



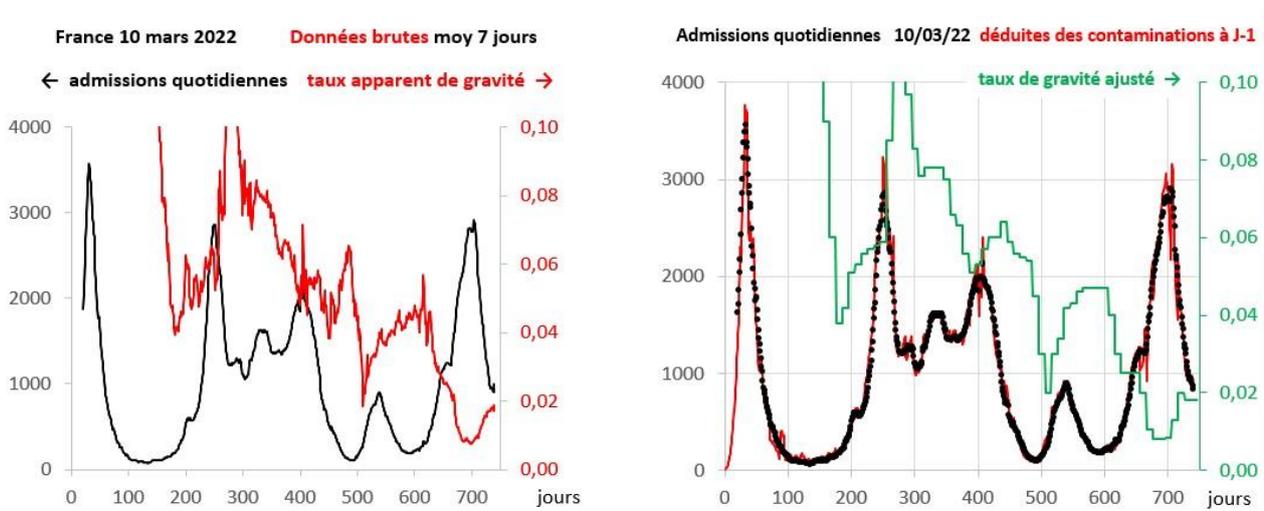
## Rebond de l'épidémie et projection des données hospitalières

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

Nous poursuivons l'étude prospective de la fin possible de la pandémie, associée aux variants de la famille Omicron. Dans la précédente lettre nous avons considéré trois scénarios possibles pour l'évolution future du taux de base  $R_0(t)$ , et déduit l'évolution du nombre de contaminations quotidiennes que l'on s'attendrait à observer, tous les autres paramètres du problème étant supposés constants. Rappelons qu'il s'agit de cas constatés, et que la proportion de contaminés non-symptomatiques a encore augmenté avec l'arrivée des variants Omicron. Pour l'analyse des données nous prenons actuellement un taux de visibilité fixé à  $1/3$  (au lieu de  $2/3$  pour le variant Delta).

Nous abordons maintenant les aspects hospitaliers. Pour cela, il faudra déduire du nombre estimé des contaminations journalières, celui des admissions (« flux d'entrée »), puis le « flux de sortie ». A partir de ces deux flux nous pourrons faire le bilan des personnes séjournant à l'hôpital (« total hospitalisés » figurant sur le site Santé Publique France). Dans un premier temps, nous allons déterminer les bonnes lois de passage entre ces divers flux.

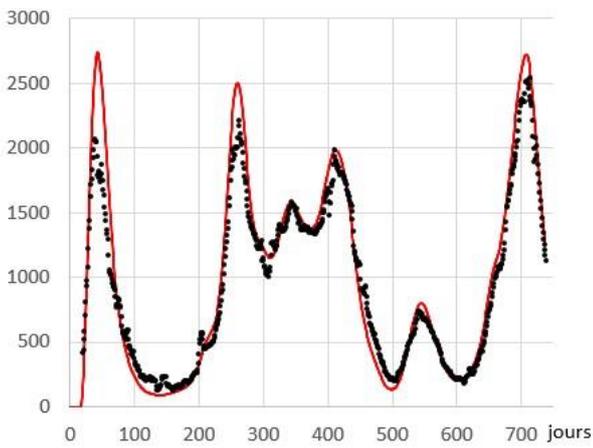
La première étape de ce processus : contaminations  $\rightarrow$  admissions, est quasi-immédiate avec un taux de passage, le « taux apparent de gravité », qui a beaucoup varié au cours du temps. Nous l'avons calculé, jusqu'à présent, en évaluant chaque jour le rapport des admissions au jour J et des contaminations au jour J-2, voir figure de gauche.



L'ajustement présenté sur la figure de droite permet de préciser la loi de passage. Nous avons estimé le nombre d'admissions au jour J comme le produit des contaminations au jour J-1 par un taux de gravité ajusté par paliers de 10 jours (ce délai réduit à 1 jour résulte d'essais comparatifs). La courbe ajustée du taux apparent de gravité est naturellement très voisine de celle que nous avons obtenue précédemment. Le point important est que ce taux n'évolue pas trop actuellement. Il sera donc raisonnable de le prendre constant (valeur 0,02) pour les divers scénarios de l'évolution future. D'autre part le total des admissions calculées par cette procédure coïncide assez bien (à + 1% près) avec le total des admissions observée à ce jour.

Le calcul du flux des sorties (guérisons + décès) est plus compliqué car le temps de séjour à l'hôpital est très variable. Nous avons choisi de décrire cette distribution de délais par une loi Gaussiennes de valeur médiane  $\delta$  et d'écart-type  $\sigma$ . Pour cela, nous avons ajouté au tableur des colonnes supplémentaires qui précisent comment le flux d'entrée au jour J sera réparti entre des flux de sortie partiels aux jours J+1, J+2, ...J+n (en pratique n=29). Le flux de sortie au jour J est alors donné par la somme des flux partiels de sortie calculés dans les lignes J-1, J-2, ...J-n.

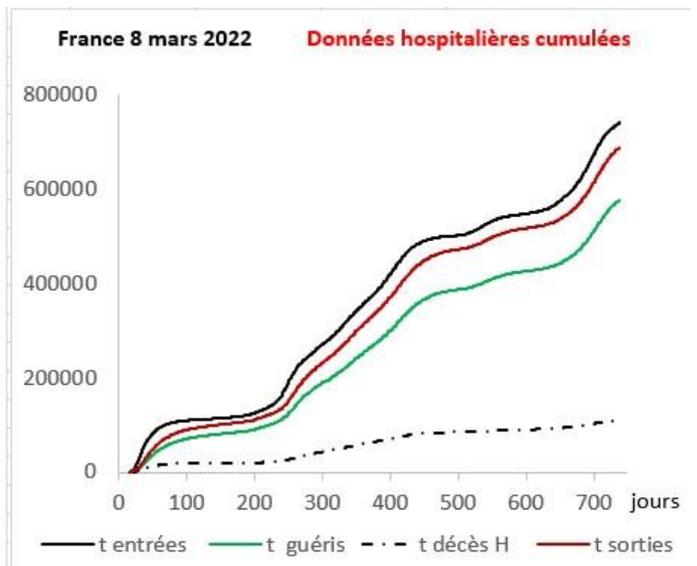
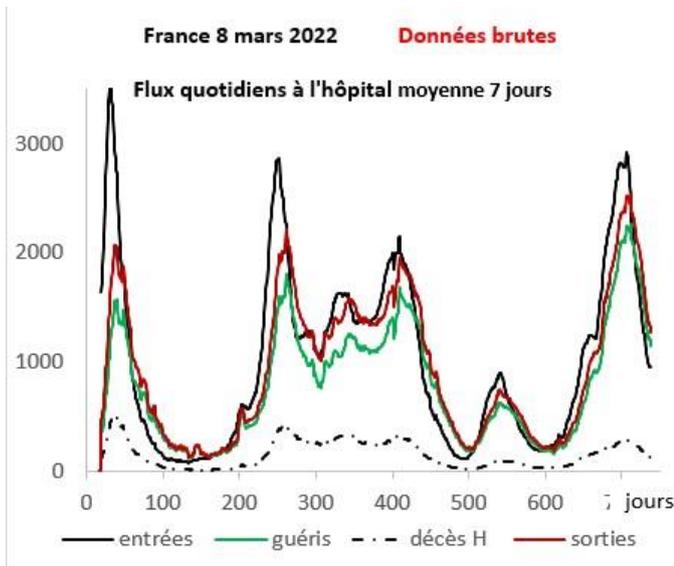
Sorties 8/03/22 : loi Gaussienne  $\delta = 7$  jours,  $\sigma = 10$  jours



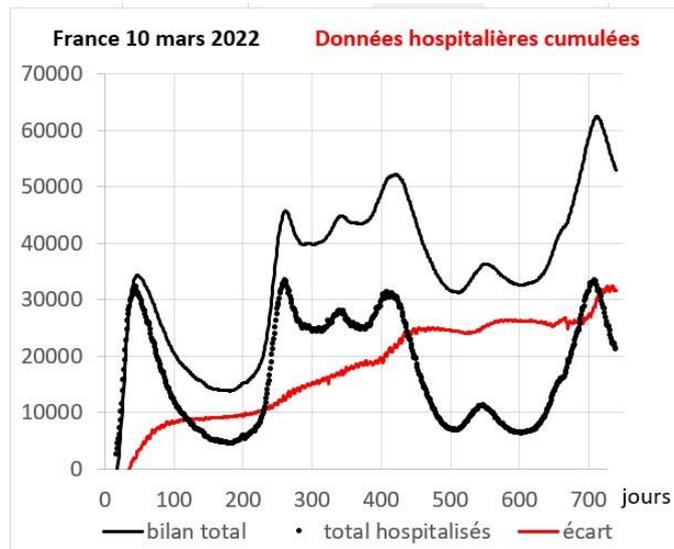
Le meilleur (moins mauvais) ajustement, manuel est présenté ci-contre, avec la courbe calculée tracée en rouge et les données du site SPF en points noirs. Il faut d'abord mentionner que la détermination des paramètres  $\delta$ ,  $\sigma$  est particulièrement imprécise par cette méthode. Faute de mieux, nous avons gardé ces paramètres constants pendant toute la pandémie. Il vaudrait certes mieux chercher ces valeurs dans les statistiques hospitalières, mais nous n'avons pas su les trouver. Inversement, cette imprécision montre le caractère « robuste » du calcul vis-à-vis de valeur de ces paramètres, qui assurera la fiabilité de ses résultats. Nous constatons que la courbe de sortie calculée à partir des

données d'entrée est globalement un peu trop haute. L'existence de cet écart questionne la fiabilité des données, comme on le verra plus loin, mais pas que... En effet le total des sorties calculées est actuellement supérieur de plus de 6 % à celui des sorties observées (malgré le soin que nous avons pris à manipuler la Gaussienne sous la forme d'un histogramme normalisé). Ce problème reste en suspens.

Voici maintenant les données hospitalières, préalables au travail d'extrapolation.

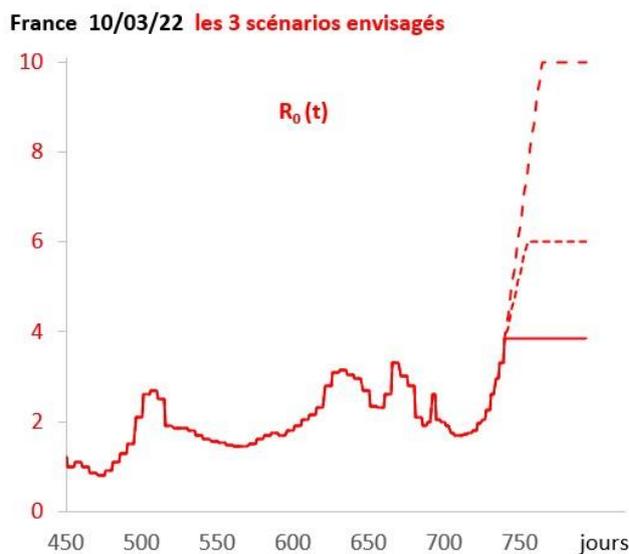
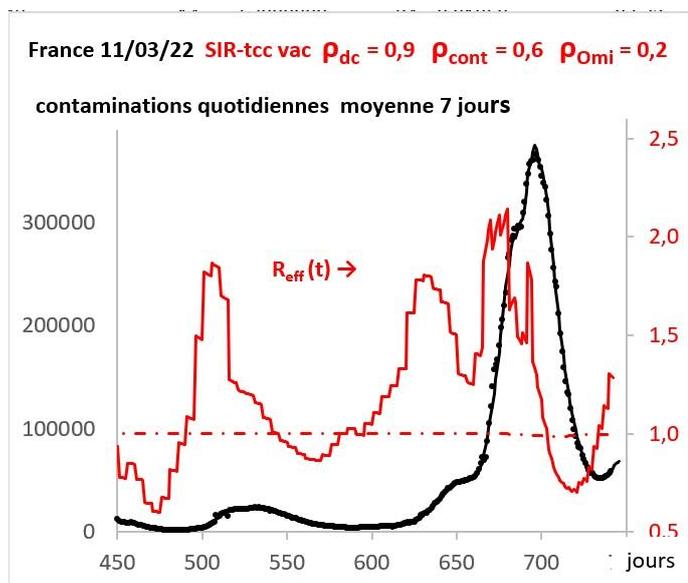


Sur ces figures, nous retrouvons une anomalie déjà mentionnée dans notre lettre n° 37 : le flux quotidien des sorties (guérisons + décès) est systématiquement inférieur à celui des entrées.

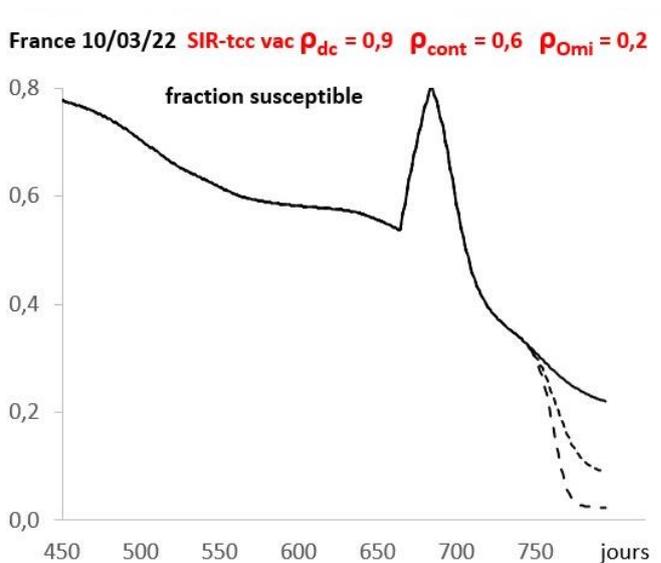
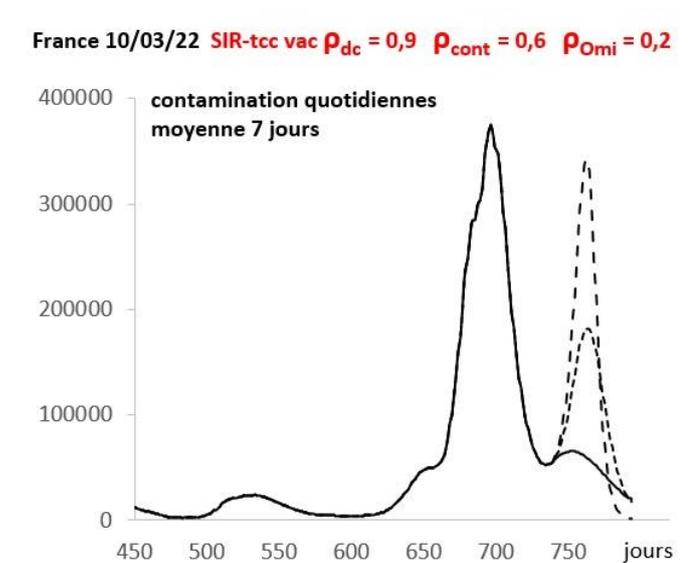


Pour tenter de comprendre cet écart, nous comparons, sur la figure ci-contre, le bilan des entrées-sorties au nombre de personnes hospitalisées. L'écart correspond à des patients « perdus »...Il croît nettement à chaque vague, surtout au début de la pandémie, et semble maintenant stabilisé. On peut penser qu'il s'agit de départs vers des structures spécialisées, dont nous n'ont pas trouvé (su trouver ?) le décompte dans les statistiques officielles. Nous tiendrons donc compte de cet écart, supposé stabilisé, dans l'extrapolation du nombre de personnes hospitalisées.

Nous avons remis à jour l'ajustement des données de contamination (toujours avec le modèle SIR-tcc-vaccination adapté aux particularités du variant Omicron), afin de réactualiser les trois scénarios d'évolution présentés dans la dernière lettre.



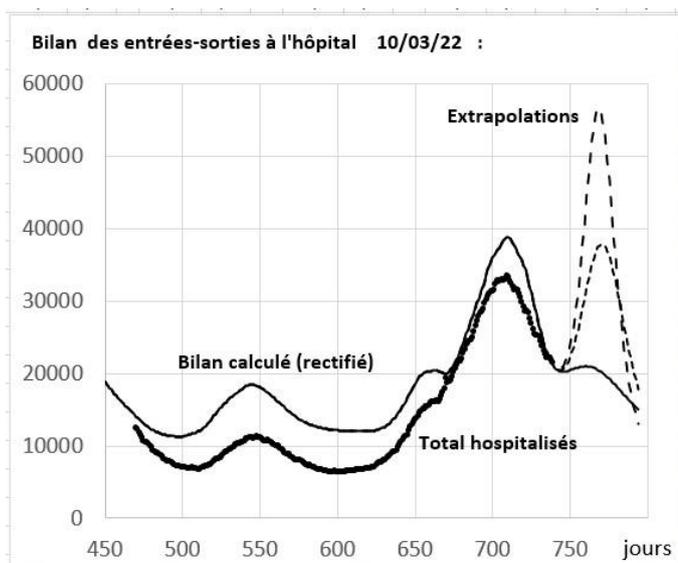
On ne sera pas surpris de l'accroissement considérable du taux de base, qui devient très supérieur au taux effectif en raison de la forte décroissance du réservoir de personnes susceptibles ( $R_0 = R_{eff} / S$ ). Voici maintenant les prévisions concernant le nombre de contaminations quotidiennes :



A moins d'un arrêt brutal de l'assouplissement des mesures de distanciation sanitaire (courbes en trait plein), il faut donc s'attendre à une réplique de la précédente vague de la pandémie. Cette réplique sera, cependant, de courte durée, mais quel sera son impact sur l'hôpital ?

Pour répondre à cette question, nous passons aux extrapolations concernant les données hospitalières. Pour cela il suffit de compléter les calculs de la page précédente par les valeurs du nombre de contaminations quotidiennes que nous venons d'extrapoler. Les courbes des entrées et des sorties (non figurées ici) présentent très naturellement des répliques très comparables à celles des courbes de contamination.

Le nombre d'admissions en soins intensifs devrait suivre une évolution semblable à celle des entrées, sachant que le taux de passage en soins intensifs n'évolue pas de manière sensible depuis le début de l'épisode Omicron, autour d'une valeur moyenne proche de 12 % sur les 30 derniers jours.



L'évolution du bilan total entrée-sorties est donnée ci-contre. Nous avons corrigé le bilan calculé de manière à le rendre égal au nombre total de personnes hospitalisées à la date présente. On constate que l'effet de réplique observé sur les contaminations est **notablement amplifié sur le bilan hospitalier**.

On voit l'**impact colossal que pourrait avoir la levée trop rapide des restrictions sanitaires**. Le système hospitalier sera saturé si le taux de reproduction de base continue à croître jusqu'à la valeur maximum envisagée.

Curieusement, le rattrapage ad-hoc appliqué à notre courbe de bilan (ajouter 10000) ne coïncide pas avec l'écart observé sur les données expérimentales (retrancher 30000). Autrement dit, notre procédure de calcul intègre les erreurs. Nous aurions pu choisir de faire ces ajustements sur les données cumulées, mais l'expérience passée nous en avait dissuadés... cette option reste ouverte si nous en trouvons le temps. Cependant, le cumul de ces erreurs sur le prochain pic devrait être du même ordre de grandeur que celui observé sur le précédent, donc rester faible vis-à-vis des augmentations annoncées.

Pourquoi la réplique de la vague précédente a-t-elle sur le bilan hospitalier un effet plus accentué que sur le nombre de contaminations ? Parce que la croissance de l'infection sera portée par des valeurs de  $R_0$  très supérieures à celles de toutes les vagues précédentes, alors que le temps de séjour à l'hôpital n'est pas réduit en proportion. C'est un **effet d'accumulation**.

Ne jetez pas les masques, faites-vous vacciner ou revacciner (si ce n'est pas déjà fait) et continuez à bien vous protéger (vous et les autres)

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

François Xavier Martin, Ingénieur, Membre du Comité Editorial de la Revue de l'École Polytechnique (Alumni),

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

A lire : étude prospective de l'Institut Pasteur qui confirme l'éventualité d'un « ressac » de la dernière vague : [Complément BA.2 \(pasteur.fr\)](https://www.pasteur.fr/fr/complément-ba.2)