

Modélisation de la pandémie de Covid

Table des matières :

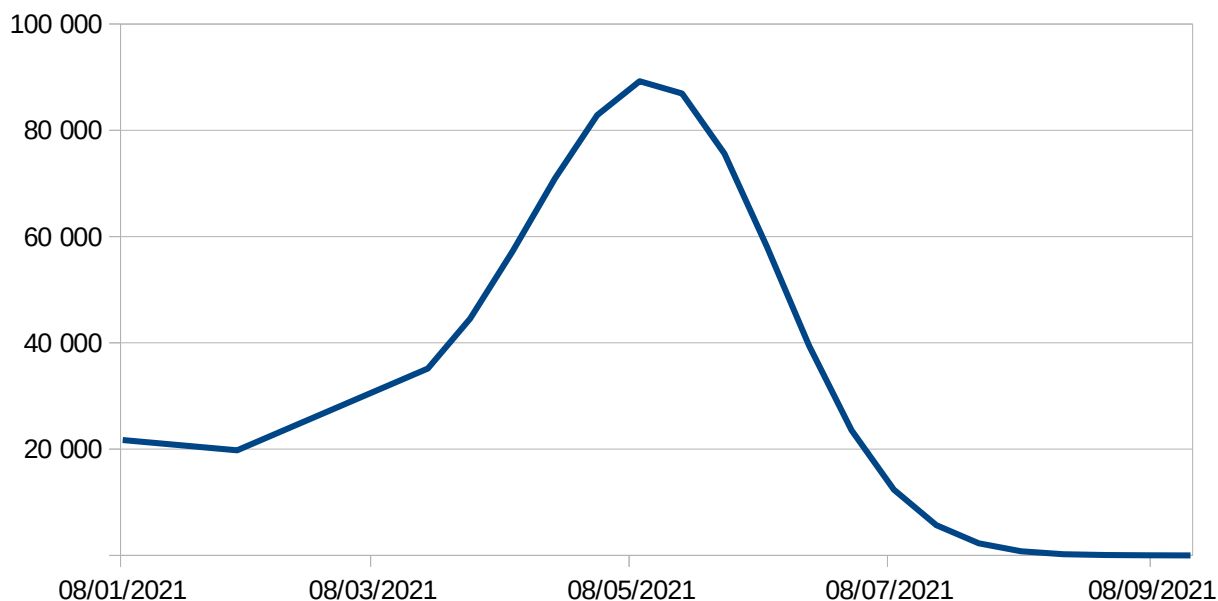
Table des matières

| | | |
|-----|--|---|
| 1 | Modèle du 21 mars 2021..... | 2 |
| 1.1 | Courbes..... | 2 |
| 1.2 | Chiffres et hypothèses et méthodes..... | 3 |
| 1.3 | Courbes en intégrant 1 mois de confinement..... | 4 |
| 1.4 | Limites..... | 5 |
| 2 | Modélisation le 10 février 2021..... | 6 |
| 2.1 | Les chiffres connus le 10/02/2021..... | 6 |
| 2.2 | Evolution de la pandémie les prochains jours..... | 7 |
| 2.3 | Situation de la pandémie au 1 ^{er} semestre 2021..... | 8 |

1 Modèle du 21 mars 2021

1.1 Courbes

Evolution du nombre de nouveaux cas par jour

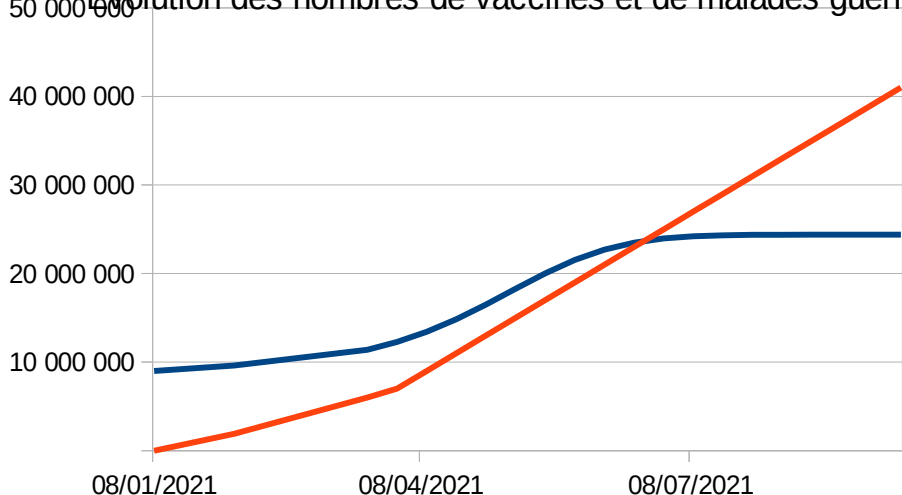


Cette modélisation tient compte des personnes immunisées par la maladie ou par la vaccination.

Elle aboutit à

- un pic de 90.000 cas par jour vers la mi-juin 2021
- une quasi fin de l'épidémie en juillet
- 24.000.000 de personnes contaminées (11.000.000 l'ont déjà été aujourd'hui provoquant 100.000 morts. La vrai taux de mortalité serait alors de 9/1000)
- on ne peut prédire le nombre de morts car d'une part, la vaccination a été plus importante pour les personnes fragiles et par ailleurs le variant anglais peut être plus ou moins nocif.

Evolution des nombres de vaccinés et de malades guéris



La vaccination, qui apparaît trop lente, n'est pas suffisante pour stopper l'épidémie, mais elle y contribue en concurrence avec la maladie elle-même pour arriver à :

- 40.000.000 de vaccinations
- 24.000.000 de contaminations

1.2 Chiffres et hypothèses et méthodes

Modélisation de l'épidémie de COVID intégrant l'immunité acquise et les futures vaccinations (21 mars 2021)

Hypothèses :

Nb de cas et repartis par variant

Le discours de Vérans du 4 février 2021 indiquait ces chiffres pour le 8 janvier et le 4 février

VaccinTracker indique le nombres de cas pour chaque date

72 % de variants anglais le 20/03/2021 selon

<https://biogroup.fr/actualites/les-variants-covid-19-semaine-10-ou-en-est-on-en-fran>

| date | | %var anglais | nb cas | cas f | cas a | % atteints | nb atteint | vaccinés |
|----------|---------|--------------|--------|--------|-------|------------|------------|------------------|
| 08/01/21 | Véran | 3,30 % | 21 703 | 20 987 | | 716 | | 0 |
| 04/02/21 | Véran | 14,00 % | 23 448 | 20 165 | | 3 283 | | 1 900 000 |
| 21/03/21 | Tracker | 72,00 % | 35 000 | 9 800 | | 25 200 | 17,00 % | #REF ! 6 000 000 |

Nombre réels de cas le 20 mars 2021

Selon Covid Tracker on a recensé 4,2 millions de cas en France

2

Selon l'institut Pasteur 17 % des personnes sont positifs (antigènes) au Covid en France

<https://modelisation-covid19.pasteur.fr/realtime-analysis/infected-population?s=09>

L'hypothèse retenue ici est que 50 % des cas sont répertoriés

Nombre de morts

On aurait donc 100.000 morts pour 11 millions de cas en France. Cette projection aboutit à 22 millions de cas avant l'arr de l'épidémie.

On ne peut en conclure que nous aurons encore 100.000 morts, car les vaccinations ont été faites sur les personnes les plus fragiles.

Effets des couvre feux et confinement

Cet effet est difficile à évaluer, il a été retenu égal à 0,2, c'est à dire que si R0 vaut 1.5 alors après confinement Rc = 1.5 x (1-0,2) = 1,2

On retient ici une baisse proportionnelle de R donc si R0 vaut 1.5 et si la moitié de la population est immunisée Ri = 1.5/2 = 0.75

Ceci prend en compte que les contaminations sont surtout faite au début lorsqu'on ignore la maladie

R est le nombre de contaminations provoquées par un seul malade. Pour simplifier on a considéré que la maladie ne durait que 10 jours

R

Souche ini france **1,33**

Variant anglais **2,44**

pour nb de jours

10

On considère que la maladie dure 10 jours (pour sa contagiosités moyennes)

On a calcule R par jour, $\exp(\log(R)/10)$ (ou racine 10ème de R). On n'est pas obligé de comprendre cela pour suivre ce tableau

On considère que la maladie dure 10 jours (pour sa contagiosités moyennes)

Calculs

Population française

67 000 000

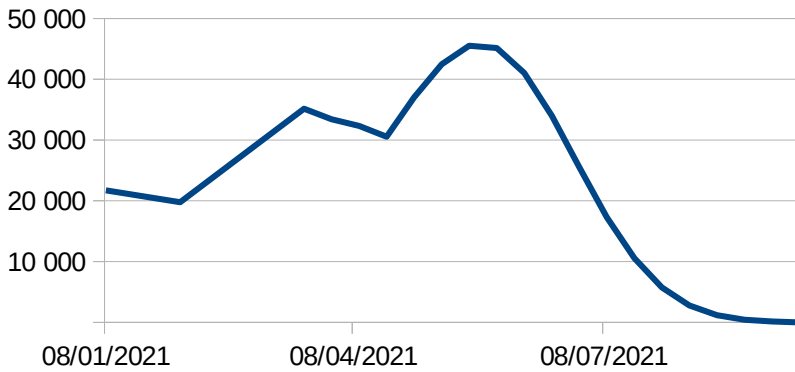
Ce qu'il y a de bien avec les exponentielles c'est que leur dérivée est aussi exponentielle,

les calculs se basent sur le nombre de nouveaux cas, Car c'est la statistique la plus fiable.

| Dates | Ecart jours | nb déjà Contaminés | nb Vaccinés | Population Sensible | nb cas de la période | nb/jour var-f | nb/jour Var-an | nb/jour Total | Vaccins nb/jour | Atténuation Confinement | R après atténuation confinement et immunité partiel | | | | R Apparent Sans distinguer Les variants |
|------------|-------------|--------------------|-------------|---------------------|----------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------|-------------------------|---|---------|-------|---------|---|
| | | | | | | | | | | | R0-ac | R0-ac/j | R0-fc | R0-fc/j | |
| 08/01/2021 | 0 | 9 000 000 | | 58 000 000 | 585 981 | 20 987 | 716 | 21 703 | 70 370 | 0,2 | 1,690 | 1,054 | 0,921 | 0,992 | |
| 04/02/2021 | 27 | 9 611 468 | 1 900 000 | 55 488 532 | 889 266 | 16 809 | 2 952 | 19 761 | 91 111 | 0,2 | 1,617 | 1,049 | 0,881 | 0,987 | 1,00 |
| 21/03/2021 | 45 | 11 390 000 | 6 000 000 | 49 610 000 | 351 540 | 9 514 | 25 640 | 35 154 | 100 000 | 0,2 | 1,445 | 1,038 | 0,788 | 0,976 | 1,01 |
| 31/03/2021 | 10 | 12 281 088 | 7 000 000 | 47 718 912 | 445 544 | 7 495 | 37 059 | 44 554 | 200 000 | 0,2 | 1,390 | 1,033 | 0,758 | 0,973 | 1,02 |
| 10/04/2021 | 10 | 13 425 122 | 9 000 000 | 44 574 878 | 572 017 | 5 680 | 51 522 | 57 202 | 200 000 | 0,2 | 1,299 | 1,026 | 0,708 | 0,966 | 1,03 |
| 20/04/2021 | 10 | 14 843 718 | 11 000 000 | 41 156 282 | 709 298 | 4 021 | 66 909 | 70 930 | 200 000 | 0,2 | 1,199 | 1,018 | 0,654 | 0,958 | 1,02 |
| 30/04/2021 | 10 | 16 500 837 | 13 000 000 | 37 499 163 | 828 559 | 2 628 | 80 228 | 82 856 | 200 000 | 0,2 | 1,093 | 1,009 | 0,596 | 0,949 | 1,02 |
| 10/05/2021 | 10 | 18 285 138 | 15 000 000 | 33 714 862 | 892 151 | 1 565 | 87 650 | 89 215 | 200 000 | 0,2 | 0,982 | 0,998 | 0,535 | 0,939 | 1,01 |
| 20/05/2021 | 10 | 20 023 800 | 17 000 000 | 29 976 200 | 869 331 | 838 | 86 095 | 86 933 | 200 000 | 0,2 | 0,873 | 0,987 | 0,476 | 0,928 | 1,00 |
| 30/05/2021 | 10 | 21 535 580 | 19 000 000 | 26 464 420 | 755 890 | 399 | 75 190 | 75 589 | 200 000 | 0,2 | 0,771 | 0,974 | 0,420 | 0,917 | 0,99 |
| 09/06/2021 | 10 | 22 698 398 | 21 000 000 | 23 301 602 | 581 409 | 168 | 57 973 | 58 141 | 200 000 | 0,2 | 0,679 | 0,962 | 0,370 | 0,905 | 0,97 |
| 19/06/2021 | 10 | 23 486 773 | 23 000 000 | 20 513 227 | 394 187 | 62 | 39 357 | 39 419 | 200 000 | 0,2 | 0,598 | 0,950 | 0,326 | 0,894 | 0,96 |
| 29/06/2021 | 10 | 23 957 599 | 25 000 000 | 18 042 401 | 235 413 | 20 | 23 521 | 23 541 | 200 000 | 0,2 | 0,526 | 0,938 | 0,287 | 0,883 | 0,95 |
| 09/07/2021 | 10 | 24 204 994 | 27 000 000 | 15 795 006 | 123 697 | 6 | 12 364 | 12 370 | 200 000 | 0,2 | 0,460 | 0,925 | 0,251 | 0,871 | 0,94 |
| 19/07/2021 | 10 | 24 318 815 | 29 000 000 | 13 681 185 | 56 911 | 1 | 5 690 | 5 691 | 200 000 | 0,2 | 0,399 | 0,912 | 0,217 | 0,858 | 0,93 |
| 29/07/2021 | 10 | 24 364 178 | 31 000 000 | 11 635 822 | 22 681 | | 2 268 | 2 268 | 200 000 | 0,2 | 0,339 | 0,897 | 0,185 | 0,845 | 0,91 |
| 08/08/2021 | 10 | 24 379 555 | 33 000 000 | 9 620 445 | 7 689 | | 769 | 769 | 200 000 | 0,2 | 0,280 | 0,881 | 0,153 | 0,829 | 0,90 |
| 18/08/2021 | 10 | 24 383 865 | 35 000 000 | 7 616 135 | 2 155 | | 215 | 215 | 200 000 | 0,2 | 0,222 | 0,860 | 0,121 | 0,810 | 0,88 |
| 28/08/2021 | 10 | 24 384 821 | 37 000 000 | 5 615 179 | 478 | | 48 | 48 | 200 000 | 0,2 | 0,164 | 0,834 | 0,089 | 0,785 | 0,86 |
| 07/09/2021 | 10 | 24 384 978 | 39 000 000 | 3 615 022 | 78 | | 8 | 8 | 200 000 | 1,2 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,83 |
| 17/09/2021 | 10 | 24 384 978 | 41 000 000 | 1 615 022 | | | | | 200 000 | 2,2 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | |

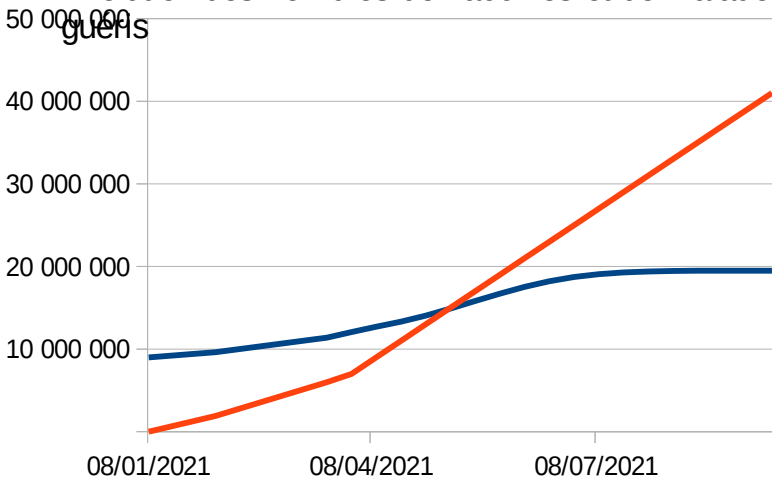
1.3 Courbes en intégrant 1 mois de confinement

Evolution du nombre de nouveaux cas par jour



Avec 1 mois de confinement, le pic de contamination est passé de 80.000 à 45.000. Il est presque divisé par 2.

Evolution des nombres de vaccinés et de malades



Le nombre final de personnes contaminées baisse. Il passe de 24.000.000 à 19.000.000.

Le nombre de mort (qu'on ne sait pas estimer) baisse aussi en proportion. Mais c'est probablement un enjeu important.

La pandémie dure un peu plus longtemps.

| Dates | Ecart jours | nb déjà Contaminés | nb Vaccinés | Population Sensible | nb cas de la période | nb/jour Var-F | nb/jour Var-an | nb/jour Total | Vaccins nb/jour | Atténuation Confinement | R après atténuation confinement et immunité p | | | | R Apparens disting Les variant |
|------------|-------------|--------------------|-------------|---------------------|----------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------|-------------------------|---|---------|-------|---------|--------------------------------|
| | | | | | | | | | | | R0-ac | R0-ac/f | R0-fc | R0-fc/f | |
| 08/01/2021 | 0 | 9 000 000 | | 58 000 000 | 585 981 | 20 987 | 716 | 21 703 | 70 370 | 0,2 | 1,690 | 1,054 | 0,921 | 0,992 | |
| 04/02/2021 | 27 | 9 611 468 | 1 900 000 | 56 488 532 | 889 266 | 16 809 | 2 952 | 19 761 | 91 111 | 0,2 | 1,617 | 1,049 | 0,881 | 0,987 | 1,00 |
| 21/03/2021 | 45 | 11 390 000 | 6 000 000 | 49 610 000 | 351 540 | 9 514 | 25 640 | 35 154 | 100 000 | 0,4 | 1,084 | 1,008 | 0,591 | 0,949 | 1,01 |
| 31/03/2021 | 10 | 12 058 316 | 7 000 000 | 47 941 684 | 334 158 | 5 622 | 27 794 | 33 416 | 200 000 | 0,4 | 1,048 | 1,005 | 0,571 | 0,946 | 0,99 |
| 10/04/2021 | 10 | 12 704 839 | 9 000 000 | 45 295 161 | 323 262 | 3 210 | 29 116 | 32 326 | 200 000 | 0,4 | 0,990 | 0,999 | 0,539 | 0,940 | 1,00 |
| 20/04/2021 | 10 | 13 315 819 | 11 000 000 | 42 684 181 | 305 490 | 1 732 | 28 817 | 30 549 | 200 000 | 0,4 | 1,244 | 1,022 | 0,678 | 0,962 | 0,99 |
| 30/04/2021 | 10 | 14 056 025 | 13 000 000 | 39 943 975 | 370 103 | 1 174 | 35 836 | 37 010 | 200 000 | 0,2 | 1,164 | 1,015 | 0,634 | 0,956 | 1,02 |
| 10/05/2021 | 10 | 14 905 004 | 15 000 000 | 37 094 996 | 424 490 | 745 | 41 704 | 42 449 | 200 000 | 0,2 | 1,081 | 1,008 | 0,589 | 0,948 | 1,01 |
| 20/05/2021 | 10 | 15 815 206 | 17 000 000 | 34 184 794 | 455 101 | 439 | 45 071 | 45 510 | 200 000 | 0,2 | 0,996 | 1,000 | 0,543 | 0,941 | 1,01 |
| 30/05/2021 | 10 | 16 717 748 | 19 000 000 | 31 282 252 | 451 271 | 238 | 44 889 | 45 127 | 200 000 | 0,2 | 0,911 | 0,991 | 0,497 | 0,932 | 1,00 |
| 09/06/2021 | 10 | 17 538 339 | 21 000 000 | 28 461 661 | 410 295 | 118 | 40 911 | 41 030 | 200 000 | 0,2 | 0,829 | 0,981 | 0,452 | 0,924 | 0,99 |
| 19/06/2021 | 10 | 18 217 890 | 23 000 000 | 25 782 110 | 339 775 | 53 | 33 924 | 33 978 | 200 000 | 0,2 | 0,751 | 0,972 | 0,409 | 0,915 | 0,98 |
| 29/06/2021 | 10 | 18 727 965 | 25 000 000 | 23 272 035 | 255 038 | 22 | 25 482 | 25 504 | 200 000 | 0,2 | 0,678 | 0,962 | 0,370 | 0,905 | 0,97 |
| 09/07/2021 | 10 | 19 073 669 | 27 000 000 | 20 926 331 | 172 852 | 8 | 17 277 | 17 285 | 200 000 | 0,2 | 0,610 | 0,952 | 0,332 | 0,896 | 0,96 |
| 19/07/2021 | 10 | 19 284 391 | 29 000 000 | 18 715 609 | 105 361 | 3 | 10 533 | 10 536 | 200 000 | 0,2 | 0,545 | 0,941 | 0,297 | 0,886 | 0,95 |
| 29/07/2021 | 10 | 19 399 277 | 31 000 000 | 16 600 723 | 57 443 | 1 | 5 744 | 5 744 | 200 000 | 0,2 | 0,484 | 0,930 | 0,264 | 0,875 | 0,94 |
| 08/08/2021 | 10 | 19 454 838 | 33 000 000 | 14 545 162 | 27 781 | | 2 778 | 2 778 | 200 000 | 0,2 | 0,424 | 0,918 | 0,231 | 0,864 | 0,93 |
| 18/08/2021 | 10 | 19 478 382 | 35 000 000 | 12 521 618 | 11 772 | | 1 177 | 1 177 | 200 000 | 0,2 | 0,365 | 0,904 | 0,199 | 0,851 | 0,92 |
| 28/08/2021 | 10 | 19 486 971 | 37 000 000 | 10 513 029 | 4 294 | | 429 | 429 | 200 000 | 0,2 | 0,306 | 0,888 | 0,167 | 0,836 | 0,90 |
| 07/09/2021 | 10 | 19 489 602 | 39 000 000 | 8 510 398 | 1 315 | | 132 | 132 | 200 000 | 1,2 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,89 |
| 17/09/2021 | 10 | 19 489 602 | 41 000 000 | 6 510 398 | | | | | 200 000 | 2,2 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | |

Le confinement est matérialisé par une atténuation de 0.4 (au lieu de 0.2) pendant 3 périodes (de 10 jours).

En essayant 0.5 au lieu de 0.4 on ne dépasse jamais le maximum actuel, le nombre total de contamination serait de 15.000.000 et la pandémie durerait 1 mois de plus. Retenons que, on s'en doutait, le résultat dépend beaucoup de la rigueur du confinement.

1.4 Limites, intérêt et autres hypothèses

Il faut souligner l'imprévisibilité des nombres de vaccins disponibles. Ce nombre est fréquemment remis en cause, bien que notre dirigeant fasse des offres très généreuses pour l'Afrique (1 milliard d'habitants). Et pourtant l'industrie est sûrement capable à terme d'inonder la planète de vaccins. Mais quand ?

Le tableau ci-dessous correspond à quelques calculs réalisées avec les hypothèses notées dans la première colonne.

| Conditions | Nb cas/jour MAXIMUM | Nb de final de contaminés | Fin de la pandémie (- de 5000 cas/jour) |
|---|------------------------|------------------------------|--|
| 100.000 vaccins | 0 | 0 | 0 |
| 200.000 vaccins (rythme avant l'arrêt d'AstraZ) | 0 | 0 | Mi juillet |
| 300,000 | 0 | 22 millions | 0 |
| 500.000 | 0 | 0 | 0 |
| 100.000 + 1 mois conf. | 0 | 0 | 0 |
| 200.000 + 1 mois conf. | 0 | 19 millions | Mi juillet |
| 300.000 + 1 mois conf. | 0 | 0 | 0 |
| 500.000 + 1 mois conf. | 0 | 0 | 0 |
| | | | |

Beaucoup de paramètres vont changer, pratiques de distanciation, qualité des tests, évolution du nombre de vaccins, mutations. Ces modélisations sont seulement la meilleure représentation que l'on peut se faire de l'évolution de la pandémie.

Ils peuvent aider aux décisions :

- Ils montrent par exemple l'effet très important du confinement sur le nombre de nouveaux cas, et donc de l'encombrement des hôpitaux.
- Ils illustrent aussi la probabilité de pouvoir organiser une fête au mois d'août.

2 Modélisation le 10 février 2021

2.1 Les chiffres connus le 10/02/2021

La part des **malades infectés par les variants** est passée de 3,3% le 8 janvier à **14% au 4 février**. "*Les variants vont remplacer progressivement le Covid-19 que nous connaissons*" a affirmé le ministre de la santé **Olivier Véran lors de la conférence de presse du 4 février** avant d'informer de la présence de **4 cas du variant brésilien en France**. "*Les variants sud-africains et brésiliens nous inquiètent plus*" a annoncé le ministre de la santé, car ils sont encore mal connus et "*nous manquons d'éléments concernant l'efficacité des vaccins sur ces variants.*"

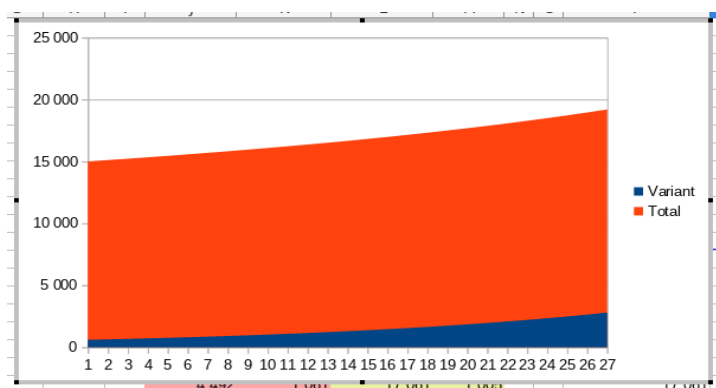
Autrement dit le variant anglais est passé de 3,3 % de 21703 cas le 8 janvier à 14 % de 23448 cas le 4 février. Autrement dit le variant anglais est passé de 608 cas à 2829 cas en 27 jours.

La courbe actuelle est trompeuse :

Les commentateurs, politiques ou journalistes semblent considérer que l'évolution est désormais assez lente, le variant est vu comme inquiétant mais l'épidémie en voie d'être maîtrisée.

Mais la courbe est trompeuse, elle n'est plus une exponentielle, mais la somme de 2 exponentielles, la situation observée correspond à :

1. un variant initial stable ou en diminution (grâce au couvre feu)
2. un variant anglais dont le nombre de cas semble encore négligeable, mais qui évolue portant bien plus vite.



2.2 Evolution de la pandémie les prochains jours

Avec les chiffres indiqués au début on peut extrapoler le développement du variant anglais. Compte tenu des résultats élevés on peut même négliger le virus normal car même si il est majoritaire aujourd'hui, il sera marginalisé dès le mois prochain. On arrive aux calculs suivants :

| dates | C nb jours | D %variants Source : Olivier Véran .fr Conférence du 4 février 2021 | F nb covid covidtracker .fr | F nb variants calcul C x D / 100 | G log log(E) | R/jour exponentiel de (F(n+1)-F(n))/C | R/10 jours G Puissance 10 |
|------------|------------------|---|--------------------------------------|---|--------------------|---|---------------------------------|
| 08/01/2021 | 0 | 3,3 | 18434 | 608 | 2,7841 | | |
| 04/02/2021 | 27 | 14 | 20204 | 2 829 | 3,4516 | 1,0586 | 1,7668 |
| 14/02/2021 | 37 | | | 4 998 | | | |
| 24/02/2021 | 47 | | | 8 830 | | | |
| 06/03/2021 | 57 | | | 15 601 | | | |
| 16/03/2021 | 67 | | | 27 565 | | | |
| 26/03/2021 | 77 | | | 48 702 | | | |
| 05/04/2021 | 87 | | | 86 049 | | | |
| 15/04/2021 | 97 | | | 152 035 | | | |
| 25/04/2021 | 107 | | | 268 622 | | | |
| 05/05/2021 | 117 | | | 474 612 | | | |
| 15/05/2021 | 127 | | | 838 562 | | | |
| 25/05/2021 | 137 | | | 1 481 604 | | | |
| 04/06/2021 | 147 | | | 2 617 757 | | | |
| 14/06/2021 | 157 | | | 4 625 155 | | | |
| 24/06/2021 | 167 | | | 8 171 904 | | | |
| 04/07/2021 | 177 | | | 14 438 439 | | | |
| 14/07/2021 | 187 | | | 25 510 398 | | | |
| 24/07/2021 | 197 | | | 45 072 767 | | | |

2.3 Situation de la pandémie au 1^{er} semestre 2021

Beaucoup dépend

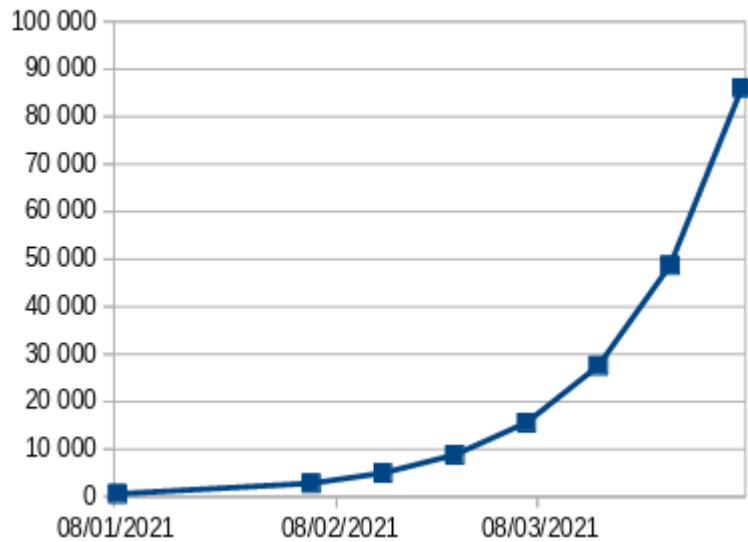
- du climat
- des mesures de confinement
- des vaccinations
- du nombre de personnes déjà immunisées

Cette courbe montre que dans les conditions actuelles le nombre de variant anglais détectés atteindra 20.000 cas par jour, le nombre total actuel, vers le 8 mars 2021.

Après cette date l'effet de sa contagiosité plus élevé sera bien plus visible, et le nombre de nouveaux cas journalier atteindrait 90.000 vers le 5 avril (en négligeant même les cas dus au virus standard).

Si on poursuit la courbe, on atteindrait 25 million de nouveaux cas par jour vers le 14 juillet. Mais bien sûr à ce stade, un taux d'immunité important (dus aux malades précédemment contaminés), ou aux personnes vaccinées (le rythme actuel paraissant bien faible). La pression hospitalière sera considérable même si déjà 14 % des personnes à risque sont déjà vaccinés.

Cas du 8 janvier au 5 avril



Cas du 5 avril au 4 juillet

(Le nombre de 16 millions de nouveaux cas par jour ne sera bien sûr pas atteint. Car cette extrapolation ne tient pas compte des vaccinations ni du nombre de personnes déjà malades ou immunisées, ni des mesures supplémentaires qui devront être adoptées avec autant de cas)

