quelques zones vertes voisines**, ces dernières sont autorisées à fusionner pour former une zone verte plus grande. Ainsi, des zones vertes de taille croissantes sont créées avec des personnes partageant les mêmes boutiques, lieux de travail, parcs et écoles.

À l'intérieur d'une zone verte, **les habitants devraient pouvoir se sentir en sécurité**, puisque le virus y est maîtrisé. La réouverture de magasins, écoles et lieux de travail devrait réduire considérablement le coût social et économique, sans attendre que le virus soit maîtrisé dans le pays tout entier. La taille de zones vertes croît exponentiellement et, par conséquent, ce processus de réunification peut aller vite.

Figure 3
Quatre zones vertes fusionnent en une zone plus grande



Analyse et résultats

En raison de l'imperfection des tests et d'une limite dans le contrôle des frontières des zones, des zones vertes connaîtront inévitablement une résurgence de cas d'infection. Quand cela arrive, le marquage vert de la zone est retiré, et nous retournons à la situation précédente de confinement, pour identifier et confiner les nouveaux cas. Nous formalisons un modèle qui sera utilisé pour évaluer l'impact des nouvelles infections sur le processus d'identification des zones vertes.

En pratique, nous proposons une **partition d'une nation en cellules**, qui sont données par une ville ou une aire avec une moyenne de 10 000 habitants. La figure ci-dessous donne un exemple de partitionnement de l'Île-de-France. Afin de limiter les dommages économiques, la partition devrait prendre en compte les *zones d'emploi* introduites par les économistes Charles Tolbert and Molly Sizer.

Le morcellement d'un territoire en zones peut être fait de différentes manières. Ici, nous illustrons le morcellement de la région Île-de-France en ses communes qui appartiennent à des zones successivement plus larges (départements, régions).



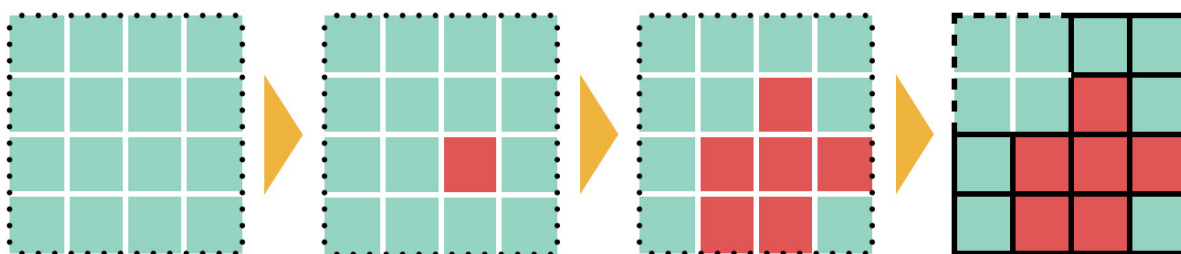
Dynamique du processus. Le territoire est initialement morcelé en des zones de petite taille, des cellules d'entre 10 000 et 100 000 habitants. Chaque cellule est marquée verte ou rouge selon que le virus y est maîtrisé ou non. Chaque jour, chacune des cellules vertes peut potentiellement devenir rouge ; nous supposons que cela arrive avec une probabilité proportionnelle au nombre total de personnes infectées dans le pays. Il s'agit donc d'un phénomène global. Aussi, lors d'un nouveau marquage rouge au sein d'une zone verte, nous supposons que ce marquage se propage à l'intérieur de la zone, ce qui en revanche est un phénomène local. Enfin, nous supposons que le marquage rouge dure un nombre aléatoire de jours, entre 14 et 35. Tandis que les cellules rouges restent isolées, les cellules vertes sont progressivement fusionnées pour former des zones vertes plus vastes. Aussi bien la couleur des cellules que le nombre de zones vertes évoluent au cours du temps. La lutte contre le virus est terminée à partir du moment où toutes les cellules se rejoignent en une seule zone verte.

Marquage rouge. Quand on remarque une perte de contrôle dans une cellule à l’intérieure d’une zone verte, cette zone est morcelée en constituants plus petits. Les habitants des cellules rouges restent isolés, c’est-à-dire sous surveillance via un dépistage approfondi, ou confinés

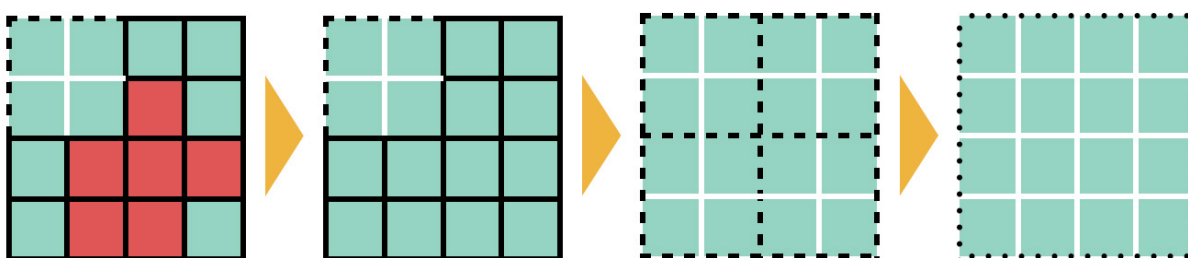
Marquage vert. Les zones où le virus est maîtrisé sont marquées vertes après quelques jours. Après quelques jours supplémentaires, les zones vertes voisines sont fusionnées pour former une zone verte plus grande. Au sein de ces zones, les interactions sont à nouveau progressivement autorisées.

Figure 4

Sur les figures ci-dessous, nous utilisons une partition simplifiée d’un territoire en 4x4 cellules et trois niveaux de taille pour les zones vertes : 1x1, 2x2 et 4x4.



Marquage rouge. On détecte une perte de contrôle (par exemple une croissance de nouveau cas trop importante) dans une cellule qui se trouve à l’intérieure d’une zone verte de taille 4x4. Très probablement, cette crise s’étendra aux cellules avoisinantes, voire partout dans la zone verte, et ainsi d’autres cellules seront elles aussi marquées rouge. La définition des zones vertes est donc revue pour contenir le virus.



Marquage vert. Chaque cellule rouge le restera pendant un nombre aléatoire de jours (entre 14 et 35 jours dans nos simulations). Une fois ce temps écoulé, les cellules précédemment infectées redeviennent vertes. Après quelques jours (7 dans nos simulations), les cellules vertes fusionnent pour former des zones vertes plus larges. Enfin, après quelques jours de plus (7 dans nos simulations), les zones vertes fusionnent en des zones vertes plus larges.

Résultats. Ce processus de réunification peut paraître compliqué, puisque la taille des zones vertes, bien qu’augmentant souvent, peut aussi diminuer. Cependant, dès que la probabilité de nouvelles infections est contrôlée, le processus proposé permettra un retour exponentiellement rapide à la normale. Dans nos simulations, la réunification d’un pays tel que la France (67 millions d’habitants) pourrait prendre entre 2 à 4 mois, à supposer des mesures sanitaires suffisantes et des tests plus largement disponibles.

Les avantages du marquage vert

Les fusions de zones vertes nécessitent certes un processus minutieux, mais sont très efficaces puisque la progression des zones vertes est exponentielle, tout comme la progression du virus. La différence, cependant, **est que nous choisissons quelles zones fusionner et quand les fusionner**, et que nous gardons en mémoire cette fusion au cas où il faudrait faire marche arrière. Dans un certain sens, nous déconstruisons la société en ses blocs fondamentaux avant de la reconstruire à partir des mêmes blocs.

La signification de ce qu'implique le marquage vert d'une zone peut varier d'un pays à l'autre et changer au cours du temps. Par exemple, les zones vertes pourraient permettre une interaction maximale au sein de la zone, ou une interaction au sein d'une fraction de la population (les habitants qui sont à faible risque, sur la base de l'âge ou de problèmes médicaux), ou avec des restrictions qui interdisent les rassemblements de plus de 50 personnes ou imposent le port du masque par exemple.

Pour résumer, les avantages du marquage vert sont :

Suivi non-intrusif.

L'inévitable émergence de nouveaux foyers infectieux dans des zones vertes est facilement localisée. Cela n'interfère pas avec la vie privée, il n'y a pas besoin de suivi des habitants grâce à leur téléphone.

Limitation des dégâts sociaux.

La distanciation sociale pourrait conduire à un climat de défiance de la population. La reprise progressive de relations normales avec des

voisins et des collègues de façon organisée peut aider à surmonter ces nouveaux modes de fonctionnement.

Limitation des dégâts économiques.

En faisant en sorte que les délimitations des zones correspondent aux zones d'emploi, c'est-à-dire un espace géographique à l'intérieur duquel la plupart des actifs résident et travaillent, les dégâts économiques peuvent être significativement réduits.

Un processus de réunification rapide.

La fusion simultanée de zones mène à un nombre exponentiellement petit de zones. Cela permettrait un processus de reconstruction du réseau de proximité physique en quelques mois.

Incitations locales.

Les activités économiques et sociales sont tout d'abord permises à l'intérieur des cellules vertes, ce qui incite à des projets locaux. Aussi, la maîtrise du virus se faisant, et se mesurant, à un niveau local, il est plus facile pour chacun de se sentir concerné par la situation, et par conséquent, d'y adhérer.

Cette méthode peut être facilement combinée avec d'autres mesures.

Contrairement au marquage rouge, qui sera assimilé à un confinement strict, la notion de marquage vert est très flexible. Par exemple, elle peut s'adapter en fonction des possibilités actuelles de chaque région, telles que la disponibilité de tests ou de certificats d'immunité, la pratique de certaines précautions sanitaires, la distanciation sociale, un déconfinement par tranches d'âge ou en fonction des risques médicaux, etc.

Implications politiques

Pour profiter pleinement de cette méthode, **des choix politiques importants doivent être faits en complément d'autres mesures, telles que des tests en masse** (voir le blog du Prix Nobel d'économie Paul Romer, pour une analyse approfondie) et l'adhésion à des mesures sanitaires renforcées. Par quelles étapes faut-il passer pour que l'approche du marquage vert réussisse ?

1. Délimitation des zones.

Il est nécessaire de définir des cellules et des zones respectant les liens économiques et sociaux autant que possible. Les partitions existantes (telles que les communes, les départements et les régions) ne sont peut-être pas toujours les plus appropriées. Les zones économiques ainsi que d'autres contraintes pratiques, telles que la possibilité de contrôler les frontières des zones, devraient être prises en compte.

2. La signification des zones rouges et vertes.

Spécifier (par exemple, sur une base hebdomadaire) ce que vivre dans une zone rouge ou verte signifie pour ces habitants en termes de règles sanitaires (par exemple, pas de serrage de mains et port du masque obligatoire), les restrictions liées à l'âge ou à des problèmes médicaux préexistants, et l'intensité des tests à l'intérieur de chaque zone et à ses frontières puisque certains travailleurs essentiels, notamment les soignants, devront les franchir.

3. Informer la population.

L'information à propos de la répartition des zones actuelles et les implications qui en résultent devraient être disponibles à tout instant, par exemple via une plateforme en ligne, une application mobile, ou des annonces télévisées ou à la radio.

4. Protéger le zonage.

Enfin, il est crucial de gagner l'assentiment de la population. De même que, durant le confinement, différents pays ont utilisé un certain nombre de mesures qui allaient de la recommandation à des amendes, voire de la prison en cas de non-respect.

Conclusion:

Une manière sécurisée et efficace de revenir à la normale

La pandémie de Covid-19 représente un défi sans équivalent pour l'humanité. Un monde fortement connecté a propagé le virus vers presque tous les pays du monde en quelques semaines. La réponse initiale à cette pandémie a reposé sur des mesures sanitaires, la recherche médicale, des mesures économiques et, peut-être de façon plus importante, des décisions politiques clairement communiquées et coordonnées. Des mesures de distanciation sociale, souvent via un confinement, sont devenues le consensus pour répondre à court terme à la crise.

Le temps est venu de considérer une stratégie de sortie de crise. Nous soutenons que cette seconde phase peut être orchestrée de manière sécurisée et efficace. **En reconstruisant nos interactions sociales et économiques via la fusion progressive de zones vertes, nous pourrions réunifier les pays en quelques mois.**

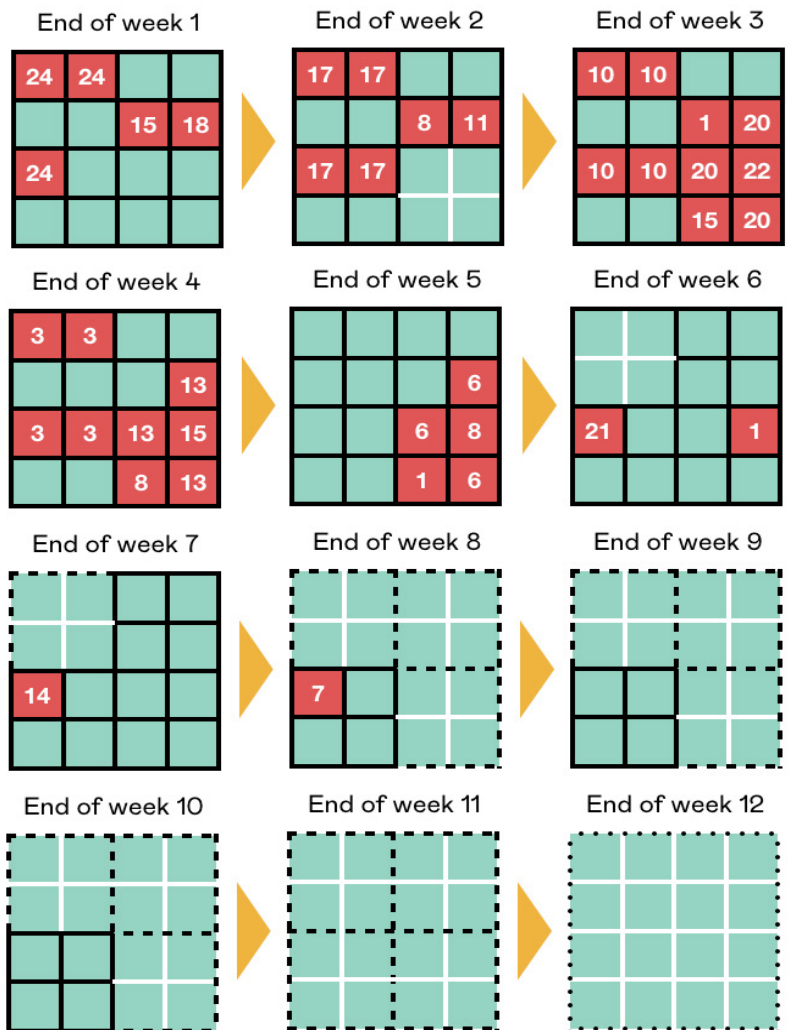
Notre approche ne requiert pas le suivi intrusif des habitants, et respecte ainsi la vie privée. Elle est compatible avec la plupart des mesures qui sont actuellement débattues. Pour résumer, nous croyons fermement que le zonage vert peut jouer un rôle important en limitant les dommages socio-économiques.

Appendix: An example simulation run

The full simulation study is currently in preparation for publication and can be provided by the authors. Our mathematical model serves to test the process of green-zoning. It is not calibrated to a particular country, and does not take into account the detailed behaviour of the virus. For this reason, any number that emerges from it should be taken as a qualitative indicator, and not as a reliable prediction.

Here, we show below a simulation run for an area consisting of 4x4 cells, five of which are initially infected. Each day, every cell is infected (or re-infected) with probability pI , where $p=0.005$ and I is the current fraction of red cells. These infections instantaneously spread to a fraction $q=0.95$ of the cells inside the corresponding green-zones, and each newly infected cell is attributed a random number of days d (between 14 and 28) before it returns to green.

Figure 5.
Example simulation run



Our simulation shows the situation at the end of each week, and the number inside each red cell denotes the number of days before it turns green unless it is re-infected. First of all, note the infection of the cell at (3,2), i.e. 3rd row 2nd column, during week 2. As this cell is isolated, the infection does not spread. Second, note the re-infection of the cell (2,4), and the infection of the entire 2x2 green zone during week 3. Third, a new infection was found at cell (3,1) during week 6. Lastly, observe how the entire area is progressively united after this point.

RÉFÉRENCES

[1] Monras, Joan (2020): **“Some thoughts on Covid-19 from a labour mobility perspective: From ‘red-zoning’ to ‘green-zoning’”**.

VOX CEPR Policy Portal.

<https://voxeu.org/article/some-thoughts-covid-19-labour-mobility-perspective>.

[2] Crisanti, Andrea; Cassone, Antonio (2020): **“In one Italian town, we showed mass testing could eradicate the coronavirus”**.

The Guardian, 20 de marzo.

<https://www.theguardian.com/commentisfree/2020/mar/20/eradicated-coronavirus-mass-testing-covid-19-italy-vo>.

[3] Tolbert, Charles M.; Sizer, Molly (1996): **U.S. Commuting Zones and Labor Market Areas: A 1990 Update. Informe técnico**.

[4] Nobel laureate Paul Romer’s blog:

<https://paulromer.net>.

