

Comment les maths ont prédit la propagation du COVID-19

Modèles SIR, R_0 et épidémiologie mathématique

Pinel Baudelaire T. DAHOU

Data Scientist & IA | Ingénieur en Travaux Statistiques
tpineldahoui@gmail.com | github.com/Baudelaire12

Mardi 24 Février 2026

Série LinkedIn STEM au Quotidien — Jour 2/40

Plan de la présentation

- 1 Mise en contexte
- 2 Concepts clés
- 3 Développement mathématique
- 4 Cas pratique
- 5 Conclusion
- 6 Références

Épidémies : un enjeu mathématique avant tout

Chiffre clé

En 2020, des modèles épidémiologiques développés dès janvier prédisaient une pandémie mondiale de COVID-19 avec plus de **100 millions de cas** si aucune mesure n'était prise (Ferguson et al., 2020 — Imperial College London).

- La modélisation épidémiologique existe depuis **1927** avec les travaux de Kermack & McKendrick.
- Ces modèles ont guidé les décisions de confinement dans plus de **180 pays** en 2020.
- En Afrique, des équipes comme **APHRC** (Kenya) et **SACEMA** (Afrique du Sud) ont adapté ces modèles aux contextes locaux.

Question centrale

Comment un simple système d'équations différentielles peut-il prédire l'évolution d'une épidémie et guider des politiques de santé publique ?

Le modèle SIR : trois compartiments, une équation

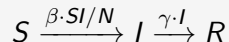
Les trois compartiments :

- **S** — *Susceptibles* : individus pouvant être infectés
- **I** — *Infectieux* : individus contagieux
- **R** — *Retirés* : guéris ou décédés (immunisés)

Hypothèses :

- Population fermée : $N = S + I + R = \text{cste}$
- Mélange homogène de la population
- Immunité définitive après guérison

Flux entre compartiments



- β : taux de transmission
- γ : taux de guérison
- $1/\gamma$: durée moyenne d'infection

Le nombre de reproduction de base R_0

Définition fondamentale

Le **nombre de reproduction de base** R_0 représente le nombre moyen de personnes qu'un individu infectieux contamine dans une population entièrement susceptible.

$$R_0 = \frac{\beta}{\gamma}$$

Maladie	R_0 estimé	Transmission	Source
Rougeole	12 – 18	Très élevée	(Guerra et al., 2017)
COVID-19 (Delta)	5 – 8	Élevée	(Liu & Rocklöv, 2021)
Grippe saisonnière	1.2 – 1.4	Modérée	(Biggerstaff et al., 2014)
Ebola (2014)	1.5 – 2.5	Modérée	(Althaus, 2014)

Règle d'or : Si $R_0 > 1 \Rightarrow$ l'épidémie se propage. Si $R_0 < 1 \Rightarrow$ elle s'éteint.

Système d'équations différentielles du modèle SIR

Système dynamique complet :

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = -\frac{\beta \cdot S \cdot I}{N} \\ \frac{dI}{dt} = \frac{\beta \cdot S \cdot I}{N} - \gamma \cdot I \\ \frac{dR}{dt} = \gamma \cdot I \end{cases}$$

Conservation de la population :

$$\frac{dS}{dt} + \frac{dI}{dt} + \frac{dR}{dt} = 0 \quad \Rightarrow \quad S(t) + I(t) + R(t) = N \quad \forall t$$

Condition d'émergence épidémique :

$$\left. \frac{dI}{dt} \right|_{t=0} > 0 \iff \frac{\beta \cdot S_0}{N} > \gamma \iff R_0 \cdot \frac{S_0}{N} > 1$$

Extensions du modèle SIR

Modèle SEIR (avec période d'incubation) :

$$S \rightarrow E \rightarrow I \rightarrow R$$

E = individus *Exposés* (infectés mais non encore contagieux)

Modèle SEIRD (avec mortalité) :

$$S \rightarrow E \rightarrow I \rightarrow R + D$$

D = *Décédés*

Immunité collective :

$$p_c = 1 - \frac{1}{R_0}$$

Fraction minimale de la population à immuniser pour stopper l'épidémie.

Exemple COVID-19

Pour $R_0 = 6$ (variant Delta) :

$$p_c = 1 - \frac{1}{6} \approx 83\%$$

Il faut immuniser **au moins 83%** de la population pour atteindre l'immunité collective.

Application : COVID-19 en Afrique de l'Ouest

Étude adaptée au contexte africain

Des chercheurs ont adapté les modèles SEIR aux spécificités africaines : structure d'âge jeune, comorbidités différentes, sous-déclaration des cas (Mbow et al., 2020 ; Diop et al., 2021).

Paramètres estimés pour l'Afrique de l'Ouest (2020) :

Paramètre	Valeur estimée	Interprétation
R_0 initial	2.4 – 3.1	Transmission communautaire
R_t (après mesures)	0.7 – 0.9	Épidémie maîtrisée
Durée d'incubation ($1/\sigma$)	5.2 jours	(He et al., 2020)
Durée infectieuse ($1/\gamma$)	2.9 jours	(He et al., 2020)
Taux de sous-déclaration	10 – 20×	(Lau et al., 2021)

Enseignement : Le confinement a réduit le R_t en dessous de 1 dans plusieurs pays, illustrant l'impact direct des politiques inspirées par la modélisation.

Synthèse

Les modèles mathématiques épidémiologiques (SIR, SEIR et leurs extensions) sont des outils fondamentaux de santé publique. Ils permettent de prévoir l'évolution d'une épidémie, d'estimer l'impact des interventions et d'optimiser les stratégies de vaccination.

Perspectives :

- Intégration des modèles sur réseaux (Network-based SIR) pour mieux représenter les contacts sociaux réels
- Couplage avec le machine learning pour l'estimation dynamique des paramètres (β , γ)
- Développement de systèmes d'alerte précoce basés sur la surveillance génomique (variantes virales)
- Adaptation des modèles aux contextes béninois et ouest-africains avec données locales fiables

« En épidémiologie, les modèles ne sont pas la réalité — mais sans eux, nous serions aveugles face à la réalité. »

Références bibliographiques

-  Kermack, W. O., & McKendrick, A. G. (1927). A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the Royal Society A*, 115(772), 700–721.
-  Ferguson, N. M., et al. (2020). *Impact of non-pharmaceutical interventions to reduce COVID-19 mortality*. Imperial College COVID-19 Response Team. Report 9.
-  Liu, Y., & Rocklöv, J. (2021). The reproductive number of the Delta variant of SARS-CoV-2 is far higher compared to the ancestral SARS-CoV-2 virus. *Journal of Travel Medicine*, 28(7).
-  He, X., et al. (2020). Temporal dynamics in viral shedding and transmissibility of COVID-19. *Nature Medicine*, 26, 672–675.
-  Guerra, F. M., et al. (2017). The basic reproduction number (R_0) of measles. *The Lancet Infectious Diseases*, 17(12), e420–e428.
-  Diop, B. Z., Ngom, M., Pougoué-Biyong, C., & Paye-Jocktane, U. (2021). The relatively young and rural population may limit the spread and severity of COVID-19 in Africa. *BMJ Global Health*, 5(5).
-  Box, G. E. P. (1976). Science and statistics. *Journal of the American Statistical Association*, 71(356), 791–799.

Merci pour votre attention

Pinel Baudelaire T. DAHOUI

Data Scientist & IA | Ingénieur en Travaux Statistiques

`tpineldahoui@gmail.com`

`github.com/Baudelaire12`

LinkedIn : @Pinel Baudelaire DAHOUI

Série STEM au Quotidien — 40 jour