



## Contexte du projet

La pandémie de Covid-19 est un des événement qui a le plus bouleversé la France depuis plusieurs dizaines d'années.

Comme pour toute épidémie la propagation de ce virus est un phénomène assez complexe que les chercheurs de toute la planète ne cessent d'étudier. La compréhension de la propagation du Covid-19 est tout aussi importante pour les scientifiques et pour le grand public.

Comme le Président de la République Emmanuel Macron l'a dit nous sommes en guerre contre un ennemi invisible et nous devons tous combattre en respectant les restrictions qui sont établies par des experts du domaine. Pour cela, plusieurs campagnes de sensibilisation sont désormais actives.

Néanmoins, pour de nombreux français, le célèbre slogan "Stay home, flatten the curve" peut paraître assez abstrait. Ainsi, il peut être difficile de se rendre compte du véritable impact des restrictions mises en place et de leur efficacité à endiguer la propagation du virus.

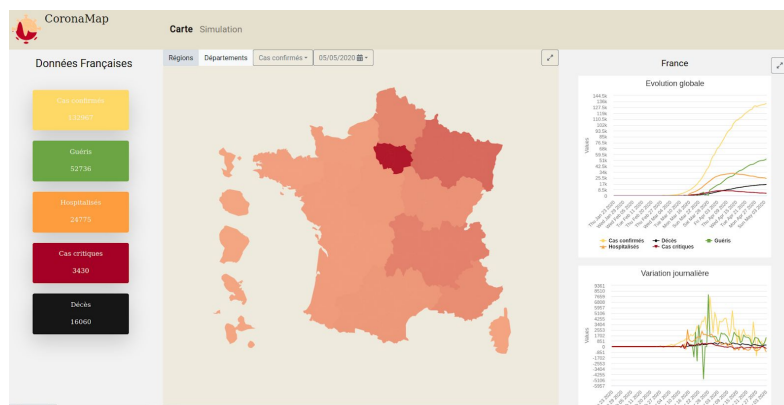
Passionnés par la modélisation mathématique et la visualisation de données nous avons alors décidé de concevoir et implémenter une application web grâce à laquelle chaque français pourra voir les données récentes sur la pandémie, regarder son évolution et comprendre par le moyen d'une simulation interactive, l'effet des mesures prises par le gouvernement. Lors de la simulation, l'utilisateur pourra ajouter ou retirer à sa guise des mesures comme le confinement, la fermeture des frontières et d'autres encore.

Le projet a commencé le 6 avril 2020 et s'est terminé le 7 mai 2020. Sept personnes y ont travaillé suivant la méthode AGILE et en séparant la partie modélisation, back-end et front-end.

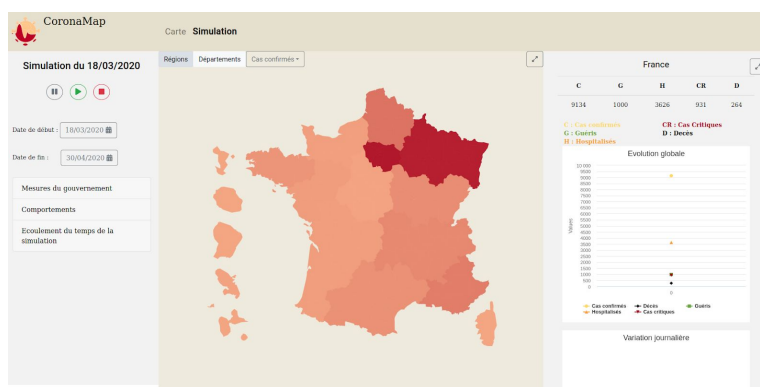
Nous sommes conscients que notre modèle est approximatif mais nous pensons qu'il peut quand même être utile pour de la sensibilisation.

# Description de l'application

Vous pouvez retrouver une courte vidéo de présentation de notre outil [ici](#).



L'onglet Carte a pour but d'informer l'utilisateur sur l'épidémie en France. A gauche il est possible de voir le nombre de cas confirmés, d'hospitalisés, de morts et de guéris entre le début de l'épidémie et la date indiquée au dessus de la carte. Au milieu, il y a une carte de la France qui montre les régions ou les départements d'une couleur plus ou moins foncée par rapport à la catégorie (guéris, hospitalisés, morts, cas confirmés) et à la date sélectionnées. A droite, il y a deux graphes qui montrent l'évolution globale et journalière depuis le début de l'épidémie. Il est possible de cliquer sur un département ou une région pour visualiser dans le panneau de droite les données et les graphes associés pour la date sélectionnée. Dans le cas où aucune zone n'est sélectionnée, les graphes affichés concernent la France.



L'onglet simulation donne la possibilité de voir comment l'épidémie évolue et comment différents paramètres influent sur sa progression. Il est possible à tout moment de changer les paramètres, régler la vitesse de la simulation et visualiser les données sur la carte et dans le panneau de droite qui a la même structure que dans l'onglet Carte. Comme dans ce dernier, il est possible de visualiser les données par région et département. Il n'est possible de modifier les paramètres d'une simulation déjà lancée qu'en la mettant en pause.

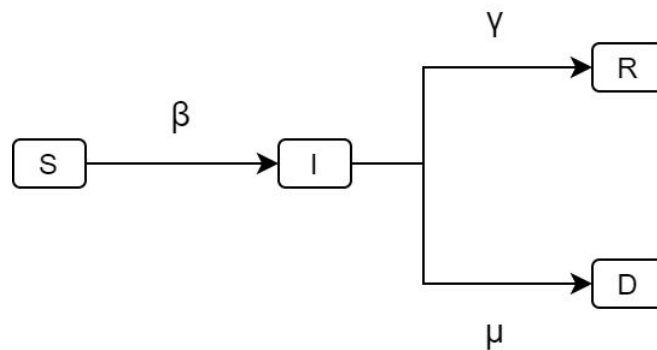
# Structure, modèles et sources

Le code source est entièrement en Java et il est organisé en MVC en deux projets sous IntelliJ : back-end et front-end.

Le projet back-end utilise le framework Spring Boot et JUnit pour les tests et le projet front end utilise Angular CLI et Protractor pour les tests.

## La simulation

Nous avons opté pour une extension du modèle SIR où nous avons pris en compte cinq différentes tranches d'âge. Nous avons ainsi un total de 20 compartiments ( $S_k$ ,  $I_k$ ,  $R_k$ ,  $D_k$ ) pour  $k$  variant de 1 à 5, qui sont liés par le système d'équations différentielles suivant :



$$\begin{aligned}\frac{dS_k}{dt} &= -\beta_k S_k \sum_k I_k \\ \frac{dI_k}{dt} &= \beta_k S_k \sum_k I_k - \gamma_k I_k - \mu_k I_k \\ \frac{dR_k}{dt} &= \gamma_k I_k, \quad \frac{dD_k}{dt} = \mu_k I_k\end{aligned}$$

Pour mieux comprendre le modèle SIR, nous vous recommandons d'aller voir la vidéo suivante <https://www.youtube.com/watch?v=-2tI3MQFqkI>

## Paramétrisation :

Voici ici un récapitulatif des paramètres employés dans notre simulateur.

**Remarque** : pour le taux de mortalité, un facteur 1/15 correspondant au taux de guérison. est appliqué à chaque coefficients car dans notre modèle, la sortie des compartiments "Infecté" et la transition vers le compartiment "Mort" sont indépendants, l'un intervenant avant l'autre.

	Valeur ou expression
$\beta_k$ : taux de transmission	$\frac{c_k * R_0}{(\gamma_k + \mu_k) * N_k}$
$\gamma_k$ : taux de guérison	1/15≈0.067

	0-14	15-44	45-64	65-74	75+
$\mu_k$ : taux de mortalité	0.00001/15	0.0005/15	0.002/15	0.005/15	0.003/15
$c_k$ : coefficient de distanciation social	0.8	0.9	0.7	0.6	0.5
$N_k$ : Population du groupe	0.178*PopFR	0.357*PopFR	0.259*PopFR	0.11*PopFR	0.095*PopFR

	Références
$\beta_k$ : taux de transmission (formule)	<a href="#">Department of Anthropological Sciences Stanford University ,Mai 2007</a>
$\gamma_k$ : taux de guérison ( on prend en compte le temps d'incubation )	<a href="#">Annals of Internal Medicine, Mai 2020</a>
$\mu_k$ : taux de mortalité	<a href="#">Santé Publique France</a>
$c_k$ : coefficient de distanciation social	Choisis arbitrairement
$N_k$ : Population du groupe	<a href="#">Insee</a> / <a href="#">Statista</a>

## Résolution

Les équations différentielles sont résolues numériquement par une méthode de Runge-Kutta RK4. Nous avons implémenté la méthode générale de Runge-Kutta ainsi que la méthode spécifique RK4 pour la résolution de problèmes de Cauchy d'ordre n.

Pour plus d'informations, nous vous invitons à aller lire *Analyse numérique et équations différentielles* de Jean Pierre DEMAILLY chapitre VIII paragraphe 3.

## Source de données en rapport avec l'épidémie

Les données pour l'onglet Map sont issues de opencovid19 : [LIEN](#) et elles sont récupérées chaque jour par le back-end dans un fichier output.csv. Toutefois les dernières données disponibles remontent à deux jour avant la date courante pour les données nationales et régionales et à la veille de la date courante pour les départements.

## Axes d'amélioration

Nous sommes conscients que notre projet est perfectible et nous avons ainsi réfléchi à des axes d'amélioration que nous aurions pu intégrer à notre projet si nous avions eu plus de temps.

- Amélioration du modèle :
  - Prise en compte des déplacements des personnes
  - Prise en compte de paramètres plus avancés : fermeture des frontières, fermeture des commerces, ...
  - Prendre en compte les EHPAD
  - Autres
- Amélioration de l'interface graphique :
  - Ajout d'info-bulles
  - Ajout d'indicateurs pour aider à interpréter les courbes
  - Améliorations graphiques
  - Autres
- Ajout d'un didacticiel de prise en main interactif
- Ajout d'une page avec des liens utiles et officiels

Nous sommes également conscients que dans l'état actuel le modèle fonctionne très mal. Le problème vient du fait que le modèle s'appuie sur les données récupérées à partir des informations du gouvernement. Or le modèle a besoin de connaître nombre total d'infectés en France à un instant  $t$  pour pouvoir produire une prédiction fiable à l'instant  $t + 1$ , et c'est une donnée à laquelle nous n'avons pas accès aujourd'hui. Ce problème constitue l'axe d'amélioration le plus important du projet.