

## Covid-19 en 2021

### Quelles mesures privilégier pour éviter d'être submergés en mars-avril par l'arrivée d'une 3<sup>ème</sup> vague due au variant « anglais » ?

#### *Comparaison entre l'efficacité de différentes options*

Théoriquement, le remplacement progressif du virus « 2020 » par un variant « anglais » nettement plus contagieux risque de provoquer l'arrivée d'une 3<sup>ème</sup> vague capable de submerger le système hospitalier. L'expérience de 2020 prouve qu'il est possible de contrecarrer une telle évolution, mais quelles sont les mesures les plus efficaces pour y arriver ? Accélération des vaccinations ? Quarantaines ? Couvre-feux ou confinements, généraux ou localisés ?

A partir du modèle épidémiologique le plus simple, le SIR de Kermack et McKendrick (1927) où une équation inadaptée aux évolutions fortement dynamiques a été corrigée (voir notre article de la J&R en ligne de février) il est possible de reconstituer l'évolution de la Covid-19 depuis son arrivée en France début 2020 et de répondre à cette question sans avoir de connaissances particulières en mathématiques.

Savoir utiliser un tableur de type Excel suffit

#### Remarques importantes

L'article étudie les effets opposés de la vaccination et de l'apparition d'un variant « anglais » nettement plus contagieux que le Covid-19 de 2020. Il compare l'efficacité d'actions permettant de limiter le nombre maximal d'infections (attendu pour avril 2021) à un niveau compatible avec les capacités du système hospitalier national.

Il ne prévoit pas la sortie finale de crise, celle qui (espérons-le !) permettra le retour à un mode de vie comparable à celui que nous avons connu jusqu'en février 2020. Mais attention ! Actuellement un virus de coefficient  $R_0$  égal à 3 dans les conditions que nous connaissions avant le début de l'épidémie est en train d'être remplacé par un variant pour lequel, dans les mêmes conditions,  $R_0 = 4,5$ . Ceci fait passer la population minimale devant théoriquement être immunisée (par vaccination, immunité acquise suite à une guérison ou éventuelle immunité innée) de 67% à 78% de la population totale pour voir commencer le reflux spontané de l'épidémie (calcul approximatif basé sur l'équation du SIR de 1927 non corrigée et ne tenant pas compte de l'hétérogénéité entre contamineurs).

**Les nombres de nouvelles infections annoncés quotidiennement par les pouvoirs publics correspondent aux seules infections constatées par des tests. En 2021, le nombre réel d'infections (détectées ou non détectées, symptomatiques ou asymptomatiques) est vraisemblablement environ deux fois plus important** (au printemps 2020, ce rapport était beaucoup plus élevé, compte tenu de la pénurie de tests).

## Sommaire

Covid-19 : influences contraires de la vaccination et du variant « anglais »

Effet d'une accélération des vaccinations

Effet d'un durcissement des mesures modifiant le comportement de la population

Sensibilité des résultats à la contagiosité exacte du variant « anglais »

Conclusions

### Chiffres quotidiens début mars 2021

Nouvelles infections : environ 50 000 par jour dont 50% constatées par des tests

Par rapport au nombre total d'infections :

Admissions à l'hôpital : 2,5 % du nombre total d'infections

Admissions en réanimation, en moyenne 1 semaine après infection : 0,4 %

Décès, en moyenne 2 semaines après infection : 0,5 %

Document du 23 février traitant du même sujet : « A race between SARS-CoV-2 variants and vaccination : the case of the B.1.1.7 variant in France » par Paolo Bosetti, Cécile Tran Kiem, Alessio Andronico, Juliette Paireau, Daniel Levy Bruhl, et al.

<https://hal.archives-ouvertes.fr/pasteur-03149525>

A noter qu'à la différence de ce document, notre article n'inclut pas l'effet d'éventuelles mesure de relâchement de la distanciation physique de la population après le pic d'avril.

## Covid-19 en 2021

### Influences contraires de la vaccination et du variant « anglais »

Une campagne de vaccination a commencé début 2021, et un couvre-feu à partir de 18 heures est entré en vigueur à la mi-janvier. Ces mesures seront-elles suffisantes pour éviter une 3<sup>ème</sup> vague due au remplacement progressif du virus « 2020 » par un variant « anglais » plus contagieux ? Que disent les courbes générées par un tableur de type Excel appliqué à un modèle SIR dont une des équations a été rectifiée ? (voir <https://www.lajauneetlarouge.com/covid-19-interrogations-sur-le-modele-epidemiologique-prise-en-compte-de-la-vaccination-et-du-variant-anglais/> )

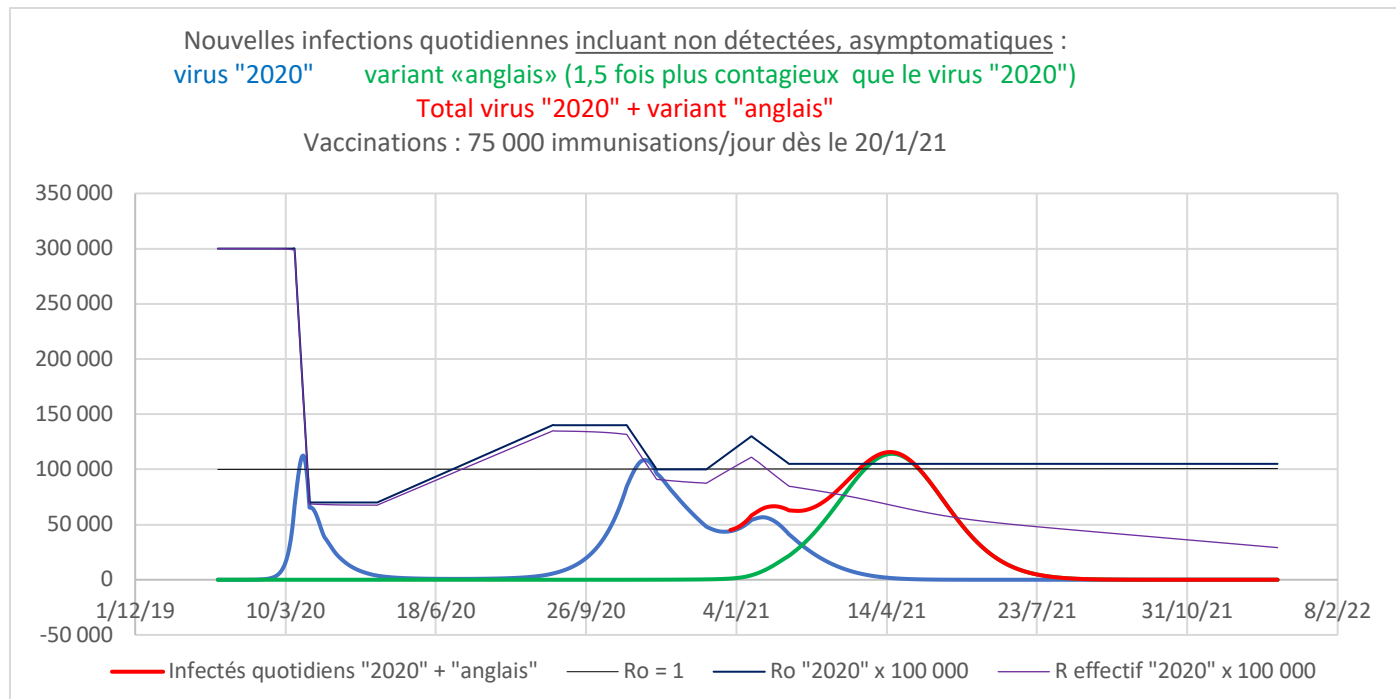


FIGURE 1

A comparer avec la courbe des décès constatés à l'hôpital qui est décalée d'une quinzaine de jours par rapport à la courbe des infections (courbe bleue en 2020, puis courbe rouge en 2021 à partir de la montée des infections dues au variant « anglais »).

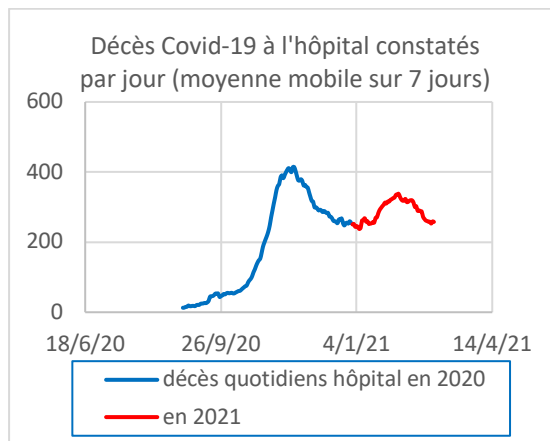


FIGURE 2

Si aucune nouvelle mesure n'est prise, le maintien des  $R_0$  des virus « 2020 » et « anglais » à leurs niveaux actuels ( $R_0$  « 2020 » = 1,05 et  $R_0$  « anglais » = 1,57) va conduire en mars-avril à une 3<sup>ème</sup> vague présentant un nombre maximum quotidien d'infections sensiblement égal à celui des 2 vagues précédentes, mais pendant une durée plus longue (car l'ascension de chacune des vagues précédentes a été arrêtée par un confinement).

Pour tenter de réduire l'impact de cette 3<sup>ème</sup> vague, deux possibilités théoriques dont nous allons comparer l'efficacité :

- augmentation très significative du rythme des vaccinations (passant de 75 000 immunisations/jour à 150 000 immunisations/jour à partir du 15 mars)

- diminutions modérées (2 hypothèses : - 5% et - 10%) des  $R_0$  du virus « 2020 » et de son variant « anglais » grâce à des mesures ayant une influence sur le comportement de la population. D'après notre modèle la proportion de la population S susceptible d'être infectée (car ni vaccinée, ni immunisée suite à une guérison, et ne bénéficiant pas d'une éventuelle immunité naturelle) notée habituellement  $S/N - N$  étant la population totale - est égale en début d'année 2021 à environ 0,86.

Les  $R_{\text{effectif}}$  correspondants sont alors  $1,05 \times 0,86 = 0,9$  pour le virus « 2020 » et  $1,57 \times 0,86 = 1,35$  pour le virus anglais. En début d'année 2021, l'infection due au virus « 2020 » est donc en train de régresser, tandis que l'infection due au variant « anglais » va croître jusqu'à ce que  $S/N$  passe en-dessous de  $1/1,57 = 0,64$ .

Bien noter que pour l'instant la part la plus importante de la différence entre S et N ne provient pas encore des vaccinations, dont l'effet n'a commencé à se faire sentir que fin janvier 2021, mais de l'immunisation acquise suite à des infections (auxquelles s'ajoutent d'éventuelles immunités naturelles).

Le point important est de déterminer l'évolution cumulée des deux types de virus dans différentes hypothèses.

## Effet d'une accélération des vaccinations

Passage à 150 000 immunisations par jour à partir du 15 mars 2021

$R_0$  « 2020 » stable à 1,05 à partir du 15/2/2021

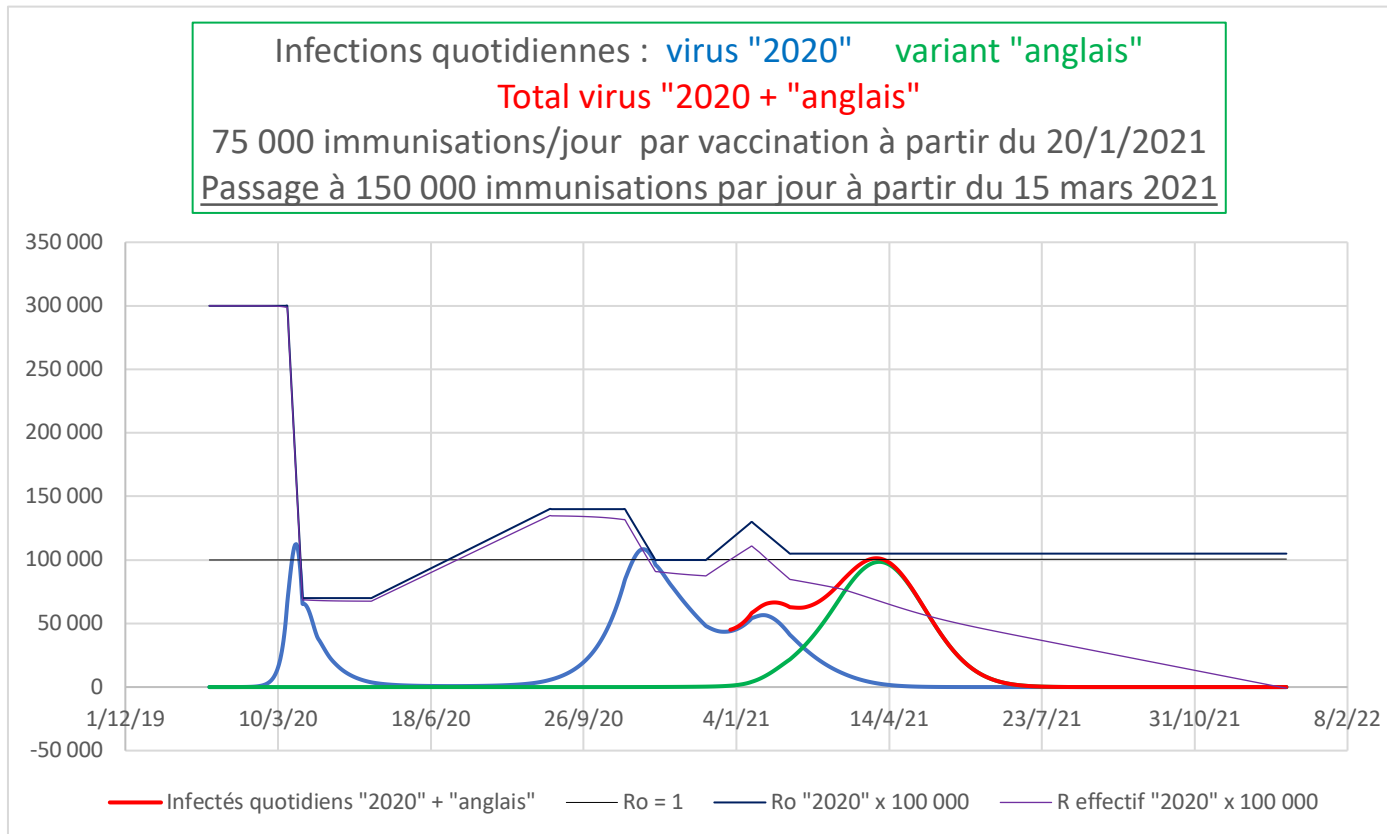


FIGURE 3

De toute évidence, une augmentation réaliste du rythme de vaccination n'est pas en mesure de réduire à elle seule et de façon satisfaisante l'ampleur de cette 3<sup>ème</sup> vague.

Néanmoins, la vaccination prioritaire des plus fragiles aura un effet bénéfique rapide sur les évolutions de la charge des hôpitaux et de la létalité moyenne.

## Effet d'un durcissement des mesures modifiant le comportement de la population

### Réduction de 5% des $R_0$ (« 2020 » et « anglais ») à partir du 1<sup>er</sup> mars

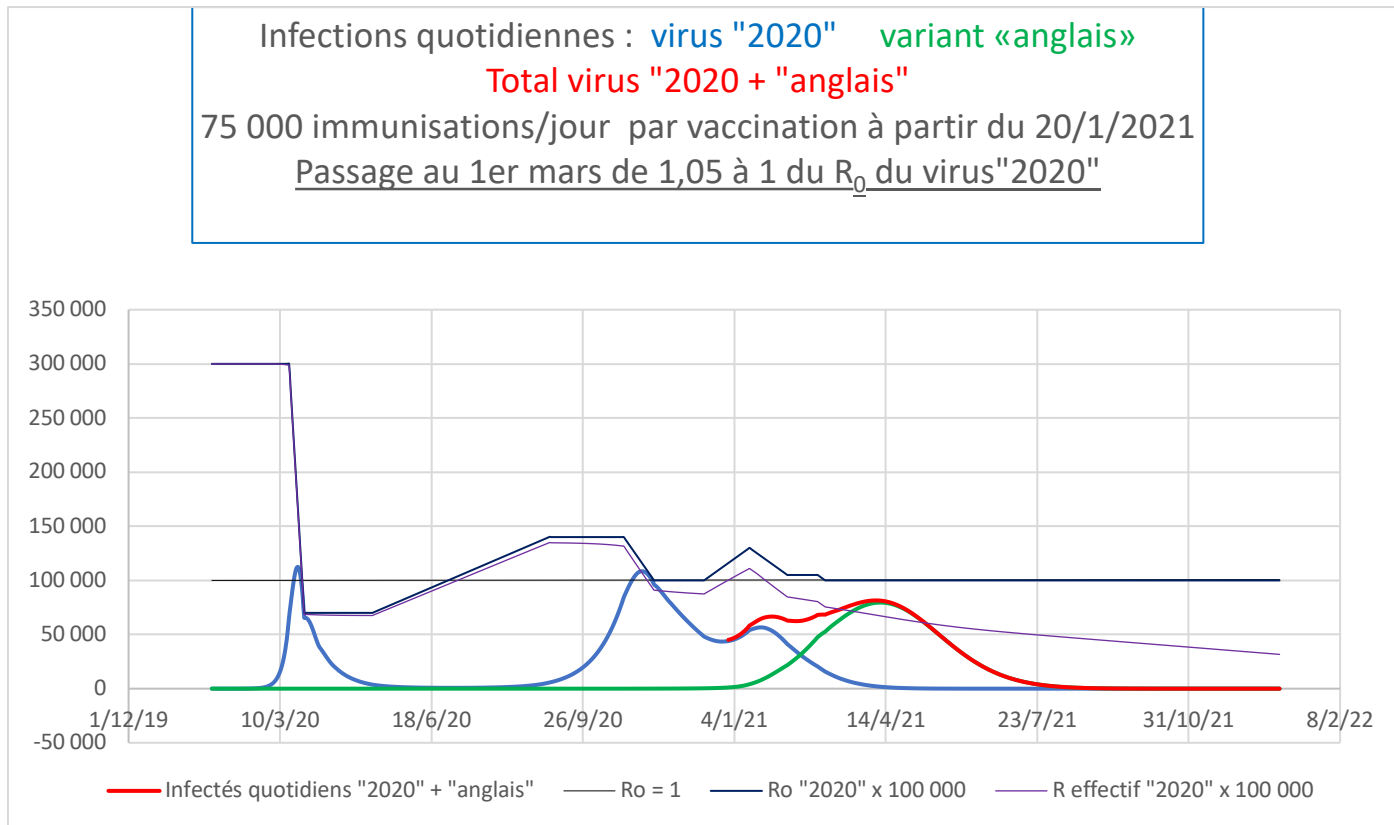


FIGURE 4

A court terme, cette diminution de 5% des  $R_0$  des deux types de virus a un effet plus important que le doublement des immunisations de 75 000 à 150 000 par jour au 15 mars.

## Effet d'un durcissement des mesures modifiant le comportement de la population

### Réduction de 10% des $R_0$ (« 2020 » et « anglais ») à partir du 1<sup>er</sup> mars

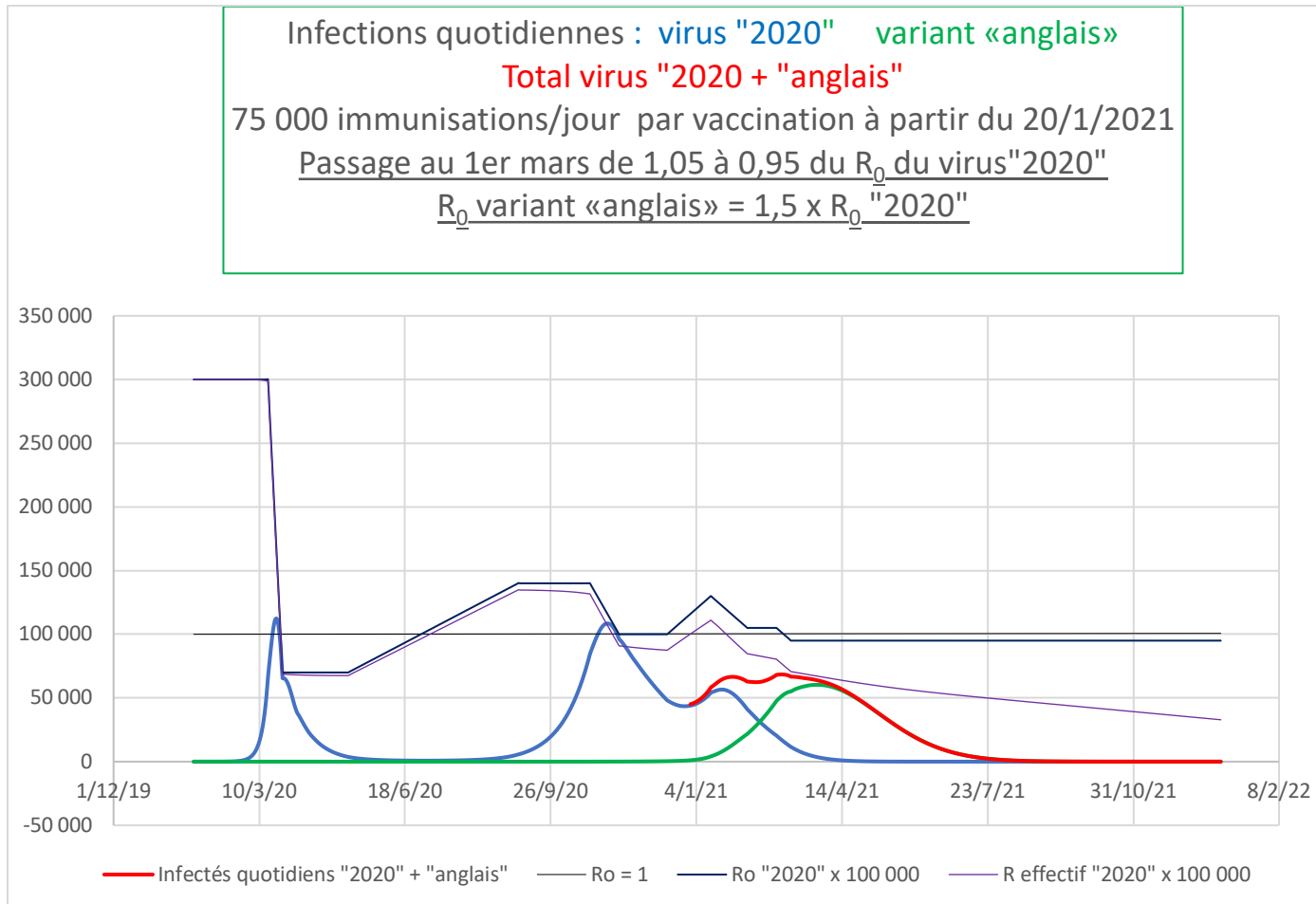


FIGURE 5

Effet accentué lorsqu'on passe à une diminution de 10% des  $R_0$  des deux types de virus.

### Sensibilité des résultats à la contagiosité exacte du variant « anglais »

En fait, la contagiosité exacte du variant « anglais » est mal connue. Si on remonte à la source de l'information donnée par la plupart des médias, c'est-à-dire la note de Nicholas G. Davies (Centre for Mathematical Modelling of Infectious Diseases, London School of Hygiene and Tropical Medicine de Londres)

<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.12.24.20248822v2>

on y lit : «we estimate that VOC 202012/01 is **43–82% more transmissible than pre-existing variants** of SARS-CoV-2»

En comparant la courbe des décès à l'hôpital donnée plus haut à celles fournies par notre modèle (SIR rectifié) pour différentes valeurs de contagiosité, la meilleure estimation semble être une augmentation de 50% par rapport à celle du virus « 2020 ».

Les 3 diagrammes qui suivent montrent combien l'évolution de l'épidémie est sensible à la valeur exacte de l'augmentation de contagiosité due au remplacement du virus « 2020 » par son variant « anglais ».

**Rappel de l'évolution avec un variant de contagiosité de + 50% par rapport au virus « 2020 »**

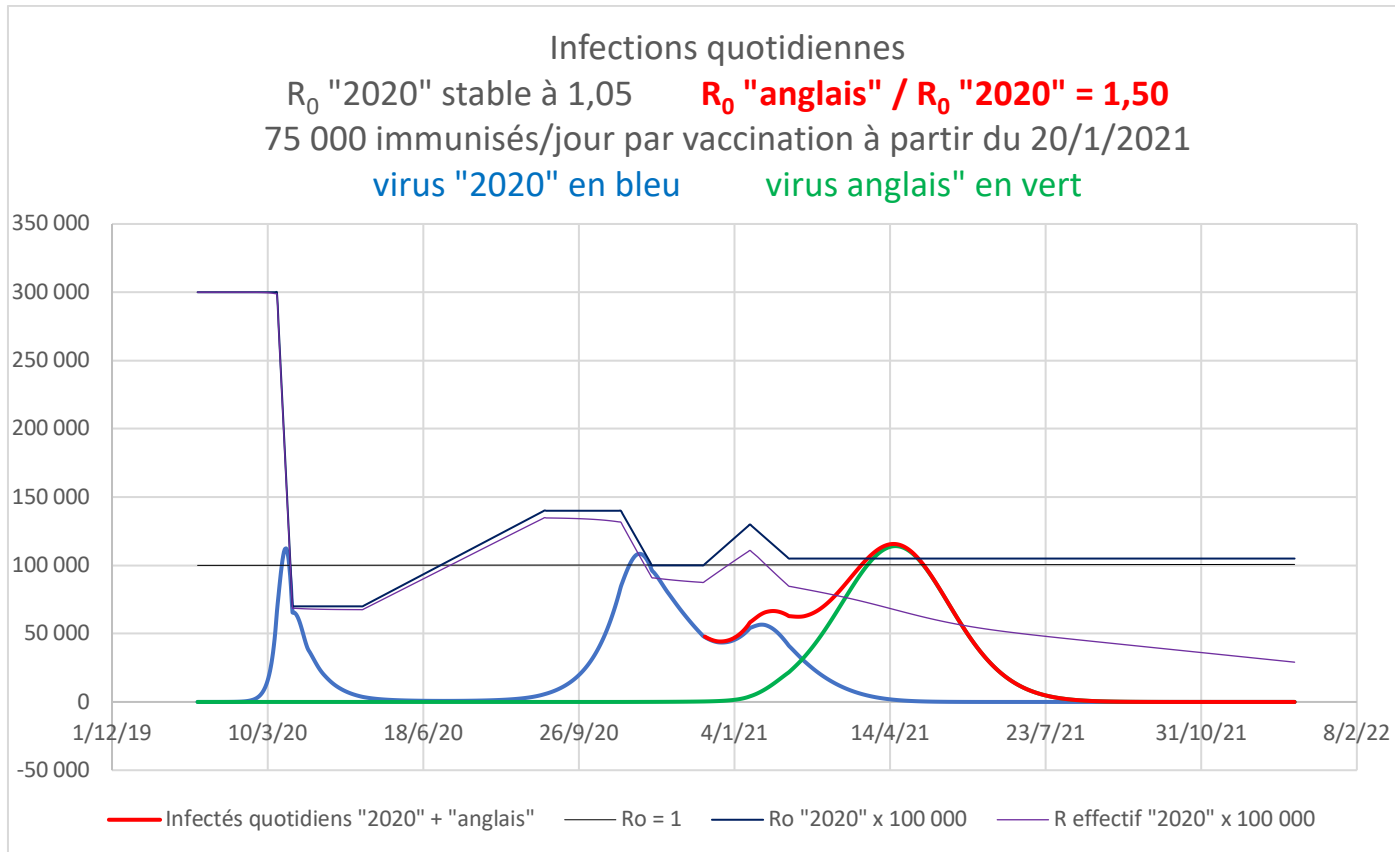


FIGURE 6



\*

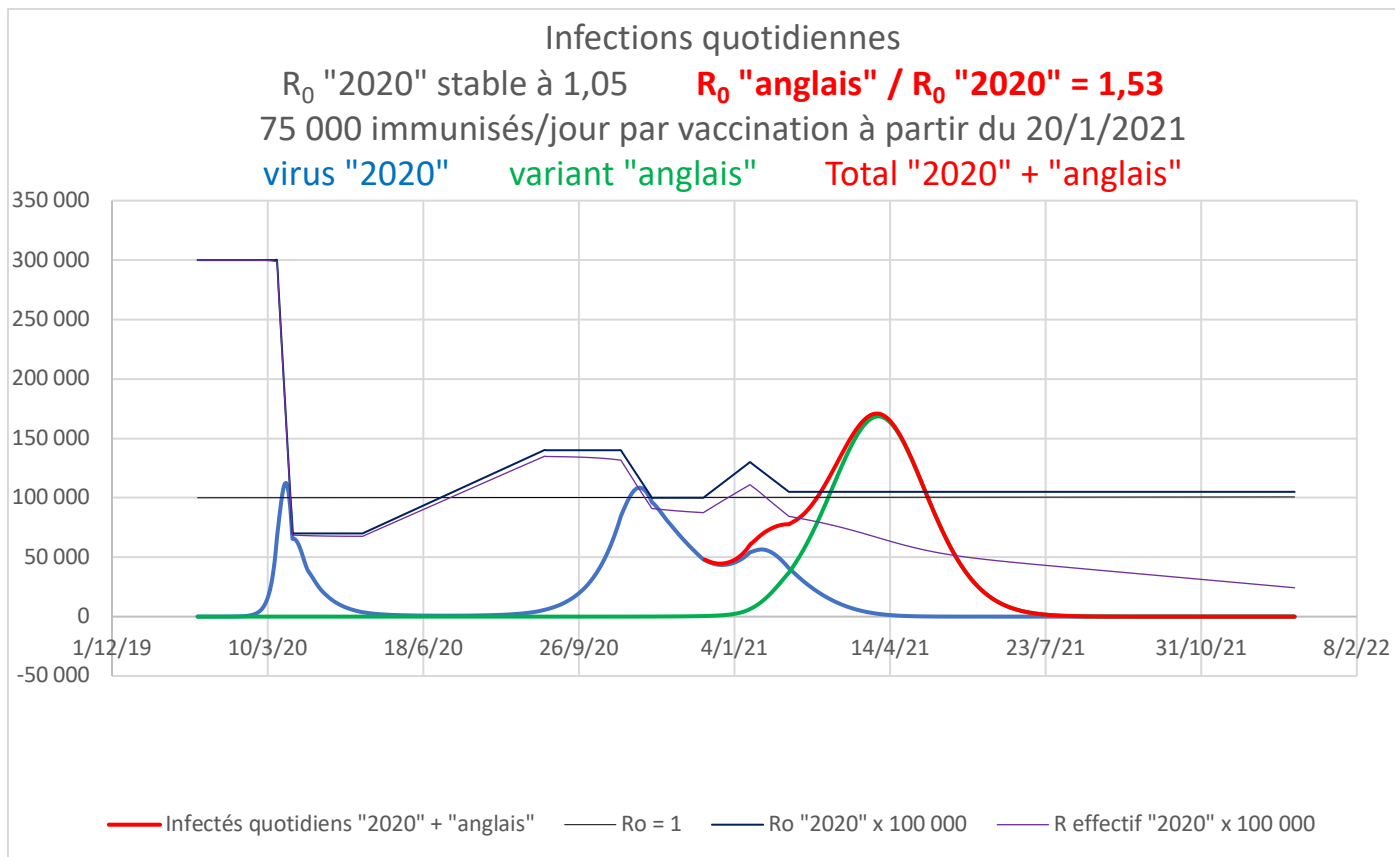


FIGURE 7

Le passage de 50% à 53% de la contagiosité additionnelle du variant « anglais » par rapport au virus « 2020 » fait croître de près de 50% le nombre quotidien maximum d'infections prévisibles en avril.

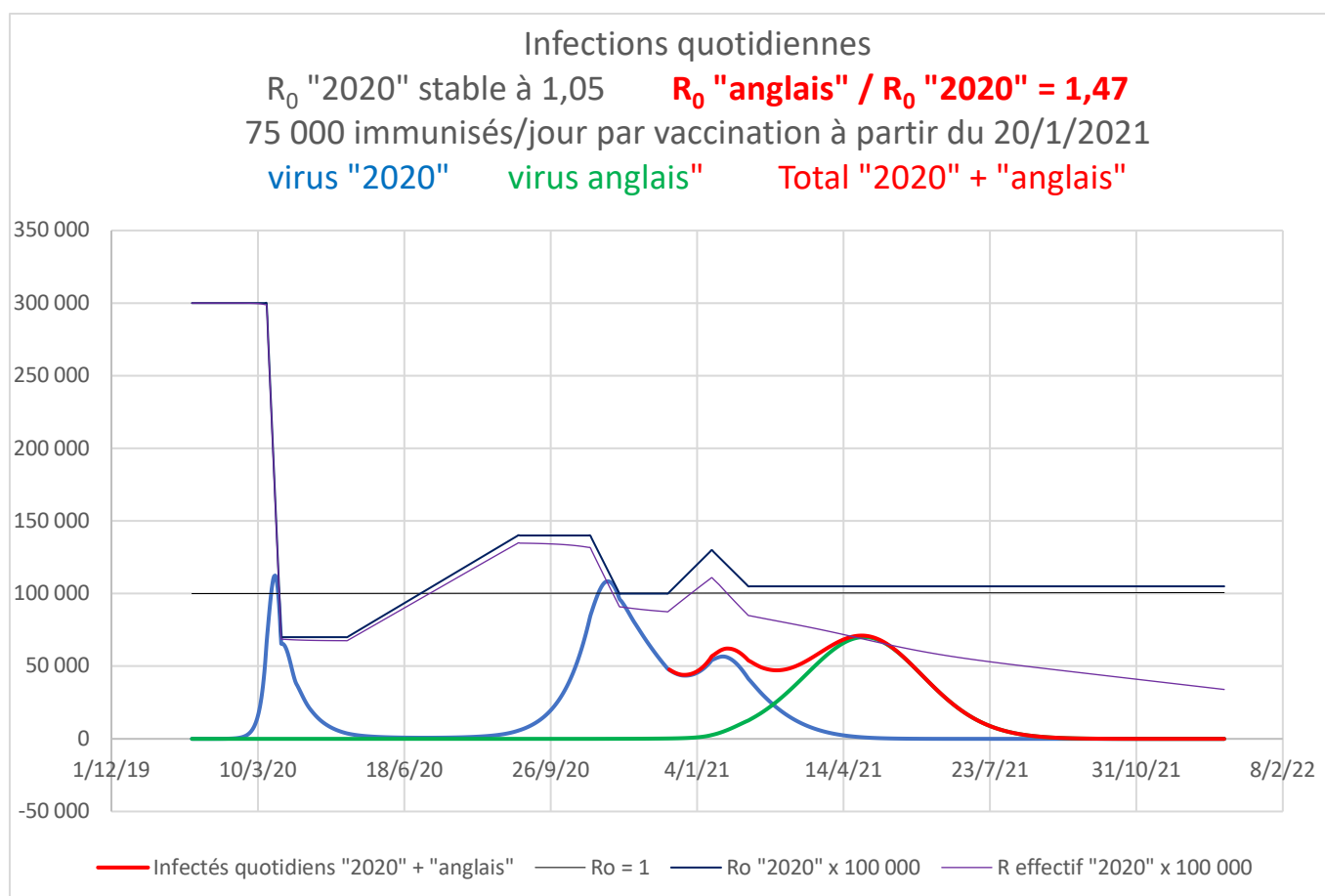


FIGURE 8

Le passage de 50% à 47% de la contagiosité additionnelle du variant « anglais » par rapport au virus « 2020 » réduit de près de 40% le nombre quotidien maximum d'infections prévisibles en avril.

## Conclusions

## NOMBRE DE NOUVELLES INFECTIONS QUOTIDIENNES : PIC D'AVRIL 2021

(infections non détectées – dont asymptomatiques - comprises)

R <sub>0</sub> « 2020 » à partir du 15/2/2021	R <sub>0</sub> variant « anglais » à partir du 15/2/2021	Vaccinations : nombre d'immunisations par jour à partir du 20/1/2021	Nombre quotidien maximum d'infections
1,05	1,05 x 1,5 = 1,57	75 000	115 000
1,05	1,05 x 1,5 = 1,57	75 000 Passant à 150 000 au 15/3/21	105 000
1	1,5	75 000	81 000
0,95	0,95 x 1,5 = 1,42	75 000	70 000
1,05	1,05 x 1,47 = 1,54	75 000	67 000
1,05	1,05 x 1,53 = 1,61	75 000	170 000

Pour réduire l'amplitude prévisible de la vague de mars-avril, des mesures modifiant le comportement de la population et destinées à faire baisser de 5 à 10% les R<sub>0</sub> des 2 types de virus seront plus efficaces qu'une forte augmentation du rythme des vaccinations (telles qu'un doublement du nombre quotidien des immunisés à partir du 15 mars).

A aussi court terme, la contribution d'un accroissement du rythme de vaccination à une modération de la vague attendue en mars avril ne peut être que modeste. Néanmoins, la vaccination prioritaire des plus fragiles aura un effet bénéfique rapide sur les évolutions de la charge des hôpitaux et de la létalité moyenne.

A moyen terme cette vaccination jouera un rôle majeur dans la diminution progressive de la population susceptible d'être contaminée, donc de R<sub>effectif</sub> (courbe violette).

Une extrême attention devra être apportée à la connaissance précise du supplément de contagiosité du variant « anglais » (ou d'autres variants !) par rapport au virus « 2020 » : s'il dépasse 50%, un confinement « dur » paraît inévitable.