

Prédiction du nombre de malades de COVID-19 en fonction de la date du *confinement* en France

B. Marcos, Université Côte d'Azur, LJAD, France
bruno.marcos@univ-cotedazur.fr

18 mars 2020

Résumé

CE DOCUMENT EST DESTINÉ À UN PUBLIC SCIENTIFIQUE. SI VOUS SOUHAITEZ L'UTILISER À DES BUTS PÉDAGOGIQUES N'HÉSITÉS PAS À L'ADAPTER. CE DOCUMENT EST EN CONSTANTE ÉVOLUTION

[MISE À JOUR 17/03] : le modèle n'est pas capable de prédire la durée de l'épidémie, uniquement le nombre total de cas et de décès.

[MISE À JOUR 17/03] : graphes aussi en échelle linéaire pour plus de lisibilité pour les non scientifiques.

[MISE À JOUR 16/03] : l'effet du confinement en Italie se fait sentir, mais ils ne sont pas encore sortis de l'exponentielle [3].

[MISE À JOUR 16/03] : annonce par le président Macron d'un *confinement* total.

[MISE À JOUR 16/03] : dernières données pour la France, toujours dans le régime exponentiel comme prédit la théorie en l'absence de *confinement*. [MISE À JOUR 14/03] : il semble que l'effet du *confinement* commence à se faire sentir en Italie après 7 jours au lieu de 10 jours en Chine [2]. Cela impliquerait que le paramètre t_0 pourrait être estimé à la baisse à $t_0 \simeq 9$ jours au lieu de 12 jours. Ceci impliquerait que le nombre des cas et morts prédits pourrait être revu à la baisse d'un facteur $\sim \exp(3/\tau) \approx 2.4$. Demain début de confirmation.

[MISE À JOUR 13/03] : Analyse avec le nombre de morts

[MISE À JOUR 13/03] : l'analyse en utilisant le nombre de morts plutôt que le nombre de cas est plus fiable car les morts sont mieux comptabilisés, beaucoup de cas n'apparaissent pas dans les statistiques car ils sont asymptomatiques ou légers.

[12/03] : première version du document.

1 Introduction

Le comportement du nombre de malades et de morts du COVID-19 suit une loi exponentielle universelle pour nombre de pays. Dans le graphe ci-dessous Fig. 1 se trouvent l'évolution du nombre de morts en France, en Italie, en Espagne et en Chine (sources : données OMS, qui se trouvent par exemple sur wikipédia). Les données de beaucoup de pays collapent également [1], si l'on décale l'axe des abscisses du nombre de jours adéquat, ce qui correspond à l'avance (ou au retard) qu'a la progression de la maladie dans chaque pays. La Chine a par exemple ~ 46 jours d'avance, l'Italie ~ 9 jours d'avance et l'Espagne suit le même timing que la France.

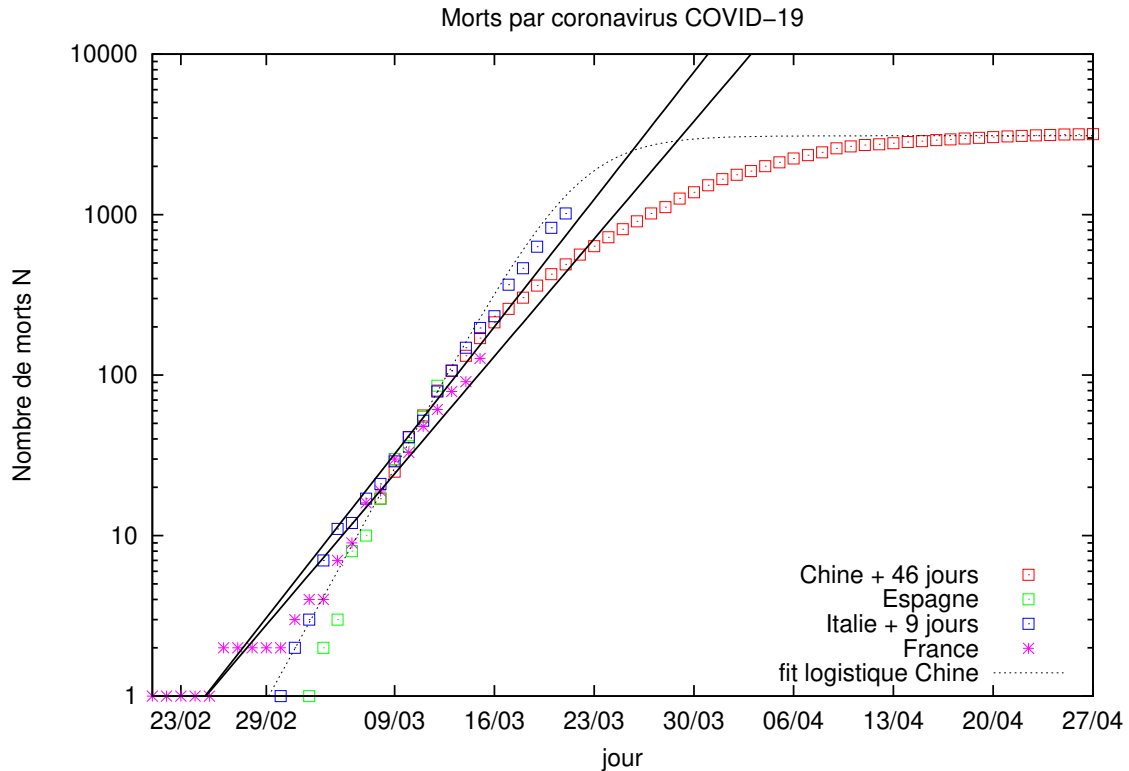


FIGURE 1 – Evolution du nombre de total morts de coronavirus COVID-19 en fonction de la date. Notez que les dates pour la Chine ont été décalées de +44 jours (pour cette raison apparaissent des dates dans le futur), celles de l’Italie + 9 jours et celles de l’Espagne de 0 jours. Les deux droites correspondent aux fits exponentiels des données françaises pour les valeurs de $\tau + \Delta\tau$ et $\tau - \Delta\tau$ respectivement. La courbe en pointillé est le fit logistique des données chinoises (voir texte).

2 Modèle

[Mise à jour 13/03] : Il nous semble qu’il est plus efficace d’étudier le nombre de morts en fonction du temps plutôt que le nombre de cas, car ces derniers sont moins bien comptabilisés (cas légers et asymptomatiques ne rentrent pas dans les statistiques). Cette étude a été ajoutée ci-dessous.

La propagation de l’épidémie s’ajuste très bien (ce qui est bien connu en épidémiologie) avec une loi exponentielle pour le nombre de cas N en fonction du temps :

$$N(t) = a \exp(t/\tau). \quad (1)$$

En faisant un ajustement aux moindres carrés de la fonction exponentielle (1) pour le nombre de morts avec les données qui apparaissent dans la Fig. 1, nous trouvons pour la France $\tau \pm \Delta\tau \approx 3.99 \pm 0.16$ et pour la Chine $\tau \approx 2.69$, avec le temps mesuré en jours. Cette différence peut s’expliquer par de multiples facteurs : l’humidité, la température, la souche, des facteurs sociaux, etc.

La courbe chinoise présente une saturation car ils ont bloqué la province de Hubei le 23/01, ce qui correspondrait aux dates françaises, avec le décalage de 46 jours, au 09/03 (première droite verticale en pointillé sur le graphe). L’effet du *confinement* se fait sentir uniquement une semaine plus tard (deuxième droite en pointillé sur le graphe). La saturation du nombre de malades arrive trois semaines après le *confinement*. **[Mise à jour 13/03] Il semblerait que l’Italie commence à sentir l’effet du *confinement*, effectué les 17-18/03 en dates françaises.**

La courbe complète chinoise peut être assez bien ajustée par une distribution logistique, qui est une façon simple de modéliser ce genre de phénomènes :

$$N_{log}(t) = \frac{k}{1 + \exp\left(-\frac{t-t_0}{\tau}\right)}. \quad (2)$$

Le nouveau paramètre est t_0 , qui nous indique le moment où l'inflexion de la courbe va se produire. Notez que la distribution logistique ne décrit pas exactement la transition vers la stabilisation du nombre de morts. Ceci n'est pas important pour notre modèle, l'important est qu'il décrive correctement l'évolution dans le régime exponentiel à temps court et le nombre de morts stabilisé dans le régime à temps long.

On peut prédire ce qui va se passer en France si on suppose que le *confinement* aura la même efficacité qu'en Chine. Il suffit de calculer avec les données chinoises la valeur de t_0 , puis d'appliquer la formule (2) pour prédire, à la louche, le comportement de l'épidémie en France. Pour le *confinement* chinois au 09/03 (en dates françaises), nous trouvons un $t_0 = 21/03$, c'est-à-dire 12 jours plus tard. C'est cohérent avec le temps moyen d'incubation de ~ 5.1 jours plus le temps nécessaire pour développer la maladie. Il est maintenant très simple de prédire la courbe épidémique française en fonction de la date de notre *confinement*. Les deux courbes noires sur la Fig. 2 (Fig. 3 en échelle linéaire - linéaire) correspondent à la prédiction si le *confinement* est effectué le 16/03, pour l'intervalle d'incertitude de τ mesuré plus haut. Les deux courbes vertes sur la Fig. 2 correspondent à la prédiction si le *confinement* est effectué le 18/03, pour l'intervalle d'incertitude de τ . Ce sont évidemment des ordres de grandeurs, et ce sera probablement plus, car il est difficile de faire un *confinement* dans un pays démocratique avec l'efficacité de celui chinois.

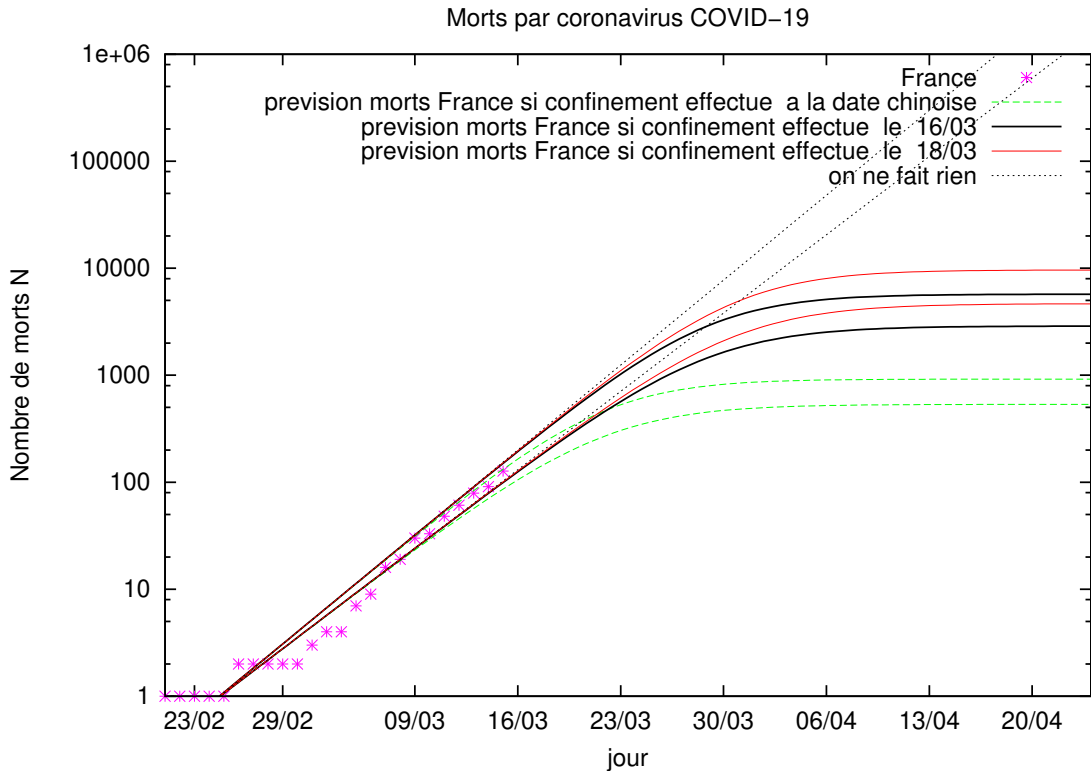


FIGURE 2 – Prédiction du nombre de morts par le coronavirus en France en fonction de la date du *confinement*.

On peut calculer facilement le nombre total de malades *depuis le début de l'épidémie* en fonction de la date du *confinement*

$$N_{log}(t \rightarrow \infty) = a \exp\left(\frac{t_{lock} + t_0}{\tau}\right), \quad (3)$$

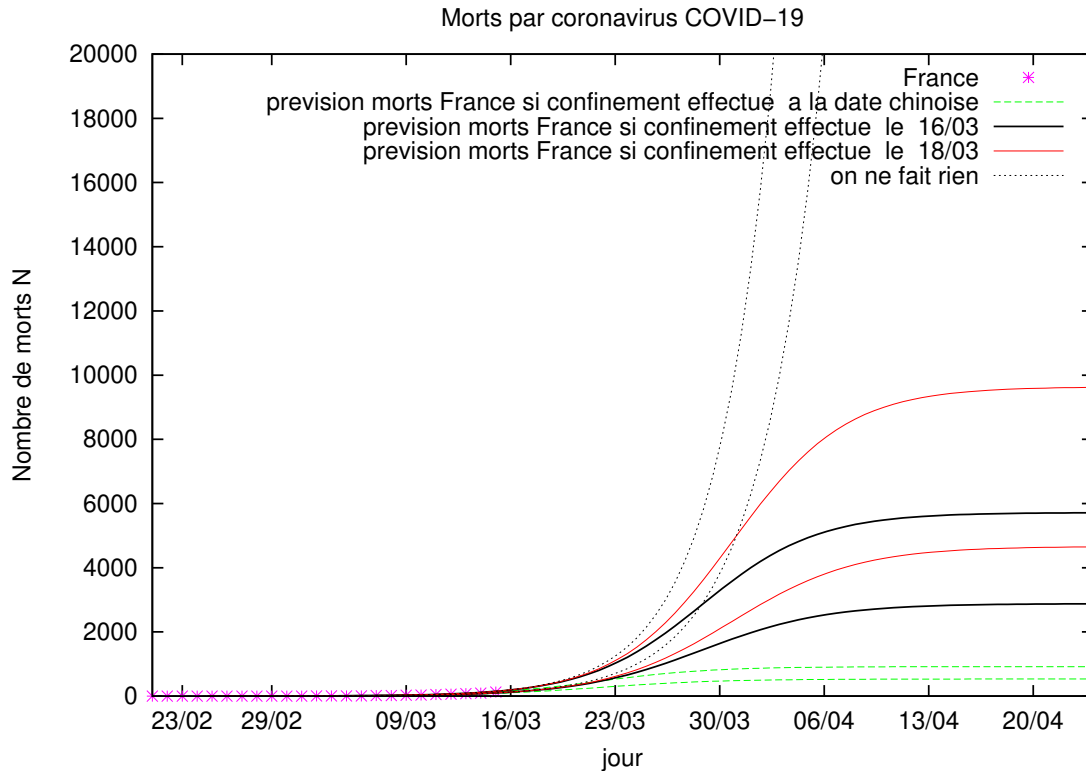


FIGURE 3 – Prédiction à nouveau du nombre de morts en échelle linéaire - linéaire par le coronavirus en France en fonction de la date du *confinement*.

où t_{lock} est le décalage du lockdown par rapport à celui chinois, le 09/03 en dates françaises. Ceci apparaît dans la Fig. 4. À mesure que le nombre total de cas s’approche de la population totale, on s’attend cependant à une saturation à cause du manque d’individus à contaminer.

3 Étude du nombre total de cas de COVID-19

Nous pouvons répéter exactement la même étude pour le nombre de cas total de COVID-19 *le long de l’épidémie*. Les résultats se trouvent dans les graphes 5, 6 et 8. Dans la Fig. 6 (Fig. 7 en échelle linéaire - linéaire) nous pouvons voir que le nombre total de cas pour un *confinement* entre le 16/03 et 18/03 se situe entre 100000 et 1 million de malades, ce qui est énorme pour le système de santé (voir conclusions).

4 Conclusions

1. L’évolution du nombre de contaminés est très similaire partout, donc on peut tirer des conclusions de ce qui se passe ailleurs, en particulier de la Chine.
2. Ça progresse très vite. Le nombre de contaminés est multiplié par ~ 10 toutes les semaines. Il suffit de regarder par exemple entre le 09/03 et le 16/03 pour la Chine.
3. La seule façon d’enrayer l’épidémie est d’empêcher les gens d’interagir socialement, le fameux *confinement* italien et chinois.
4. L’effet du lockdown est loin d’être immédiat. Pour le cas de la Chine : il a été mis en place le 23 janvier (ce qui correspond à l’évolution de la maladie au 9 mars en France), la saturation arrive trois semaines plus tard.

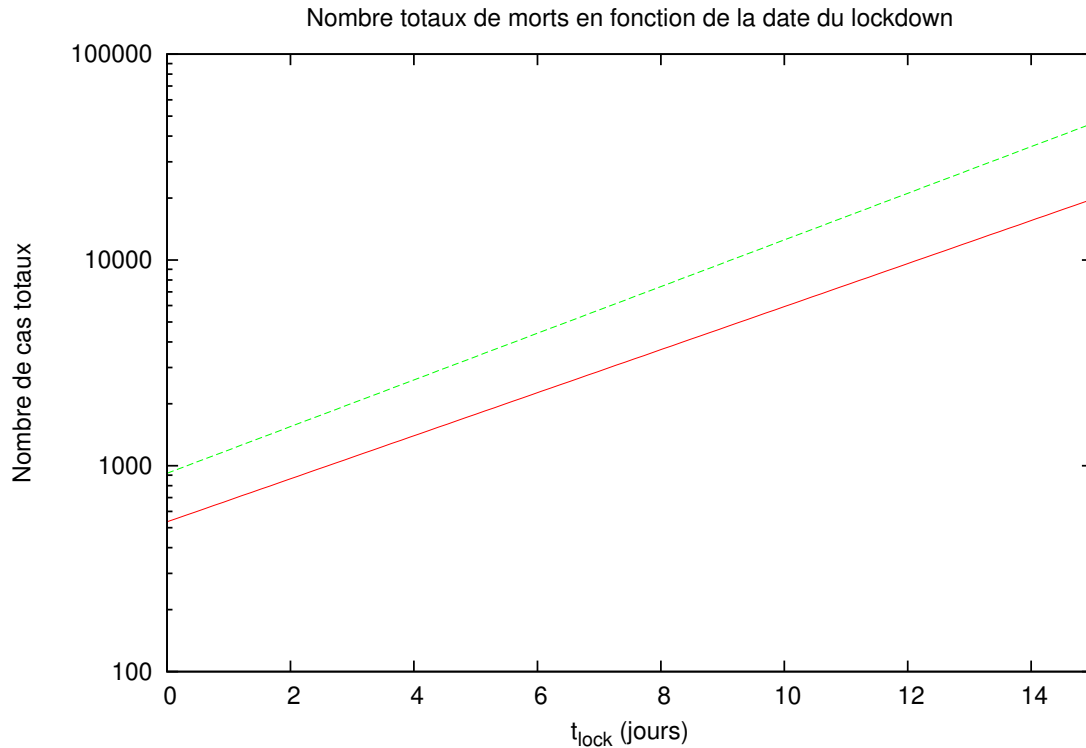


FIGURE 4 – Nombre total de morts en fonction de la date de *confinement* t_{lock} , calculée à partir de la date chinoise, le 09/03 date française, pour les valeurs hautes et basses de τ .

5. Le moment où nous allons réagir et instaurer le *confinement* est critique. Plus nous attendons, pire c'est, et cela très rapidement.
6. Donc il faut réagir rapidement, surtout qu'il va arriver un moment où la mortalité va être beaucoup plus importante car il n'y aura plus assez de places en réanimation (comme c'est déjà en train d'arriver en Italie). Environ 5% des malades en auront besoin, s'il y a simultanément 200000 malades cela fait 10000 places nécessaires, ce qui est énorme même pour un pays comme la France.
7. Nous pouvons déjà prendre des mesures à bas coût économique et social, comme fermer l'université, qui est une mesure qui sera prise de toute façon dans les prochains jours.
[Mise à jour 13/03] : annoncé par Macron pour le 16/03. Ne peut pas être considéré comme un *confinement* complet.

Références

- [1] <https://www.facebook.com/federico.riccitersenghi/posts/10158282228993559>
- [2] <https://www.facebook.com/nonlosono/posts/10220067203104177>
- [3] <https://www.facebook.com/federico.riccitersenghi/posts/10158302506188559>

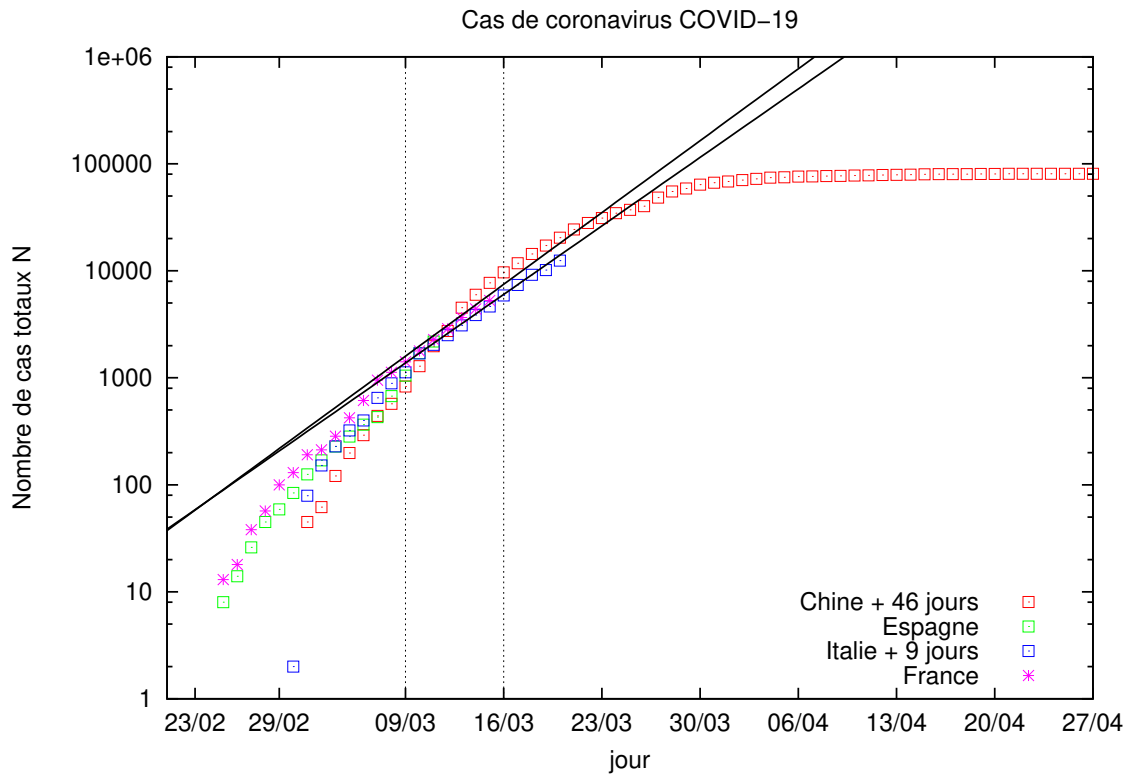


FIGURE 5 – Evolution du nombre de cas de coronavirus COVID-19 en fonction de la date. Notez que les dates pour la Chine ont été décalés de +44 jours (pour cette raison apparaissent des dates dans le futur), celles de l'Italie + 9 jours et celles de l'Espagne de 0 jours. Les deux droites correspondent au fit exponentiel des données françaises pour les valeurs de $\tau + \Delta\tau$ et $\tau - \Delta\tau$ respectivement. La courbe en pointillé est le fit logistique des données chinoises (voir texte).

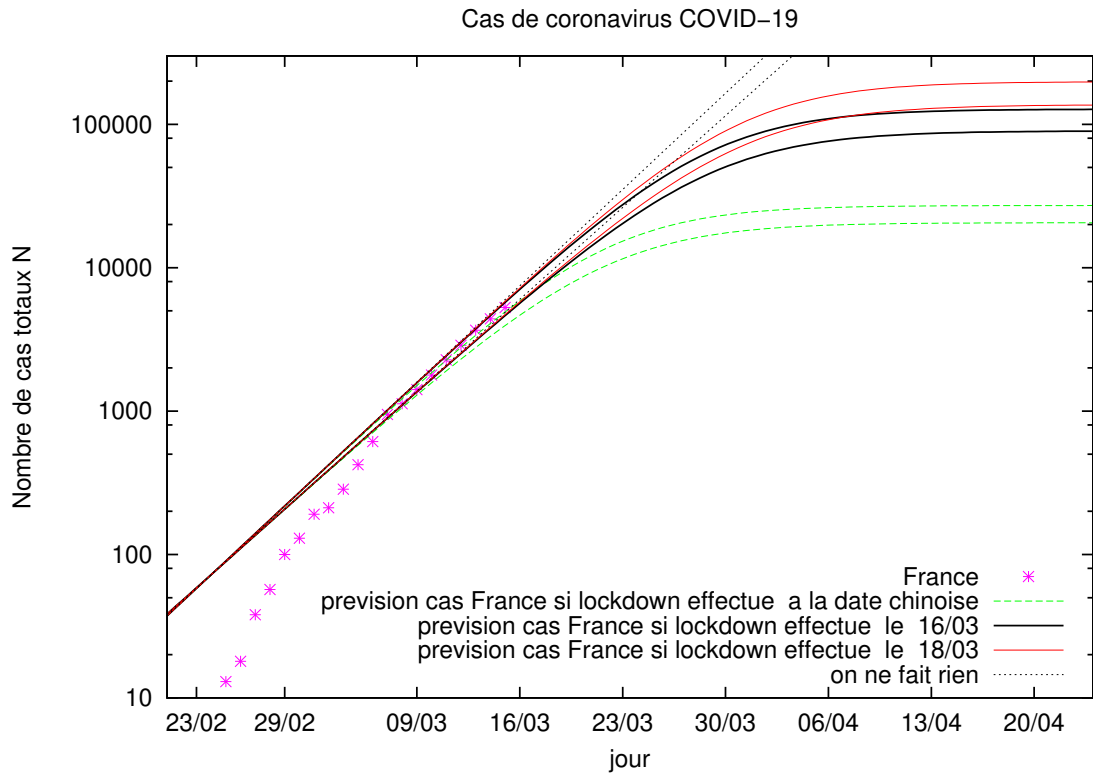


FIGURE 6 – Prédiction des cas de le coronavirus en France en fonction de la date du *confinement*.

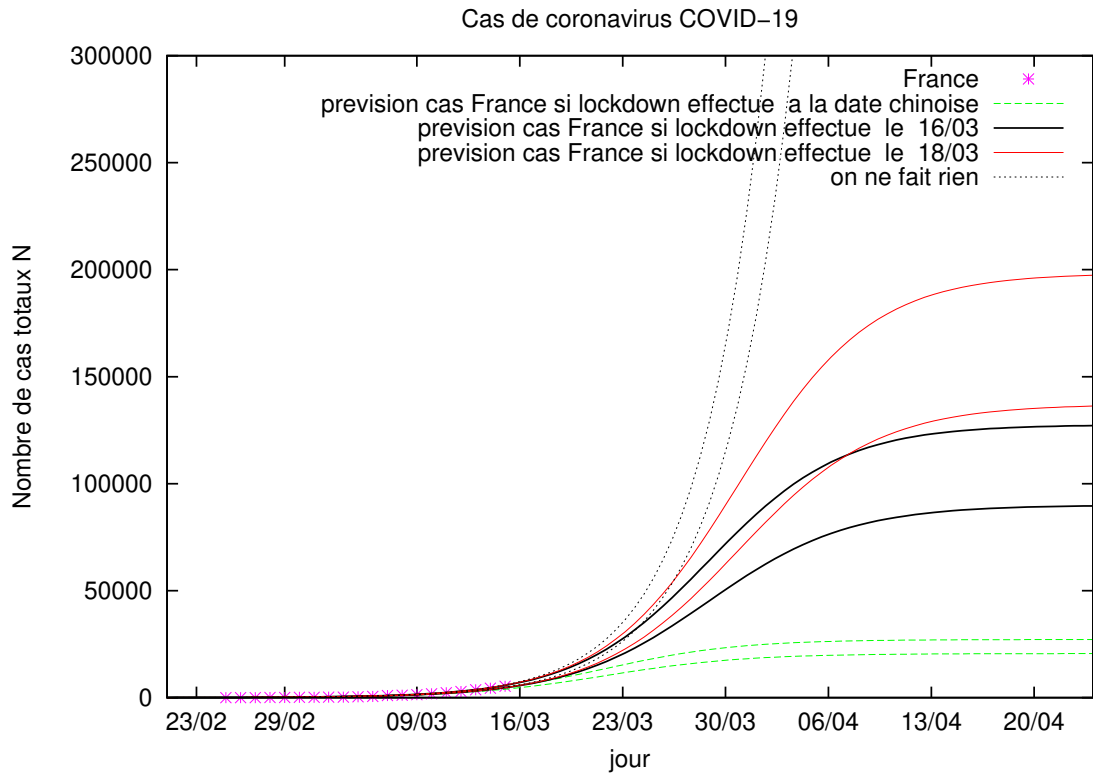


FIGURE 7 – Prédiction des cas de le coronavirus en France en échelle linéaire - linéaire en fonction de la date du *confinement*.

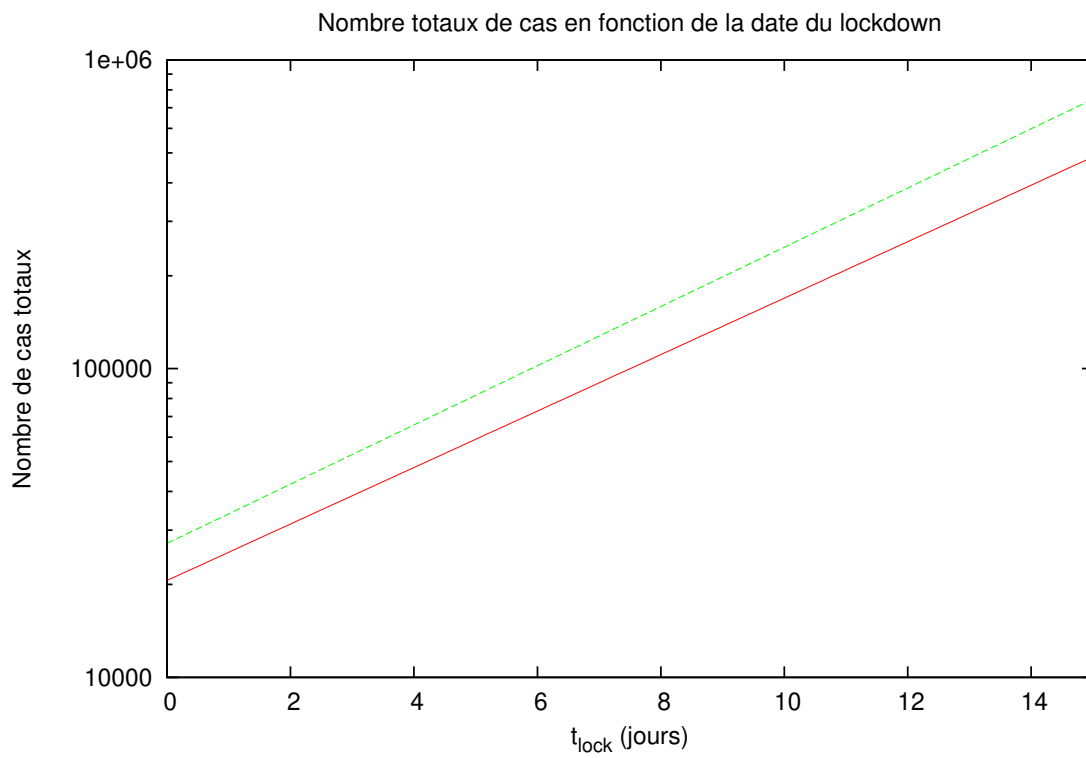


FIGURE 8 – Nombre total de cas en fonction de la date de *confinement* t_{lock} , calculée à partir de la date chinoise, le 09/03 date française, pour les valeurs hautes et basses de τ .