

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

Journée de la recherche de l'IGN 2024

---

Maxime Colomb

28 Mars 2024

**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

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



`https://invidious.  
privacydev.net/  
watch?v=  
t8DvbTOHv7U`

# Jumeau numérique

---

# Jumeau numérique d'un territoire

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

## Lieux contenus dans les bâtiments :

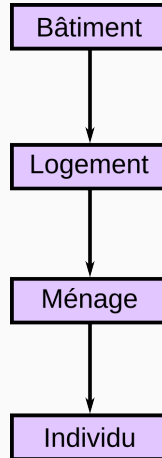
- Lieux de travail
- Points d'intérêt (POI)
- Logements



# Population synthétique quadri-couche

## 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 et déplacements de population

## Flux extérieurs

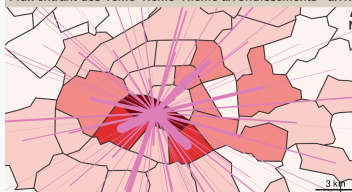
- Flux pendulaires
- Flux occasionnels

## Agendas individuels

Définis pour chaque :

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

Flux entrant des Vème-VIème-VIIème arrondissements - arrivée à 9h



Flux de départs

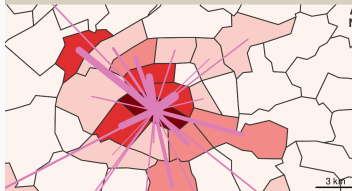


Nombre d'arrivées



Données issues de l'Étude Globale Transport

Flux sortant des Vème-VIème-VIIème arrondissements - arrivée à 9h



Flux de départs



Nombre de départs



# 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 inter-individus

Probabilité de contamination actuelle :

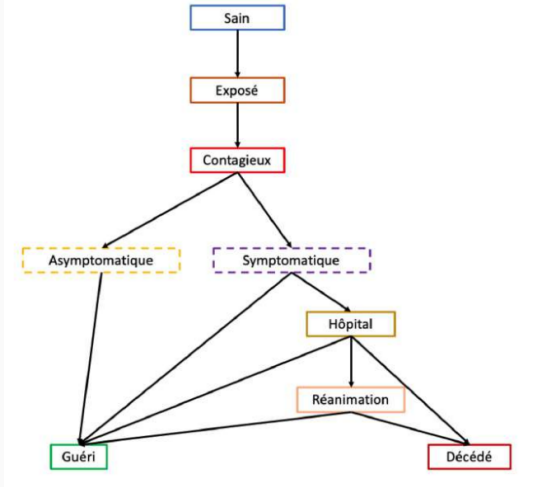
$$1 - \left( 1 - \frac{\text{transmission\_factour}}{(\text{distance}/\text{distance}_{\text{type}})^2} \right)^{\text{duration}/\text{duration}_{\text{type}}}$$

*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., Olfson, 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 :

<b>Arrondissement Parisien</b>	<b>Individus résidents</b>	<b>Individus au sein de la zone</b>	<b>Durée d'exécution d'une simulation de 100 jours</b>
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 :

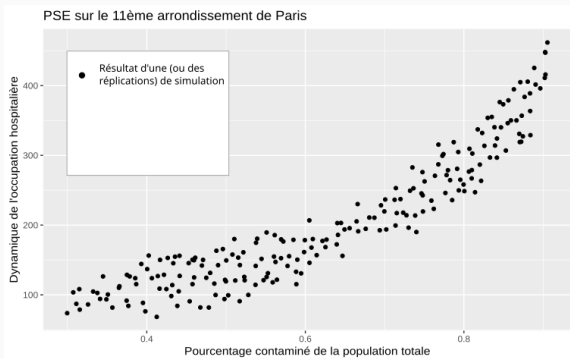
1. d'explorer le modèle et ses paramètres
2. d'optimiser les interventions sanitaires

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 :

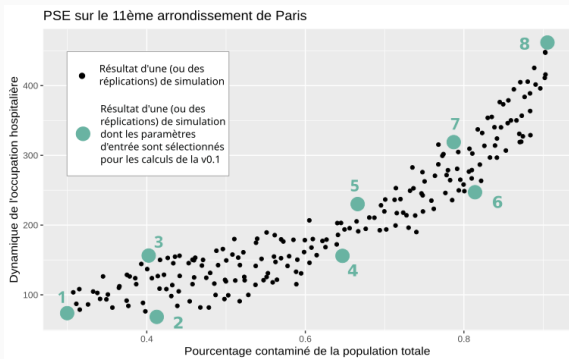
- Le nombre total de contaminations
- La dynamique d'occupation hospitalière



**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**



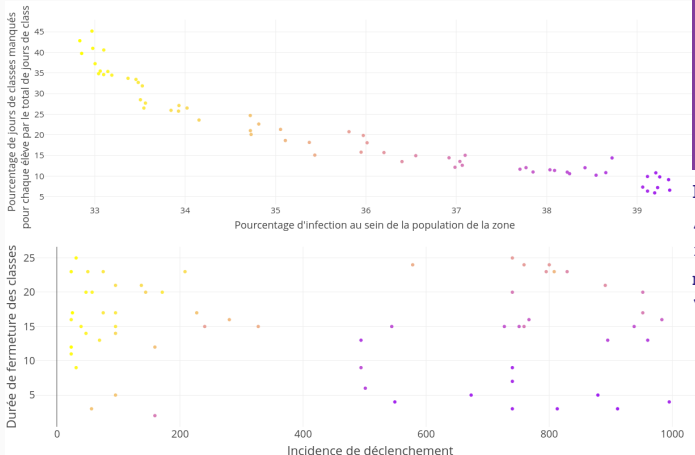
`https://ici.saclay.inria.fr/shiny/multicriterionoptim\schoollockdown/`

# Optimisation de contraintes sanitaires

## Fermeture générale des écoles

### Paramétrage de la loi N°3

#### 11ème arrondissement



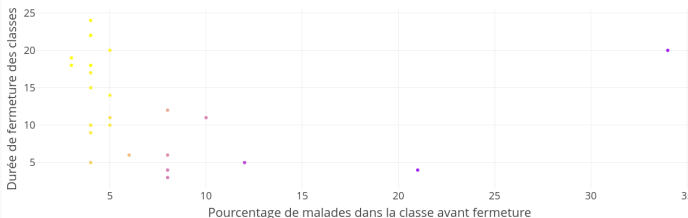
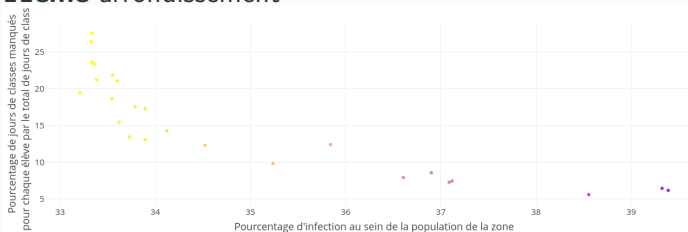
<https://ici.saclay.inria.fr/shiny/multicriterionoptim/schoollockdown/>

# Optimisation de contraintes sanitaires

## Fermeture individualisée de classes

### Paramétrage de la loi N°3

#### 11ème arrondissement

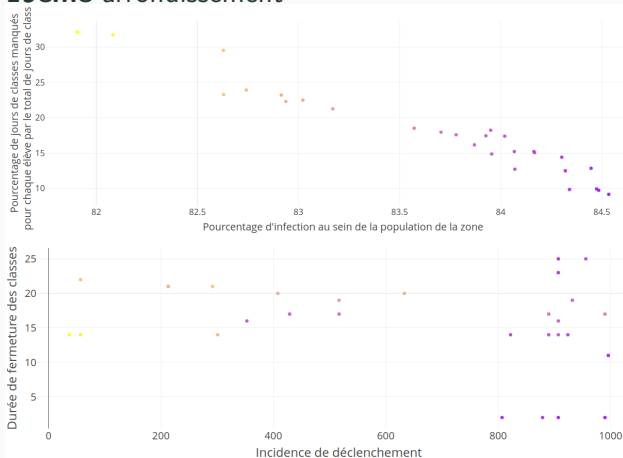


<https://ici.saclay.inria.fr/shiny/multicriterioptim/schoollockdown/>

## Fermeture générale des écoles

### Paramétrage de la loi N°6

#### 19ème arrondissement

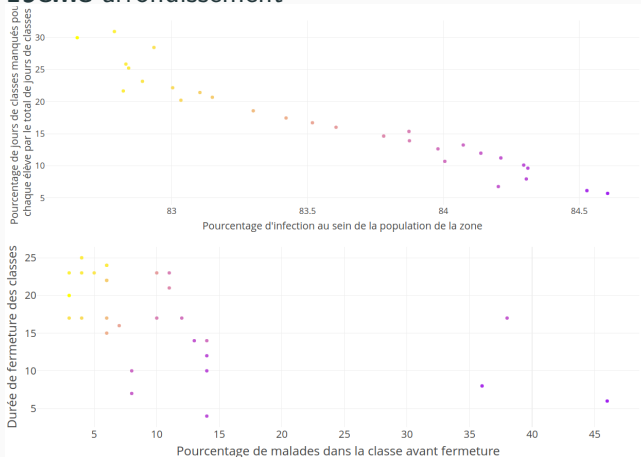


<https://ici.saclay.inria.fr/shiny/multicriterionoptim/schoollockdown/>

## Fermeture individualisée de classes

### Paramétrage de la loi N°6

#### 19ème arrondissement



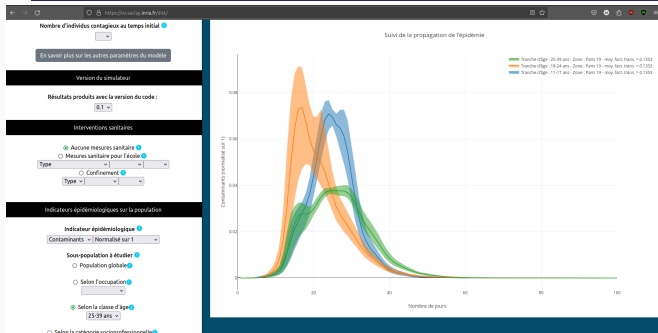
<https://ici.saclay.inria.fr/shiny/multicriterionoptim/schoollockdown/>



## Visualisation des résultats

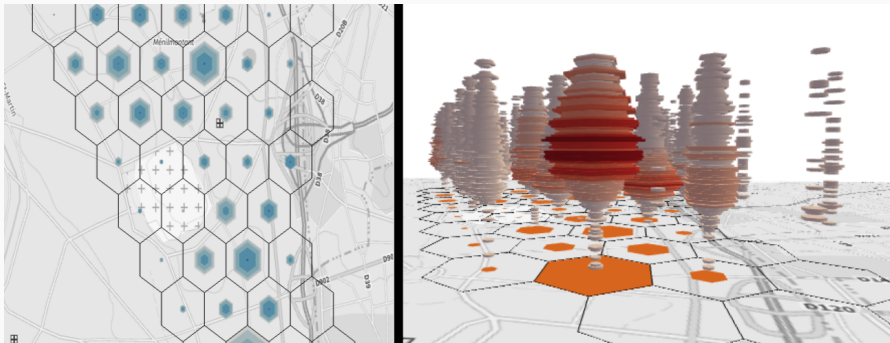
---

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., Dugeon, 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>**

