



## **Projet ICI - Utilisation d'un jumeau numérique pour des simulations épidémiologiques**

Maxime Colomb, Quentin Cormier, Carl Graham, Julien Perret, Denis Talay

### **► To cite this version:**

Maxime Colomb, Quentin Cormier, Carl Graham, Julien Perret, Denis Talay. Projet ICI - Utilisation d'un jumeau numérique pour des simulations épidémiologiques. Journée de la recherche de l'IGN 2024, Institut national de l'information géographique et forestière, Mar 2024, Champs sur Marne, France. <hal-04654383>

**HAL Id: hal-04654383**

**<https://hal.science/hal-04654383v1>**

Submitted on 27 Aug 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 - Attribution - Non-commercial use - No Derivative Works - International License

# Projet ICI — Utilisation d'un jumeau numérique pour des simulations épidémiologiques

Journée de la recherche de l'IGN 2024

---

**Maxime Colomb** <sup>1,2,3</sup>    Quentin Cormier <sup>1,2</sup>    Carl Graham <sup>1,2</sup>    Josselin Garnier <sup>1</sup>    Julien Perret <sup>3,4</sup>    Denis Talay <sup>1, 2</sup>

28 Mars 2024

<sup>1</sup> Centre de Mathématiques Appliquées de l'Ecole polytechnique (CMAP - École Polytechnique)

<sup>2</sup> Analyse d'interactions stochastiques intelligentes et coopératives (ASCI-INRIA)

<sup>3</sup> Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Information Géographique (LASTIG-IGN)

<sup>4</sup> Laboratoire de démographie et d'histoire sociale (LDH-EHESS)

**ICI** : projet pluri-disciplinaire entre Inria, l'École Polytechnique et l'IGN.

**Jumeau numérique** territorial d'une grande zone urbaine

*couplé avec*

un simulateur **épidémiologique** à l'échelle **individuelle**.

*Cela nous permet notamment de*

- Simuler des **chaînes de contaminations** réalistes
- Quantifier l'impact de nombreuses **politiques sanitaires**
- Mettre à disposition une interface d'exploration des résultats

Architecture **modulaire** à tous les niveaux.

## I) Le générateur de jumeaux numériques

*Déjà présenté lors des JR 2023*



## II) Le simulateur de diffusion épidémique

[https://invidious.  
privacydev.net/  
watch?v=  
t8DvbTOHv7U](https://invidious.privacydev.net/watch?v=t8DvbTOHv7U)

## III) L'exploration du modèle et de ses résultats

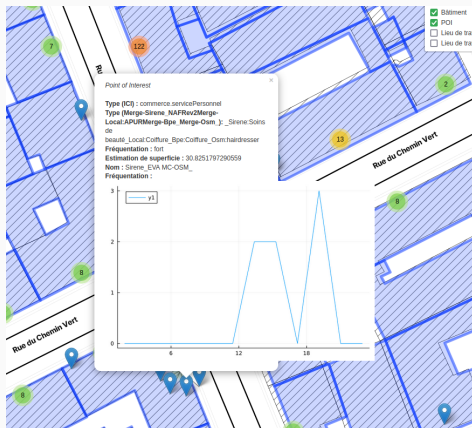
## Jumeau numérique

---

Modélisation **très fine** du territoire à l'échelle des lieux de vie et de travail.

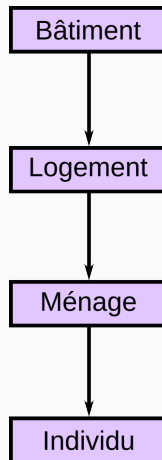
## Lieux contenus dans les bâtiments :

- Lieux de travail
- Points d'intérêt (POI)
- Logements



## Un générateur original

- Fortement **géolocalisé**
- De **nombreux attributs descriptifs** des individus et de leurs ménages
- Configurations **hiérarchisées** et conformes aux données socio-démographiques disponibles



## Flux extérieurs

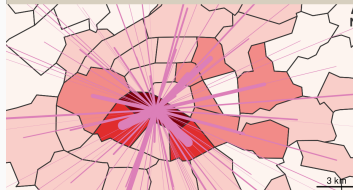
- Flux pendulaires
- Flux occasionnels

## Agendas individuels

Définis pour chaque :

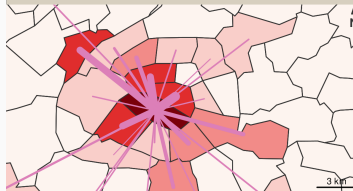
- Classe d'âge
- Occupation
- Statut socio-professionnel
- Zone d'habitat
- Jour de la semaine

Flux entrant des Vème-Vlème-Vllème arrondissements - arrivée à 9h



Données issues de l'Étude Globale Transport

Flux sortant des Vème-Vlème-Vllème arrondissements - arrivée à 9h





# Simulation épidémiologique

---

Simulation **probabiliste** à l'échelle individuelle.

**Déplacement** des *individus* en fonction de leurs *agendas* dans les *lieux* du jumeau numérique.

Probabilité de contamination lors de la **présence simultanée** d'individus dans un **même lieu**.

**Réplication** par méthode de **Monte Carlo** pour l'**étude statistique** de la propagation épidémique.

Probabilité de contamination actuelle :

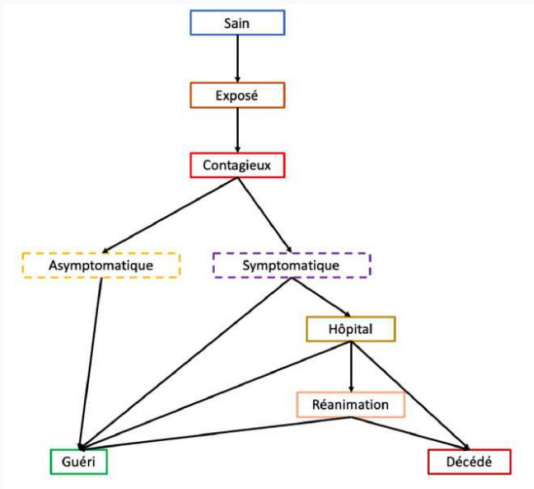
$$1 - \left( 1 - \frac{\text{transmission\_factour}}{(\text{distance}/\text{distance}_{\text{type}})^2} \right)^{\text{duration}/\text{duration}_{\text{type}}}$$

*Dépendant de :*

- *Contact duration and distance between individuals*
- *Coefficients for calibration, depending on the type of place where individuals meet*

Hoertel, N., Blachier, M., Blanco, C., Olsson, M., Massetti, M., Rico, M. S., Limosin, F. & Leleu, H. (2020). A stochastic agent-based model of the SARS-CoV-2 epidemic in France. *Nature medicine*.

# Les statuts épidémiologiques



Durées et probabilités de passages entre les états **dépendantes** des **caractéristiques** des individus.

Grâce à la **très fine échelle** du jumeau numérique, nous pouvons implémenter de **nombreuses politiques sanitaires** ciblées et précises :

- Protocoles sanitaires pour les écoles
- Confinements
- Campagnes de vaccination

Grâce à la **très fine échelle** du jumeau numérique, nous pouvons implémenter de **nombreuses politiques sanitaires** ciblées et précises :

- Protocoles sanitaires pour les écoles
- Confinements
- Campagnes de vaccination

Fermeture ciblée de classes :

- Quand le nombre d'élèves malades est supérieur à un seuil

Grâce à la **très fine échelle** du jumeau numérique, nous pouvons implémenter de **nombreuses politiques sanitaires** ciblées et précises :

- Protocoles sanitaires pour les écoles
- Confinements
- Campagnes de vaccination

Fermeture des écoles :

- Quand le taux d'incidence global est supérieur à un seuil

Développé et optimisé dans le langage **Julia**.

Statistiques d'exécution :

Arrondissement Parisien	Individus résidents	Individus au sein de la zone	Durée d'exécution d'une simulation de 100 jours
3ème	34 119	1 283 845	125 sec
15ème	226 913	2 591 227	293 sec
20ème	186 904	1 269 025	147 sec

Sur un ordinateur portable 16Go de RAM - CPU 1.70GHz×4



## Exploration du modèle

---



Plateforme d'exploration de modèles.

*Tutoriel à 16h45*

## Exécutions systématiques de simulation permettant :

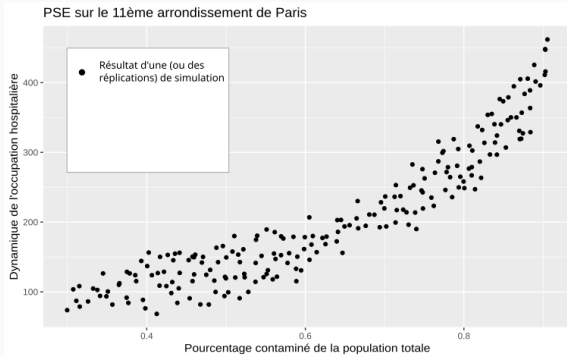
1. d'explorer le modèle et ses paramètres
2. d'optimiser les interventions sanitaires

Exécutions sur le cluster *Margaret* d'Inria et *IRENE-ROME* du CEA

Reuillon, R., Leclaire, M. & Rey-Coyrehourcq, S. (2013). OpenMOLE, a workflow engine specifically tailored for the distributed exploration of simulation models, *Future Generation Computer Systems*.

**Variation** des paramètres de la **loi de contamination** pour trouver les simulations les plus **variées**, selon :

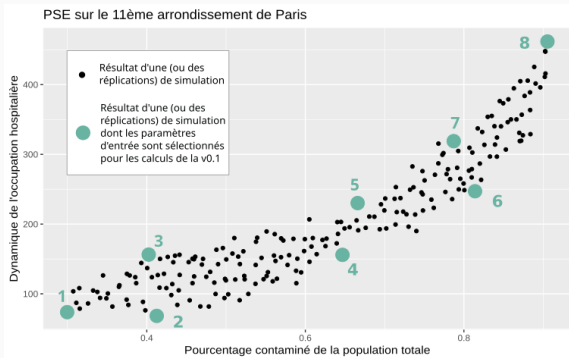
- Le nombre total de contaminations
- La dynamique d'occupation hospitalière



**Variation** des paramètres de la **loi de contamination** pour trouver les simulations les plus **variées**, selon :

- Le nombre total de contaminations
- La dynamique d'occupation hospitalière

Présélection de différentes formes d'épidémies :



## Optimisation :

- **durée** de la mesure
- **seuil d'application** de la mesure

## Critères d'optimisation :

- **somme** totale des **contaminations**
- nombre total de **jours manqués pour les élèves**

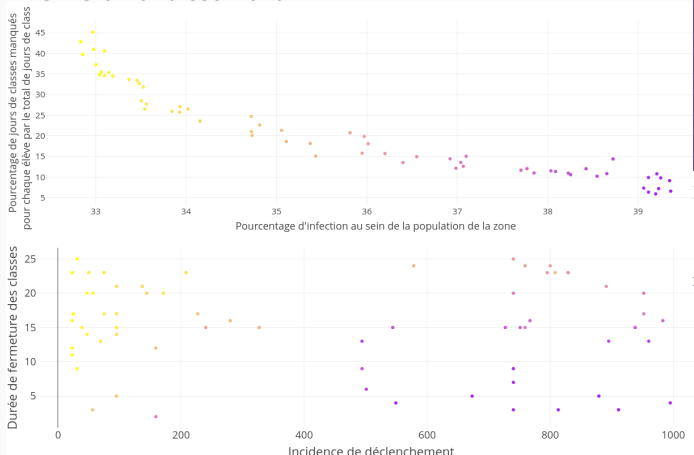


`https://ici.saclay.inria.fr/shiny/multicriterionoptim/schoollockdown/`

## Fermeture **générale** des écoles

### Paramétrage de la loi N°3

#### 11ème arrondissement

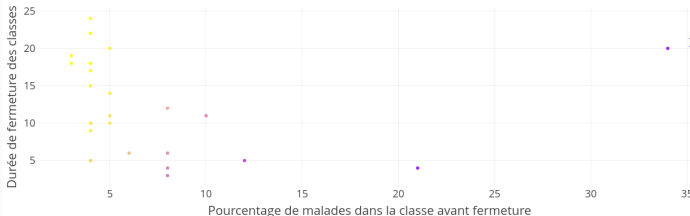
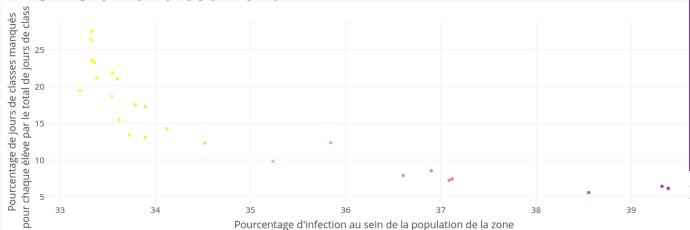


<https://ici.saclay.inria.fr/shiny/multicriterionoptim/schoollockdown/>

## Fermeture individualisée de classes

### Paramétrage de la loi N°3

#### 11ème arrondissement

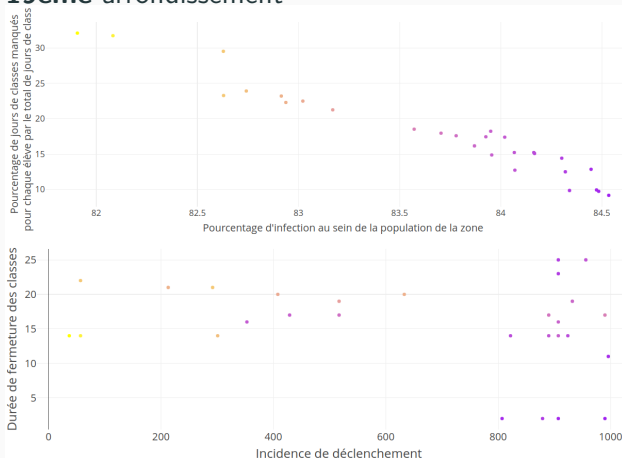


<https://ici.saclay.inria.fr/shiny/multicriterionoptim/schoollockdown/>

## Fermeture **générale** des écoles

## Paramétrage de la loi N°6

## 19ème arrondissement



<https://ici.saclay.inria.fr/shiny/multicriterionoptim/\schoollockdown/>



## Fermeture **individualisée** de classes

### Paramétrage de la loi N°6

#### 19ème arrondissement

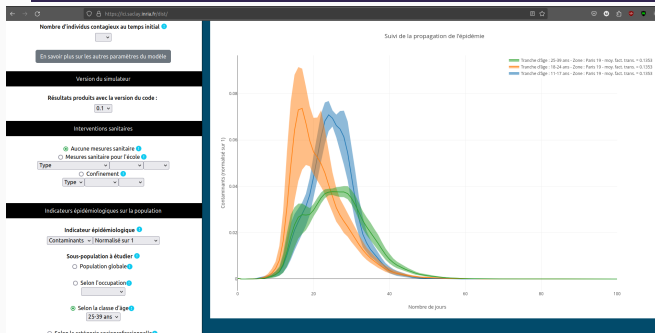


<https://ici.saclay.inria.fr/shiny/multicriterionoptim/schoollockdown/>

## Visualisation des résultats

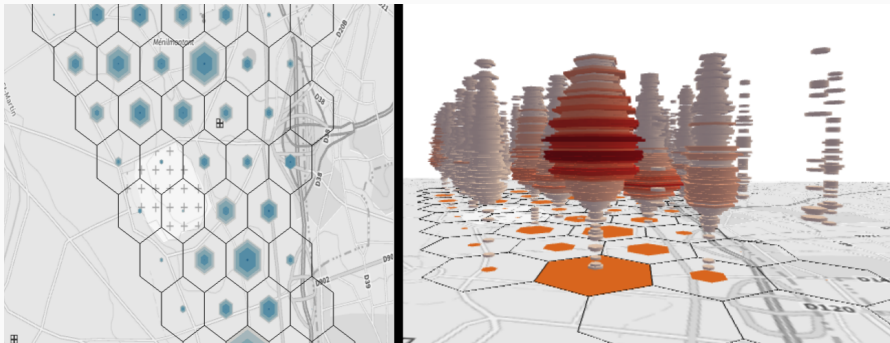
---

ICI



<https://ici.saclay.inria.fr/dist/>

Partenariat avec l'équipe LASTIG-**Geovis** pour des visualisations avancées de diffusion épidémiologique.



*intégration prochaine sur l'appli web*

Gautier, J., Lobo, M. J., Fau, B., Drugeon, A., Christophe, S., & Touya, G. (2021). COVID-19 geoviz for spatio-temporal structures detection. In *Proceedings of the ICA*.

## Conclusions et perspectives

---

Couplage d'un **jumeau numérique** avec un **simulateur épidémiologique**

Influence des **spécificités** géographiques et des dynamiques de contamination

**Fort potentiel opérationnel**

Contribution à l'**épidémiologie d'intervention** et à la validation de politiques sanitaires ciblées

- Intégration de **comportements différenciés** selon les règles sanitaires et modélisation des mobilités (PEPR MOBIDEC).
- Collaboration avec l'INSERM sur l'application du modèle dans le cadre de l'épidémiologie d'intervention.
- Insertion de certains modules dans un catalogue de **jumeaux numériques** nationaux et souverains.

**Merci de votre attention !**

**<https://ici.saclay.inria.fr>**

