



Lettre n° 32

21 avril 2021

Modèle complété : R_0 de la population non vaccinée

<https://corona-circule.github.io/lettres/>

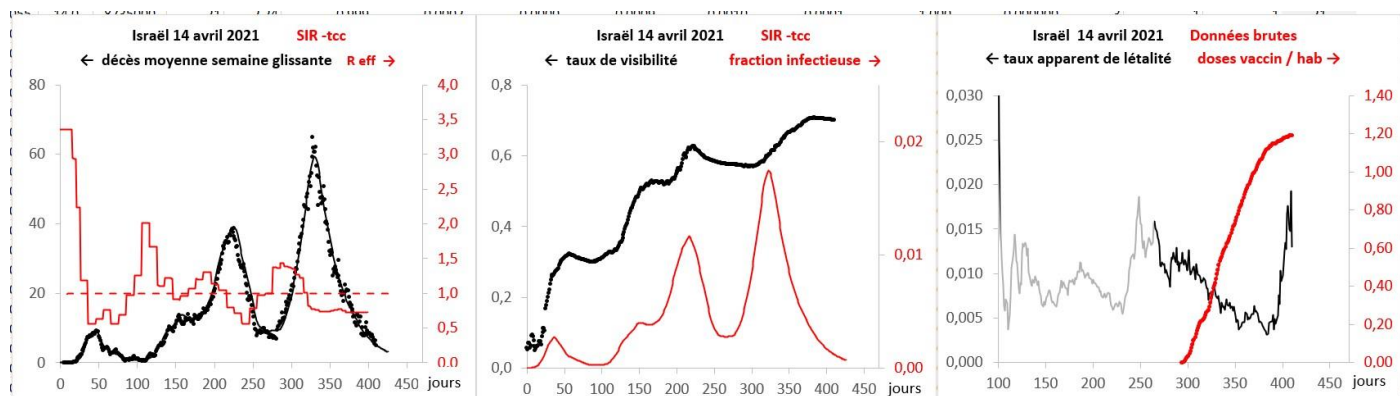
Bonjour, ou bonsoir, si vous êtes à l'autre bout du monde.

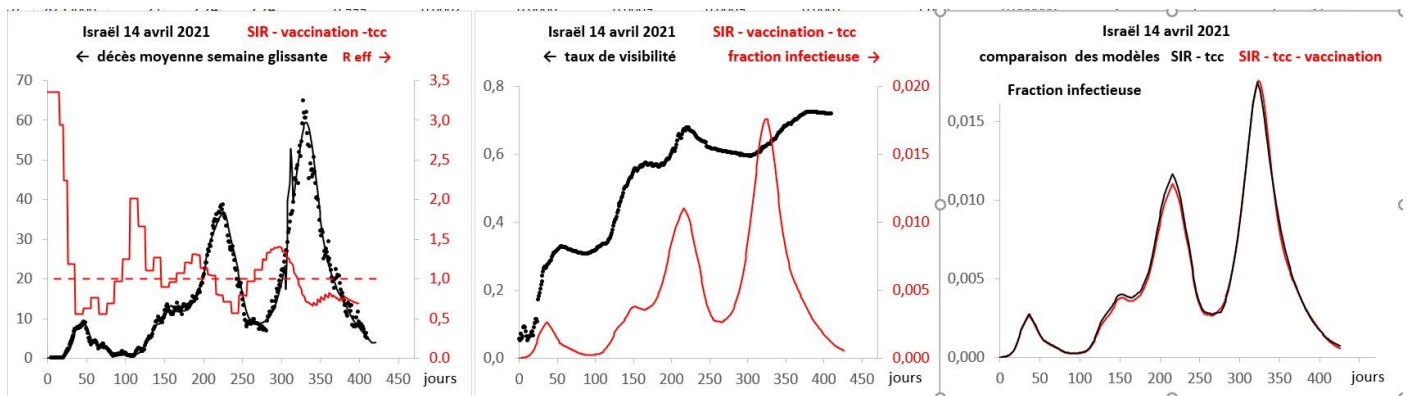
Les efforts de vaccination massive et de confinement ont permis à divers pays (Israël et Royaume-Uni notamment) de réduire très efficacement la circulation du virus, au point de commencer à lever les mesures de distanciation. Nous disposons donc de données quasiment complètes sur l'évolution de l'épidémie au cours d'une campagne de vaccination brève pendant laquelle les divers autres facteurs qui pilotent cette évolution n'ont pas eu beaucoup le temps de changer. Il est donc temps d'introduire l'effet de la vaccination dans notre modèle SIR à temps de contagiosité constante.

Pour simplifier, nous supposons que la première dose de vaccination protège de la contagion la personne vaccinée ainsi que les personnes qu'elle rencontre, pendant tout le temps qui nous intéresse ce qui écarte la question d'éventuels rappels. Cette protection apparaît après un certain délai, que nous prenons égal au temps de contagiosité (fixé à 14 jours), avec une probabilité égale au « taux de protection du vaccin ». Pour ce dernier, nous avons choisi la valeur 0,9 qui semble adaptée au cas du vaccin Pfizer-Biotech utilisé majoritairement en Israël et en France. Nous verrons que la valeur choisie pour ce taux de protection peut avoir une certaine influence sur certains résultats.

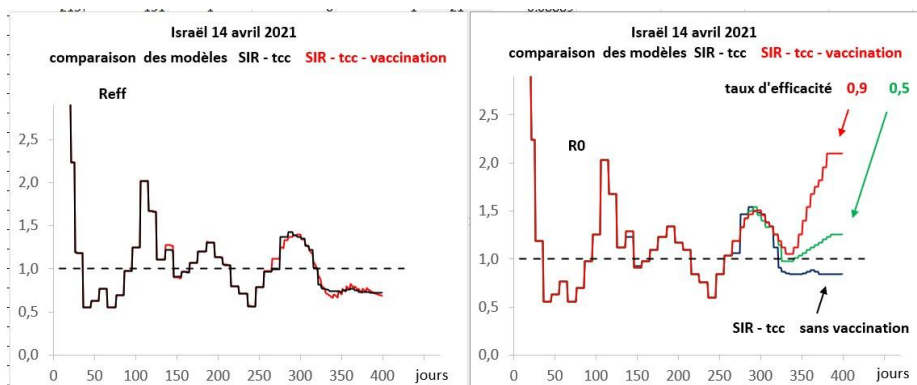
En pratique, nous prenons l'augmentation au jour J-14 de la fraction de personnes vaccinées, multipliée par le taux de protection pour obtenir l'augmentation au jour J de la fraction immunisée par vaccination. Nous la retranchons de la fraction susceptible (S) au jour J et l'ajoutons à la fraction cumulée R (retirés) au même jour J. Le calcul de la fraction cumulée de décès, précédemment calculée comme $D = R \times \text{taux de létalité}$, nécessite une correction tenant compte de la fraction cumulée de personnes vaccinées. Sur le tableur, c'est simple... la seule difficulté est la réactivité du modèle SIR - tcc qui peut conduire à des oscillations lorsque ses paramètres d'entrée varient rapidement. Ainsi, nous n'avons pu prendre en compte cette fraction cumulée de personnes vaccinées que sous la forme de valeurs moyennes sur semaine glissante.

Notre premier exemple est celui de l'état d'Israël. Nous allons présenter l'analyse par le modèle SIR - tcc « classique » (ci-dessous), puis par le modèle modifié « SIR – tcc – vaccination » (page suivante)





Les différences d'affinement par les deux modèles sont minimales. Sur la figure de droite nous avons fait une comparaison plus précise concernant la fraction infectieuse calculée. La différence n'est pas appréciable ! Nous avons fait le même type de comparaison pour le taux de reproduction de l'épidémie, R_{eff} , puis pour R_0 , voir ci-dessous :



Les trajectoires de R_{eff} sont identiques dans les deux modèles, seules les trajectoires de R_0 diffèrent. Cela n'est pas étonnant, connaissant la relation $R_{eff}(t) = R_0(t) \times S(t)$ et la réduction de $S(t)$ due à la vaccination. Et l'effet est d'autant plus fort que le taux de protection est élevé.

Nous appellerons « vraies » valeurs de R_0 celles qui sont données par le modèle tenant compte de la réalité complète avec l'effet de la vaccination. Ce vrai R_0 ne concerne que la population non encore immunisée. Rappelons que R_0 est proportionnel à la fréquence de fréquentation entre individus multipliée par la probabilité que chaque rencontre conduise à une contamination ; le premier facteur est sensible aux mesures de distanciation sociale, le second, à la contagiosité du virus.

Quels enseignements pouvons-nous tirer de ce premier exemple ?

- 1/ Le suivi de la dynamique de l'épidémie (R_{eff} , fraction infectieuse) peut se faire sans tenir compte de l'effet de la vaccination. Ce dernier effet est inclus (dissimulé) dans les valeurs de R_{eff} .
- 2/ On peut séparer l'effet de la vaccination de celui des autres facteurs (distanciation sociale, variants plus contagieux) qui déterminent les valeurs de R_{eff} , en suivant l'évolution du « vrai » R_0 .

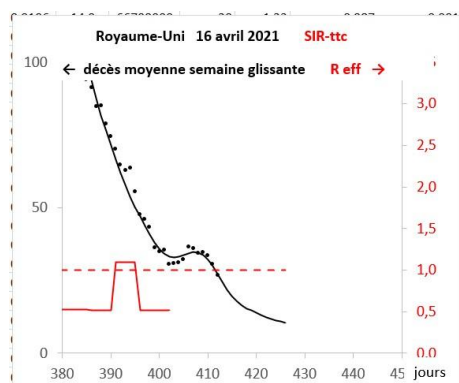
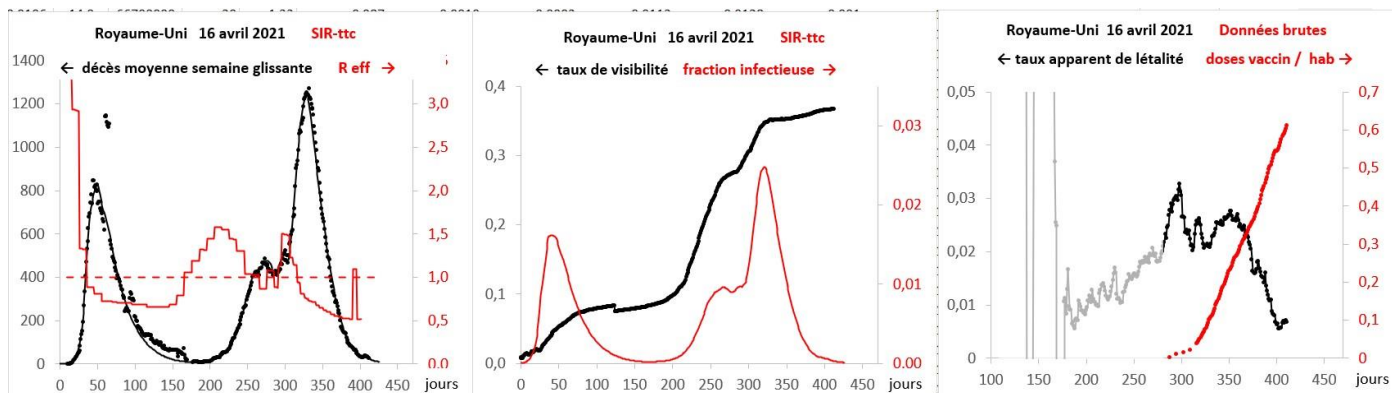
Concernant l'état d'Israël, nous remarquons que le succès spectaculaire de la vaccination a dissimulé une tendance à l'augmentation du vrai R_0 . S'agit-il de l'arrivée du variant anglais ? ou bien d'un relâchement progressif – et relatif – des mesures de distanciation, à l'approche du « bout du tunnel » ?

Nous pensons que cette remontée du vrai R_0 pendant la campagne de vaccination s'explique par un **comportement inhomogène de la population** (*notre modèle homogène ne décrivant que les comportements moyens*). La circulation du virus, faible parmi les premiers vaccinés, augmente à mesure que le nombre de personnes restant à vacciner diminue. Ce phénomène dont on verra qu'il est général pourrait avoir diverses explications :

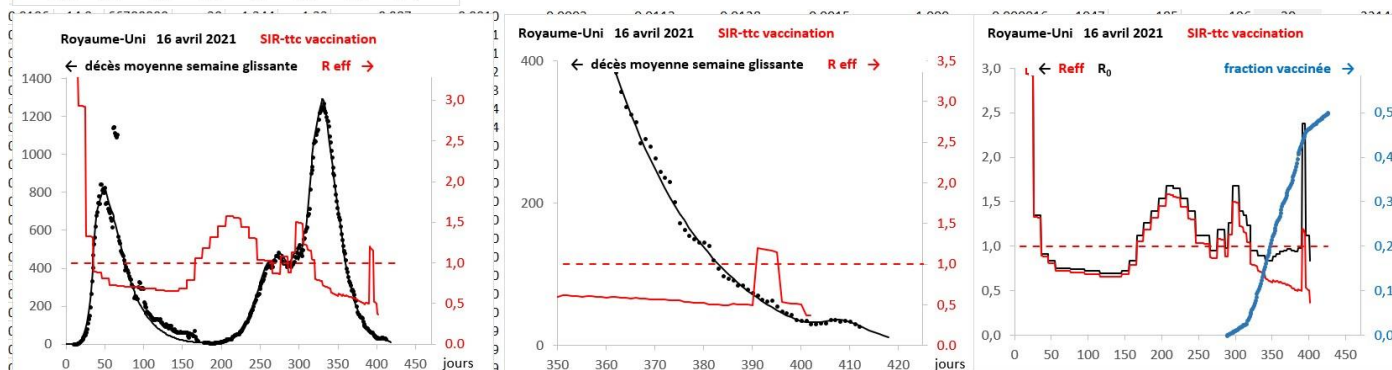
- Une modification de la pyramide des âges de la population non vaccinée, en raison d'un choix de priorité dans la campagne de vaccination (cas de la France)

- Un lien possible entre la réticence à la vaccination et le manque de respect des mesures de distanciation sociale ; ce manque de respect pouvant éventuellement résulter des contraintes d'activité professionnelle.

Les résultats de l'analyse des données d'autres pays aideront peut-être à faire la part de ces divers mécanismes. Commençons par le Royaume-Uni qui semble vraiment voir, comme Israël, le bout du tunnel et dont le gouvernement vient de décider l'ouverture des bars et pubs.

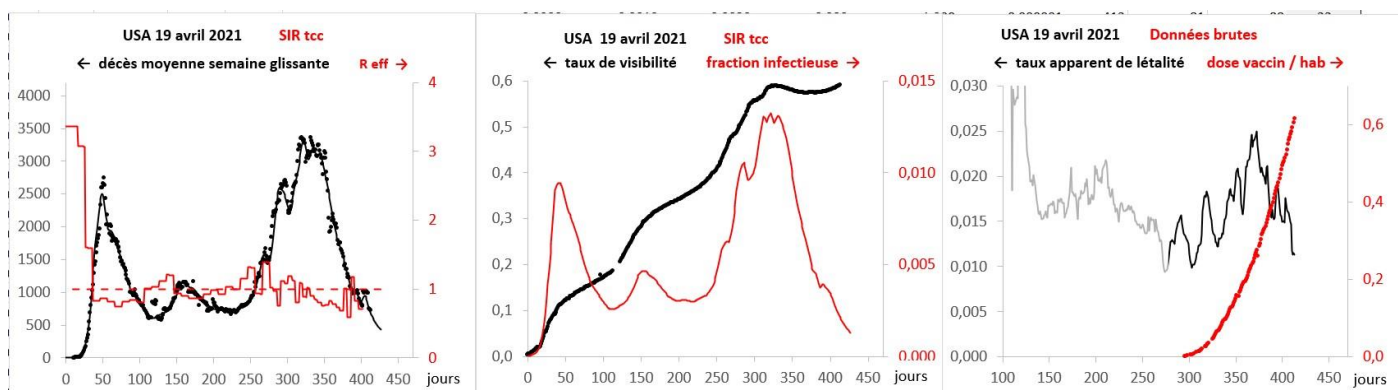


Nous avons zoomé ci-contre la dernière partie de la figure de gauche, afin de parvenir à un ajustement précis des dernières valeurs de R_{eff} , malgré la faible valeur atteinte par le nombre de décès en cette fin de pandémie. On remarquera un épisode de réactivation de la circulation du virus, qui semble sans lendemain.

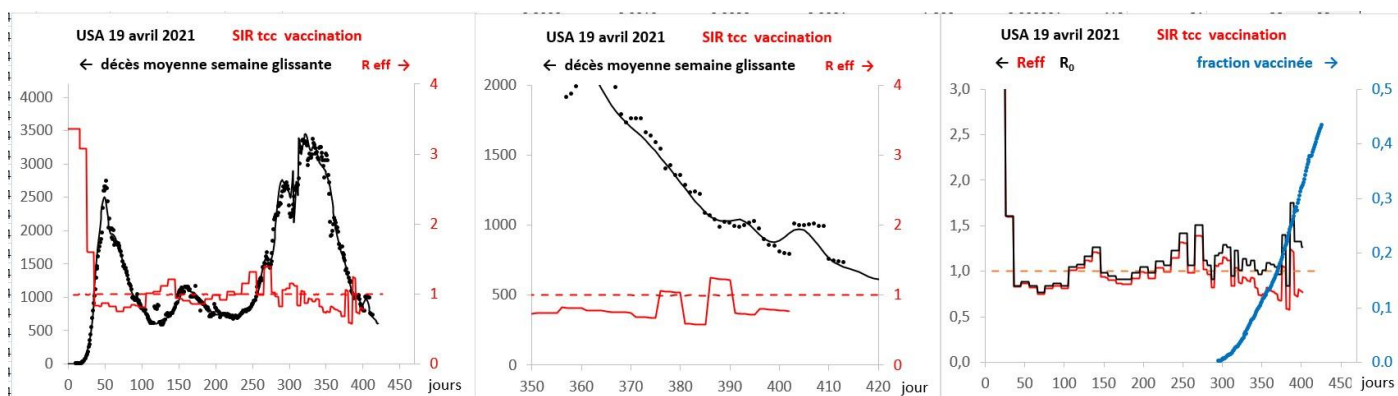


L'introduction de la vaccination dans le modèle, comme dans le cas d'Israël, ne modifie pas les valeurs de R_{eff} et de la fraction infectieuse (et celles du taux de visibilité non plus). Les valeurs du vrai R_0 indiquées par la courbe noire sur la figure de droite ont la particularité, contrairement à celles d'Israël, de rester durablement en-dessous de la valeur 1. C'est évidemment une conséquence des restrictions très sévères imposées depuis le début de l'année, et qui a contribué au succès remarquable de la lutte contre la pandémie. De telles restrictions, si elles avaient été appliquées à temps, auraient permis au Royaume-Uni d'éviter toutes les vagues de l'épidémie.

Maintenant, les USA :

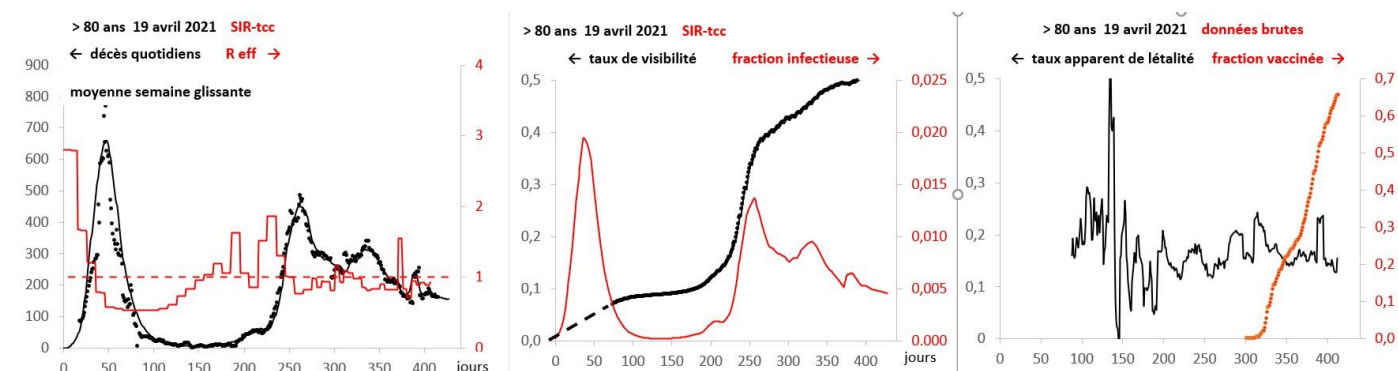


Le petit rebond, présenté dans le zoom ci-contre, résulte d'un pic du nombre de décès (2600) localisé le 7 avril ; sa forme de créneau est un artefact du calcul en moyenne glissante sur 7 jours. Ce même artefact de forme caractéristique nous semble de plus en plus fréquent et nous l'attribuons aux **fluctuations de plus en plus visibles en fin d'épidémie**, lorsque les données analysées deviennent trop faibles pour justifier l'approche « en moyenne » de notre modèle.

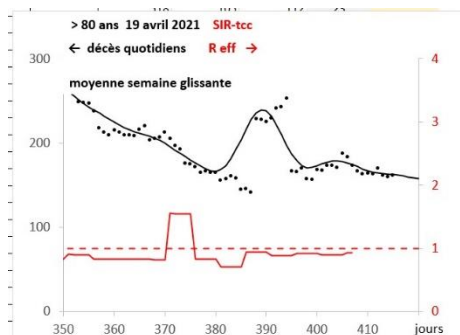


Le vrai taux de reproduction R_0 atteint, comme en Israël, des valeurs élevées. Cette hausse serait catastrophique si elle n'était pas compensée par le rythme élevé de la vaccination. D'autre part, la circulation du virus semble avoir ralenti les bénéfices de la vaccination, si l'on en croit la courbe du taux de létalité, dont la baisse n'a commencé que deux mois après le début de la campagne de vaccination.

Passons maintenant au cas de la France, avec la tranche d'âge > 80 ans dont le taux de vaccination est comparable à celui des exemples précédents. Nous verrons les autres tranches dans la prochaine lettre.

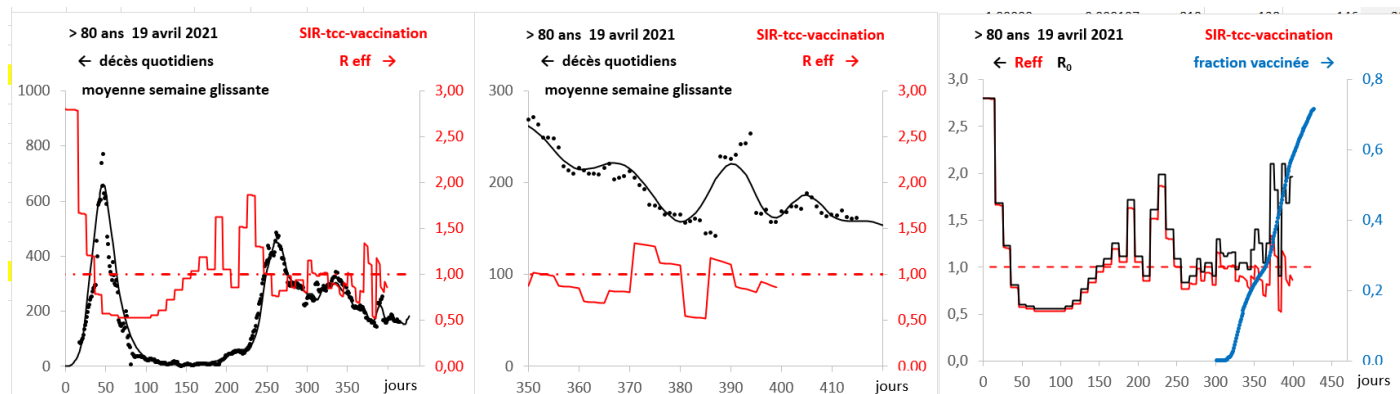


Le peu de variation du taux de létalité depuis au moins 6 mois semble indiquer que cette tranche d'âge a été peu touchée par le variant anglais, sans doute parce que la vaccination est intervenue à temps !



Le zoom ci-contre permet de faire la part d'une fluctuation importante due à un pic de décès (780) le 26 mars, et de l'évolution « normale » de R_{eff} dont les valeurs restent proches de la valeur critique 1. La circulation du virus est donc encore très active dans la partie non vaccinée de cette tranche d'âge.

L'analyse par le modèle avec vaccination (avec taux d'efficacité 0,9), voir ci-dessous, montre que le vrai R_0 suit une tendance qui serait, comme aux USA, dramatique si elle n'était pas compensée par l'effet de la vaccination.



Le vrai R_0 vient de presque doubler au cours des trois derniers mois. Cette remontée concernant la population non encore vaccinée est trop importante pour s'expliquer uniquement par le passage au variant anglais, dont nous avons vu que l'excès de contagiosité est voisin de 60 % (lettre n°31). L'ampleur de cette remontée nous semble traduire aussi, comme dans tous les exemples précédents, un certain **relâchement des comportements de confinement**. Connaissant le sage comportement de notre population la plus âgée, nous pensons que cette remontée pourrait être induite par les contacts avec le reste de la population, encore majoritairement non vaccinée. L'étude de cette hypothèse nécessite un modèle de tranches en interaction auquel nous pensons depuis longtemps, évidemment bien plus ardu ! Ce sera peut-être une affaire à suivre...

En annexe vous trouverez des nouvelles fraîches de la situation hospitalière en France.

Portez-vous bien, faites-vous vacciner et restez vigilants.

François VARRET, Physicien Professeur Émérite à l'Université de Versailles Saint-Quentin

Mathilde VARRET, Chargée de Recherche INSERM (Génétique, Biologie) Hôpital Bichat.

A voir :

Conférence organisée par X-Sursaut avec Ph. Kourilsky :

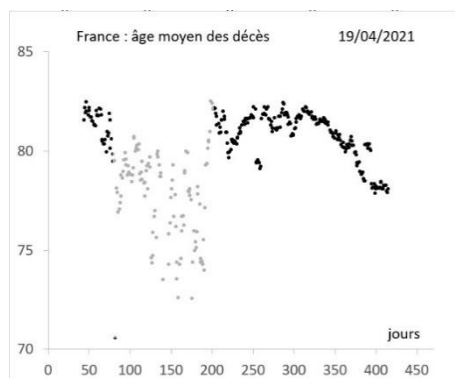
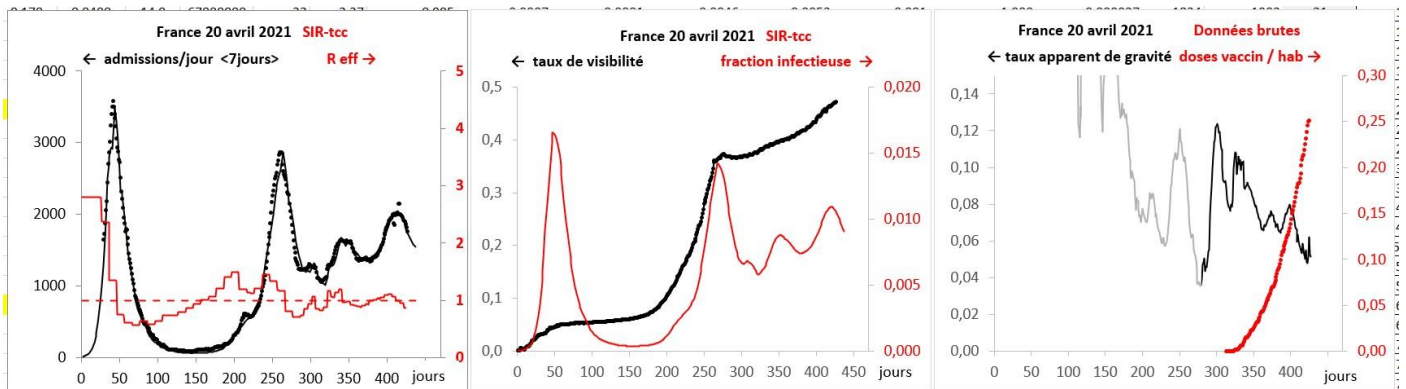
<https://www.youtube.com/watch?v=AB3h9IH0-Dk&list=PL3OERS6fphxTILw1FkPz-P-i723OnAsly&index=33>

(intervention de FX Martin sur les modèles à partir de 38 mn 20)

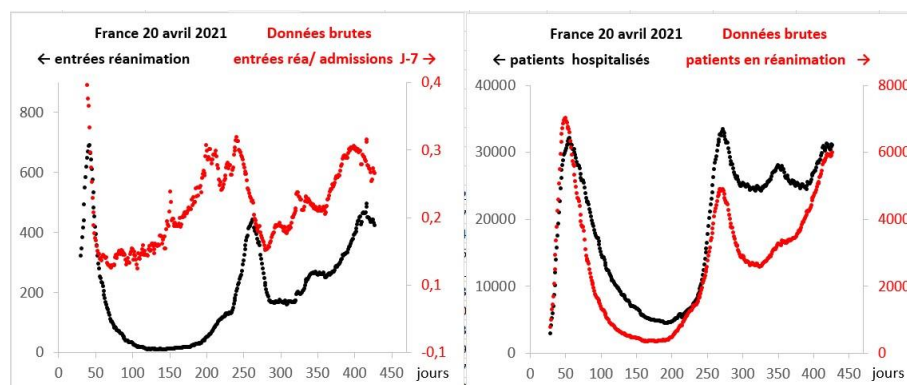
Le bout du tunnel

[Le Billet de François Morel par François Morel - France Inter](#) (16/04/2021)

Situation hospitalière en France



Le pic des admissions est passé et la baisse du taux de gravité (nombre quotidien de cas graves nécessitant hospitalisation/ nombre de nouveau cas) se confirme. Elle semble liée au rajeunissement de la population hospitalisée (figure ci-contre ; son échelle est approximative en raison des hypothèses de notre calcul à partir des données de tranches d'âge ; la partie en symboles clairs correspond à la période où le nombre de décès était faible et nous a semblé donner des résultats non significatifs).



Le nombre d'admissions en réanimation vient tout juste de commencer à baisser (figure de gauche). Il semble principalement résulter de la baisse confirmée du taux de passage en réanimation.

Le nombre total de personnes hospitalisées ainsi que le nombre de patients en réanimation semblent culminer et laissent présager, compte tenu de l'évolution des entrées, **une prochaine décroissance**.