

# DÉCONFINEMENT ET LUTTE CONTRE L'ÉPIDÉMIE DE COVID-19 : GROUPER LES TESTS POUR PLUS D'EFFICACITÉ

Les notes de l'IPP

n° 54

Avril 2020

Elie Gerschel  
Christian Gollier\*  
Olivier Gossner\*

[www.ipp.eu](http://www.ipp.eu)

\*Auteurs de l'étude de référence

## Résumé

La propagation de l'épidémie de Covid-19 est d'autant plus rapide qu'il est difficile de détecter les porteurs du virus. Pendant la durée d'incubation, et plus longtemps encore en cas d'absence de symptômes forts, ceux-ci ignorent qu'ils propagent la maladie. Pour limiter le nombre de victimes de l'épidémie, la stratégie adoptée par la plupart des pays touchés est donc la distanciation sociale voire le confinement, stratégie qui ne peut qu'être limitée dans le temps, étant donné son coût économique, social et humain. Aujourd'hui, la voie la plus praticable pour sortir de l'impasse semble requérir un dépistage généralisé de la population. Ce dépistage permettrait d'isoler les personnes porteuses du virus, et d'autoriser les autres à sortir du confinement. Les capacités de production des tests PCR (Polymerase Chain Reaction) sont néanmoins limitées. Bien qu'elles augmentent, elles ne permettent pas d'envisager un dépistage suffisamment systématique et fréquent pour permettre la levée des lourdes mesures sanitaires. L'utilité de chaque test peut cependant être multipliée, en l'appliquant sur le mélange des prélèvements de plusieurs individus. Cette technique déjà éprouvée dans un autre contexte a été l'objet de premières expérimentations fructueuses sur le coronavirus. Nous montrons comment la méthode de test doit être calibrée pour maximiser l'utilité de chaque test disponible.

- Pour enrayer la propagation de l'épidémie, le confinement est aujourd'hui le cœur de la stratégie des pays les plus touchés, mais il est trop coûteux pour être durable. Un dépistage massif pourrait permettre de sortir de l'impasse.
- Le manque de tests limite pour l'instant ce dépistage à quelques dizaines de milliers de personnes par semaine en France, et la production de tests n'augmente pas assez rapidement pour envisager une sortie du confinement.
- La technique des tests de groupe démultiplie l'utilité de chaque test. Un test de groupe, effectué sur le mélange des prélèvements réalisés sur  $n$  personnes, lorsqu'il s'avère négatif, permet de lever le confinement de tous les membres du groupe.
- La méthode nécessite un calibrage précis de la taille des groupes pour optimiser son efficacité. Elle est d'autant plus utile que la prévalence est faible, c'est-à-dire que la part de la population porteuse du virus au moment du test est faible.
- Si la prévalence est en moyenne de 2% (sa vraie valeur est inconnue et son estimation est l'un des objets de cette note), chaque test peut permettre, en moyenne, à 18 personnes de sortir du confinement et donc de reprendre le travail.
- L'utilité des tests justifie d'investir massivement dans l'augmentation de leur production, et ce d'autant plus que les tests de groupe accroissent significativement leur efficacité.
- Notre approche démontre l'intérêt de la méthode déjà éprouvée des tests de groupe qui doit être expérimentée à plus grande échelle.



## Introduction

### Quelle stratégie de déconfinement ?

Pour ralentir la propagation de l'épidémie de Covid-19, le confinement est aujourd'hui la seule option disponible, en l'absence d'informations fiables pour détecter qui sont les porteurs du virus. En effet, les symptômes n'apparaissent que chez certaines personnes contaminées, et toujours après une période d'incubation, allant jusqu'à deux semaines. Pendant cette période, et plus longtemps encore pour les porteurs asymptomatiques, la personne contaminée est porteuse du virus sans le savoir, et a donc des chances élevées d'en contaminer d'autres.

Or ces mesures de restriction de la mobilité représentent un coût économique, social et humain très élevé. Le coût financier est aujourd'hui en large partie absorbé par le déficit budgétaire public, mais le coût économique risque d'exploser si la situation s'avère durable. Cette note se concentre sur le coût économique, pour lequel il est plus facile de donner des estimations quantitatives. Celles-ci doivent être interprétées comme une borne inférieure du coût total.

Dans l'attente d'un éventuel traitement ou vaccin, une sortie du confinement dans des conditions non suffisamment contrôlées nous exposerait à une deuxième vague de l'épidémie, venant frapper des hôpitaux et personnels soignants déjà fragilisés par la première. Dans le cas des épidémies précédentes, les deuxième et troisième vagues furent plus meurtrières encore que les premières<sup>1</sup>. L'obstacle à la levée du confinement est le risque que certains individus porteurs du virus en contaminent d'autres.

Un espoir est né de la disponibilité prochaine de tests sérologiques permettant d'identifier après coup des personnes ayant développé une immunité. A priori, ces personnes ne risquent pas d'être à nouveau malades si elles sont contaminées une nouvelle fois. Cependant, n'autoriser que ces personnes à sortir du confinement serait insuffisant pour permettre de faire repartir les activités économiques aujourd'hui à l'arrêt, car elles sont a priori trop peu nombreuses. En effet, une [estimation par l'Imperial College](#) (Flaxman, Mishra, Gandy et al., 2020) nous indique

qu'au maximum 7% de la population française a été contaminée<sup>2</sup>. De plus, pour éviter une nouvelle vague de l'épidémie, il est nécessaire qu'une part bien plus élevée de la population soit immunisée (plus de 50%). Or, compte tenu du taux de létalité aujourd'hui estimé, atteindre une telle proportion impliquerait un nombre de morts inacceptable. Repérer les personnes ayant développé une immunité n'est donc pas suffisant pour organiser le déconfinement.

### Des tests de dépistage nécessaires mais rares

La meilleure stratégie aujourd'hui envisageable est plutôt d'identifier rapidement de très nombreuses personnes saines à travers un dépistage massif de la population. Ceci peut se faire à l'aide des tests dits "PCR" déjà existants dont les résultats sont désormais disponibles en moins de 24h. Un tel dépistage permettrait, comme c'est déjà le cas, d'isoler les personnes obtenant un résultat positif afin qu'elles ne contaminent pas de personnes saines. Il permettrait aussi et surtout d'autoriser la sortie du confinement pour les personnes obtenant un résultat négatif, permettant la reprise progressive de la vie économique et sociale du pays.

Cependant, notre capacité à conduire des tests n'augmente pas aussi rapidement qu'il le faudrait pour un dépistage individuel systématique. En France, selon les annonces du gouvernement le 28 mars, l'offre actuelle n'est que de 84 000 tests par semaine avec un objectif autour de 50 000 tests par jour. Les États-Unis envisagent d'atteindre 1,2 million de tests par semaine pour une population de 330 millions. Même en Allemagne où sont atteints les 500 000 tests par semaine, l'ordre de grandeur reste très loin de permettre des tests individuels généralisés, qui permettraient un retour au travail d'une grande partie des personnes aujourd'hui confinées. **Chaque test est une ressource rare et précieuse dont l'utilité doit être maximisée.** C'est précisément ce que permet la technique des tests groupés, déjà expérimentée pour le Covid-19, par exemple en Israël, aux États-Unis, et plus récemment en Allemagne<sup>3</sup>.

---

1. Les quatre dernières pandémies, à savoir la grippe espagnole en 1918, la grippe asiatique en 1957, la grippe de Hong Kong H3N2 en 1968, et la grippe A (H1N1) de 2009 ont toutes été marquées par plusieurs vagues, la première étant moins meurtrière que les suivantes (Miller et al., 2009).

---

2. La valeur moyenne estimée est de 3%, mais les marges d'erreur sont élevées. La prévalence se situe probablement entre 1 et 7%.

3. A l'[institut de recherche Technion](#) pour Israël, dans les [hôpitaux du Nebraska](#), et à l'[hôpital universitaire de l'Université Goethe à Francfort](#).

## Utiliser les tests groupés

Le principe remonte aux travaux de Dorfman (1943) sur les tests de dépistage de la syphilis pour le recrutement dans l'armée américaine. Comme pour un test individuel, il faut d'abord faire un prélèvement sur chaque individu. Mais au lieu de réaliser le test sur un seul prélèvement, on mélange les échantillons prélevés sur chacun des membres du groupe. Un test unique est réalisé sur ce mélange, pour révéler la présence ou l'absence du virus dans le mélange. Cette méthode représente une perte de précision si le test est positif car on ne sait pas dans ce cas qui est porteur du virus. Mais si le test est négatif, il permet de savoir que tous les membres du groupe sont des individus sains. Un seul test, s'il est négatif, apporte donc des informations sur le statut (infecté ou non) de plusieurs individus, ce qui démultiplie l'utilité de chaque test, et permet d'optimiser l'usage de cette ressource rare.

**Un enjeu évident est le choix de la taille du groupe.** S'il est trop grand, le résultat sera trop souvent positif, ce qui apporte peu d'information. Dans cette note, nous détaillons trois stratégies différentes de mise en œuvre de la méthode des tests groupés, en fonction de l'objectif choisi :

1. mesurer la part de la population contaminée
2. organiser le déconfinement de la population
3. identifier individuellement les porteurs du virus

Nous verrons que dans les trois cas, les tests groupés permettent d'économiser le nombre de tests de façon significative.

Il est important de noter que les tests ne sont pas une solution suffisante. Ceux-ci ne sont pas infaillibles, et donnent parfois de faux résultats, point sur lequel nous revenons plus loin. De plus, une personne non infectée au moment du test peut le devenir ensuite. Ceci implique qu'une stratégie de déconfinement massif doit s'appuyer à la fois sur des tests groupés réalisés de façon régulière, et sur un mode de suivi des interactions sociales des personnes contaminées, permettant de détecter très rapidement et d'isoler les foyers infectieux dès leur reprise.

La possibilité d'appliquer à grande échelle la méthode des tests groupés n'a pas encore été démontrée. Les premières expérimentations sont cependant encourageantes, et nous cherchons à démontrer ici que l'intérêt de la méthode justifie des investissements importants pour explorer cette voie.

## L'application pratique des tests groupés

Chaque dépistage est constitué de plusieurs étapes. La première est celle du prélèvement. Les suivantes constituent le test lui-même. L'étape de prélèvement requiert du personnel mais aussi du matériel de protection, et surtout un écouvillon à usage unique qui permet de faire le prélèvement dans le nasopharynx ou à l'arrière de la gorge. Le prélèvement doit ensuite subir plusieurs traitements, dont l'inactivation du virus, l'extraction du matériel génétique, et l'ajout de divers produits dont les réactifs, aujourd'hui difficiles à obtenir, qui permettent au matériel génétique de se multiplier. L'étape finale fait intervenir une machine à PCR (pour *Polymerase Chain Reaction*), pour identifier le virus grâce à ses marqueurs génétiques.

L'étape de prélèvement fait intervenir un matériel médical relativement léger et est réalisable par du personnel médical formé en quelques heures aux procédures spécifiques. Bien qu'il puisse y avoir une tension occasionnelle sur l'approvisionnement en écouvillons, leur simplicité technologique permet d'être optimiste quant à la possibilité de fortement augmenter leur disponibilité. En revanche, l'étape de détection du virus dans les échantillons par PCR demande l'accès à des machines rares et coûteuses, et demande la disponibilité de techniciens hautement qualifiés.

Le test groupé consiste à mélanger les prélèvements obtenus sur  $n$  individus, et à appliquer toutes les étapes suivantes uniquement sur le mélange de ces prélèvements. Si le résultat du test est négatif, alors aucun des membres du groupe n'est porteur du virus. Si le test est positif, alors *au moins un* des membres du groupe est porteur du virus.

Il arrive que les tests ne donnent pas les bons résultats. Deux types d'erreurs existent : des individus qui ne sont pas porteurs du virus peuvent obtenir un résultat néanmoins positif (on parle de "faux positif"). Une telle erreur n'est pas un problème grave : elle conduit à prendre plus de précautions que nécessaire. L'autre type d'erreur, le "faux négatif", justifie une attention bien supérieure : il s'agit d'un individu porteur du virus, dont le test donnerait néanmoins un résultat négatif. Le risque est alors que le porteur ne prenne pas de précautions, ne se confine pas, et contamine sans le savoir les personnes avec lesquelles il est en contact. Cette erreur peut intervenir à deux étapes. Le prélèvement peut ne pas contenir le virus, si celui-ci n'est pas présent dans les voies aériennes supérieures au moment du prélèvement, un cas possible pour certains malades, et notamment les personnes dont

le corps a déjà éliminé le virus mais qui restent malades en raison d'une réaction immunitaire excessive. L'erreur peut aussi intervenir pendant le test en machine, cas jugé très rare par le milieu médical.

Le test groupé peut-il aggraver le cas des "faux négatifs" ? Si l'erreur se produit à l'étape du prélèvement, elle n'est pas amplifiée par les test de groupe, car un test, qu'il soit individuel ou groupé, ne détectera pas le virus. En revanche, la non-détection lors du traitement PCR pourrait être accentuée si le test groupé devait trop diluer la présence de virus dans l'échantillon. D'après les expériences déjà réalisées cependant, la sensibilité du test n'est pas affectée par le mélange de plusieurs prélèvements, ce qui devra être confirmé définitivement pour une généralisation de la méthode. A priori, le test groupé ne crée donc pas plus d'erreurs que le test individuel. Dans tous les cas, ces erreurs justifient que les campagnes de dépistage soient répétées, ce qui renforce le besoin pour un nombre élevé de tests. Cela justifie aussi le maintien de tous les gestes barrières afin de limiter les risques de propagation.

## À quels besoins peut répondre la méthode des tests groupés ?

### *L'utilité des tests groupés pour estimer la prévalence du virus*

Le premier objectif, connaître la proportion de personnes porteuses du virus, est un enjeu majeur dans la lutte contre l'épidémie. Cela permet de contrôler la propagation des infections, d'estimer la proportion de cas graves parmi l'ensemble des cas, ou encore d'estimer la létalité du virus. Il serait aussi essentiel de pouvoir identifier quelles sont les zones géographiques ainsi que les catégories d'âge ou socio-économiques les plus touchées. Tout ceci est impossible sans connaître le nombre total de personnes infectées.

Pour cela on ne peut pas se reposer sur les chiffres produits par les hôpitaux. Seule une partie des cas graves arrive à l'hôpital, et cette proportion fluctue probablement au fur et à mesure que les hôpitaux saturent et que les consignes évoluent. On ne peut pas non plus se contenter de regarder l'évolution du nombre de décès, car ils ne sont pas comptabilisés avec précision. A cela s'ajoute le fait que la durée d'incubation et d'aggravation des symptômes implique que ces informations arrivent avec retard par rap-

port au niveau de diffusion de l'épidémie. Les estimations obtenues par exemple à la date du 30 mars 2020 par l'équipe d'épidémiologie de l'Imperial College (Flaxman, Mishra, Gandy et al., 2020) sont très imprécises, avec des écarts allant de 1 à 7%.

La méthode la plus simple consisterait à tester un échantillon tiré aléatoirement parmi la population française (ou parmi la population d'une région ou d'un département, pour obtenir des estimations géographiques). La quantité de tests individuels nécessaire pour obtenir une estimation suffisamment précise est cependant très élevée, alors que la méthode des tests groupés permet une précision équivalente avec bien moins de tests.

En effet, si l'on suppose une prévalence de 2% dans la population (c'est-à-dire que 2% de la population est porteuse du virus), un ensemble de 12 000 tests sur des individus tirés aléatoirement permet d'obtenir une marge d'erreur de 0,25% autour du résultat (voir Encadré 1), un niveau suffisamment réduit pour permettre d'orienter les décisions de politiques publiques.

Une marge d'erreur similaire peut être obtenue avec la méthode des tests groupés, en créant 600 groupes de 20 personnes (soit le même nombre total de prélèvements, 12 000), et ainsi seulement 600 tests au lieu de 12 000. Cela représente une économie drastique pour le nombre de tests à réaliser. La taille des groupes, fixée ici à 20 personnes, pourrait être encore augmentée pour optimiser la performance à nombre de tests fixés<sup>4</sup>. En pratique, la prévalence exacte est inconnue, et la précision pourra être un peu moins bonne que cette estimation<sup>5</sup>. L'économie en nombre de tests reste néanmoins considérable.

### *Optimiser la taille des groupes pour permettre la sortie du confinement*

Nous cherchons à maximiser le nombre de personnes autorisées à sortir du confinement, et ce notamment pour travailler. L'objectif est que chaque test permette de "libérer" un maximum d'individus dont le test donne un résultat négatif, or un test individuel libère au maximum une personne. À l'inverse, un test groupé, s'il est négatif, permet de libérer l'ensemble des membres du groupe. Nous

---

4. À nombre de tests fixé, la performance est optimale lorsqu'environ 80% des groupes contiennent au moins un porteur du virus. Cela augmente néanmoins le nombre de prélèvements nécessaires.

5. Si la prévalence est en réalité de 3%, en utilisant 600 groupes de 20 personnes, l'intervalle de confiance obtenu est un peu plus large, entre 2,66% et 3,37%.

### Encadré 1 : Calculer des intervalles de confiance

On veut estimer la part de la population qui est porteuse du virus (prévalence) et la précision du résultat, avec les tests individuels et les tests groupés. La précision dépend du niveau réel de la prévalence. On suppose une prévalence notée  $p$ , c'est-à-dire par exemple 2% de la population infectée par le virus. Un individu tiré au hasard a donc la probabilité  $1 - p$  (soit ici 98%) de ne pas être porteur du virus.

**Tests individuels.** Si les individus sont choisis aléatoirement, alors la proportion de personnes infectées qui sera mesurée dans l'échantillon, et qui est supposée suivre une loi binomiale, a 95% de chances de se situer dans l'intervalle situé entre 1,76% et 2,27%. Cet intervalle est dû au fait que l'échantillon est une représentation imparfaite de la population.

**Tests groupés.** La probabilité qu'aucun des membres d'un groupe de 20 personnes ne soit contaminé et donc que le test de ce groupe soit négatif vaut  $(1 - p)^{20} = (1 - 2\%)^{20} = 66,8\%$ . La probabilité qu'un groupe obtienne un résultat positif est donc de 33,24% (soit  $100 - 66,8$ ). On dispose de 600 groupes, et l'on suppose que la part de groupes testés positifs suit de même une loi binomiale. La proportion de groupes testés positifs a donc une probabilité de 95% de se situer dans l'intervalle entre 29,5% et 37,0%. En faisant les étapes précédentes dans le sens inverse, on peut savoir à quel niveau de prévalence ces seuils correspondent : respectivement 1,73% et 2,28% (car  $100 - (1 - 1,73\%)^{20} = 29,5\%$  et  $100 - (1 - 2,28\%)^{20} = 37,0\%$ ).

Les deux méthodes permettent donc d'obtenir des intervalles très proches, en utilisant bien moins de tests pour la deuxième.

allons voir qu'il est possible de choisir une taille de groupe telle que chaque test PCR autorise, en moyenne, la sortie du confinement pour un nombre de personnes bien supérieur à 1.

On peut donc construire la procédure suivante. Appelons  $p$  la prévalence du virus (la part de la population porteuse du virus), et soit  $n$  la taille de chaque groupe testé. On suppose pour l'instant les groupes construits de façon aléatoire, et supposons que chacun des individus d'un groupe testé positif reste confiné.

Si  $n$  est trop grand, il est très probable qu'un groupe contienne un porteur du virus. Une grande part des groupes obtiendra un résultat positif au test, et ce dernier sera peu informatif. Si  $n$  est trop petit, chaque résultat négatif ne permettra de libérer du confinement qu'un nombre restreint d'individus. L'enjeu est donc de choisir  $n$  de façon optimale.

La probabilité qu'un individu soit porteur du virus est  $p$  (par exemple, 2%). Celle qu'il soit sain est, symétriquement,  $1 - p$  (dans cet exemple, 98%). Un groupe obtient un résultat négatif si aucun individu n'est porteur. La probabilité de cet événement vaut  $(1 - p)^n$  (soit dans cet exemple, avec un groupe de 30 personnes, 54,5%). En cas de résultat négatif, un test permet de libérer  $n$  personnes. En moyenne, chaque test sur un groupe construit de façon aléatoire permet de libérer  $N = n \times (1 - p)^n$  personnes (dans notre exemple, environ 16 personnes).

L'objectif est de choisir  $n$ , pour une prévalence  $p$  donnée, de façon à maximiser l'effet de chaque test. Un calcul mathématique (condition du premier ordre) permet d'obtenir

que  $n$  doit satisfaire la condition suivante :

$$n = \frac{-1}{\log(1 - p)} \approx \frac{1}{p}$$

Pour des prévalences faibles, la taille optimale des groupes correspond à l'inverse de la prévalence. Plus la prévalence du virus est forte, plus les groupes doivent être petits. On peut ainsi recalculer, en moyenne, combien d'individus chaque test permet de libérer (colonne (3) dans le Tableau 1). Pour une prévalence de 2%, il est en fait optimal de former des groupes d'environ 50 personnes. En comparaison, un test individuel libère en moyenne  $1 - p$  individus (la probabilité que le test soit négatif). Le ratio du nombre moyen d'individus libéré avec un test groupé par rapport au nombre moyen dans le cas d'un test individuel est indiqué en colonne (4) du Tableau 1.

Combien devrions-nous être prêts à payer, en tant que société, pour chaque test effectué ? Outre le coût social et humain du confinement et de l'épidémie elle-même, on peut donner une approximation du coût économique (qui représente donc une borne inférieure du coût social). Si confiner une personne coûte à la société  $q$  euros, alors chaque test permet donc d'économiser environ  $qN$  euros (le coût individuel multiplié par le nombre moyen de personnes libérées du confinement).

Bien que le coût économique reste difficile à mesurer, en première approximation, nous pouvons estimer le coût du confinement d'un individu par le PIB par habitant. Supposons qu'en l'absence de test, le confinement doit être complet pendant deux mois. Le coût du confinement d'un individu pour la société est alors au moins égal à deux mois

de PIB par habitant<sup>6</sup>. Pour l'Union Européenne dont le PIB par habitant est environ de 31 000 euros par an, cela représente un coût  $q = 5\,167$  euros.

Cherchons à mesurer l'économie que permet de réaliser chaque test individuel et chaque test groupé, en se plaçant toujours dans l'exemple d'une prévalence à 2% du virus. Dans le cas du test individuel, le résultat a 98% de chances d'être négatif. Chaque test individuel libère donc en moyenne 0,98 personnes, et permet d'éviter un coût de 5 063 euros.

Prenons maintenant le cas du test groupé. Avec une telle prévalence, la valeur optimale de  $n$  est de 50 personnes. La probabilité que le résultat du test soit négatif est alors de seulement 36% ( $0,98^{50}$ ), mais chaque groupe étant de taille relativement importante, un test libère en moyenne 18,2 personnes ( $0,36 \times 50 = 18,2$ ). Un unique test de groupe permet d'éviter, en moyenne, un coût de 94 077 euros.

La dernière colonne du Tableau 1 révèle le coût économique évité par chaque test groupé pratiqué, indiquant clairement que la production de tests a une utilité considérable pour la société et justifie de forts investissements. L'utilité de la méthode du test groupé diminue à mesure que le niveau de prévalence augmente.

Tableau 1 – Stratégie optimale pour des tests groupés, en fonction de la prévalence du virus

(1) Prévalence ( $p$ )	(2) taille optimale ( $n$ )	(3) nombre moyen de "libérés" ( $N$ )	(4) puissance relative du test groupé	(5) coût évité en euros ( $qN$ )
1%	99	36,60	36,97	189 129
2%	49	18,21	18,58	94 083
5%	19	7,17	7,55	37 046
10%	9	3,49	3,87	18 016
20%	4	1,64	2,05	8 466
30%	3	1,03	1,47	5 317
40%	2	0,72	1,20	3 720

**Note :** On suppose que confiner un individu coûte à la société l'équivalent du PIB par habitant de l'UE rapporté à la durée du confinement.

**Lecture :** Pour un niveau de prévalence de 1%, la taille optimale des groupes testés est de 99 individus. En moyenne, chaque test permet de libérer 36,6 individus, soit 36,97 fois plus d'individus qu'un test individuel. Cela représente en moyenne un coût économique évité de 189 129 euros.

**Source :** Calcul des auteurs.

Remarquons qu'il n'est pas nécessaire de former les

6. L'INSEE fournit une estimation des effets du confinement pour le premier mois à 33% de baisse du PIB dans son dernier [point de conjoncture du 26 mars](#) (INSEE, 2020), prenant en compte le télétravail et le fait que certaines personnes sont autorisées à rejoindre leur lieu de travail. Notre chiffrage est donc plus pessimiste pour le coût économique, mais peut être facilement ajusté.

groupes de manière aléatoire. Tester à la fois tous les membres d'une unité de production (c'est-à-dire par exemple une usine ou une chaîne de montage) permettrait d'améliorer significativement la puissance de la méthode des tests groupés. En effet, si l'un des membres d'un groupe est positif, et si ces membres ont des contacts fréquents et nécessaires, il est probable que les autres membres soient également porteurs du virus. Cela vaut également pour des foyers<sup>7</sup>. Créer les groupes de cette façon peut également faciliter l'organisation des prélèvements.

### Utiliser les test groupés pour obtenir des résultats individuels

Même lorsqu'il s'agit d'obtenir des résultats individuels, la méthode des tests groupés peut permettre de limiter le nombre de tests nécessaires. En effet, tester chaque individu requiert autant de tests que d'habitants. Or si un groupe de taille  $n$  est choisi, en cas de résultat négatif, il permet de donner un résultat pour tous ses membres simultanément.

Le protocole original de Dorfman, déjà mis en place par l'Institut de Technologie Technion, l'Hôpital Universitaire de Francfort, ou les hôpitaux du Nebraska, comprend deux étapes. La première consiste à réaliser un test de groupe. Si le groupe est testé négatif, on peut directement déduire qu'aucun des membres n'est porteur du virus. Si le groupe initial est testé positif, les individus sont tous testés séparément. Dans l'hypothèse où les deux étapes sont faites consécutivement, chaque individu ne subit donc que deux prélèvements au maximum (un seul si le groupe est testé négatif).

On peut alors calculer le nombre total moyen de tests utilisés par individu. Si le groupe est testé négatif (ce qui arrive avec probabilité  $(1-p)^n$  comme expliqué précédemment), on utilise  $1/n$  test par individu. Si le groupe initial est testé positif (ce qui arrive avec probabilité  $1 - (1-p)^n$ ), on utilise  $1/n$  test par individu au premier tour, et un test par individu au second tour. Le nombre total moyen de tests utilisés par individu, noté  $T(n)$  vaut donc :

$$T(n) = \frac{1 + (1 - (1 - p)^n)n}{n}$$

7. À titre d'exemple, supposons une prévalence de 2%, et supposons qu'un membre contaminé d'un couple a 80% de chances de contaminer l'autre membre. Il est alors optimal de faire des groupes de 42 couples soit 84 personnes. Chaque test permet alors, en moyenne, de libérer 31 personnes, une performance bien plus élevée qu'avec des groupes construits de façon aléatoire.

Ici, avec l'objectif d'obtenir des résultats individuels, la taille de groupe optimale doit minimiser  $T(n)$ . Pour une prévalence de 2%, le nombre de tests moyen réalisé par individu est minimisé avec des groupes de 8 individus ( $n = 8$ ). Chaque test permet en moyenne de connaître le statut (infecté ou non) de 3,7 individus, un gain de productivité clair par rapport aux tests individuels seuls.

D'autres méthodes ont été proposées, comme par exemple celle de Sinnott-Armstrong, Klein et Hickey (2020). De manière générale, il est possible d'augmenter encore la puissance des tests de groupe au delà du facteur cité plus haut, avec des protocoles plus sophistiqués, impliquant un nombre plus élevé de prélèvements. Notre objectif est ici de montrer l'utilité des tests par groupe, même lorsqu'il s'agit d'obtenir des résultats individuels.

## Conclusion

Le dépistage massif représente aujourd'hui l'une des principales voies de sortie de la crise sanitaire. Son déploiement est aujourd'hui restreint par nos capacités de production, mais celles-ci peuvent être décuplées par la méthode des tests de groupe. La méthode doit être optimisée et expérimentée à grande échelle pour révéler précisément son potentiel. Il est néanmoins prometteur et justifie des investissements significatifs. La méthode devra ensuite être ajustée en fonction de l'objectif (repérer les porteurs sains, obtenir des résultats individuels...) et de la population cible (la prévalence étant par exemple plus forte dans certaines régions, ou dans certains groupes de population).

Elle ne suffira pas à elle seule à autoriser la sortie du confinement. Elle doit être complétée avec toutes les mesures qui limitent la propagation du virus, incluant potentiellement le port du masque. Les tests devront sans doute être organisés de façon régulière, et gagneraient probablement à être combinés avec des moyens de suivi des interactions, afin de remonter aussi rapidement que possible les chaînes de contamination.

## Étude de référence

Cette note est basée sur l'article : "Group Testing against Covid-19", par Christian Gollier et Olivier Gossner (Série des Documents de travail du CREST, 2020).

## Auteurs

**Elie Gerschel**, Assistant de recherche au CREST-École Polytechnique, affilié à l'Institut des Politiques Publiques.

**Christian Gollier**, Professeur à la Toulouse School of Economics, Université de Toulouse 1 Capitole.

**Olivier Gossner**, Directeur de Recherche au CNRS-CREST, Professeur à l'École polytechnique.

## Références

Dorfman, Robert (déc. 1943). « The Detection of Defective Members of Large Populations ». In : *Ann. Math. Statist.* 14.4, p. 436-440.

Flaxman, S., S. Mishra, A. Gandy et al. (mar. 2020). « Estimating the number of infections and the impact of non-pharmaceutical interventions on COVID-19 in 11 European countries ». In : *Imperial College preprint*.

INSEE, Institut National de la Statistique et des Études Économiques (mar. 2020). *Point de conjoncture du 26 mars*. Rapp. tech.

Miller, Mark, Cecile Viboud, Marta Balinska et Lone Simonsen (juin 2009). « The Signature Features of Influenza Pandemics - Implications for Policy ». In : *The New England journal of medicine* 360, p. 2595-8.

Sinnott-Armstrong, Nasa, Daniel Klein et Brendan Hickey (2020). « Evaluation of Group Testing for SARS-CoV-2 RNA ». In : *medRxiv*.