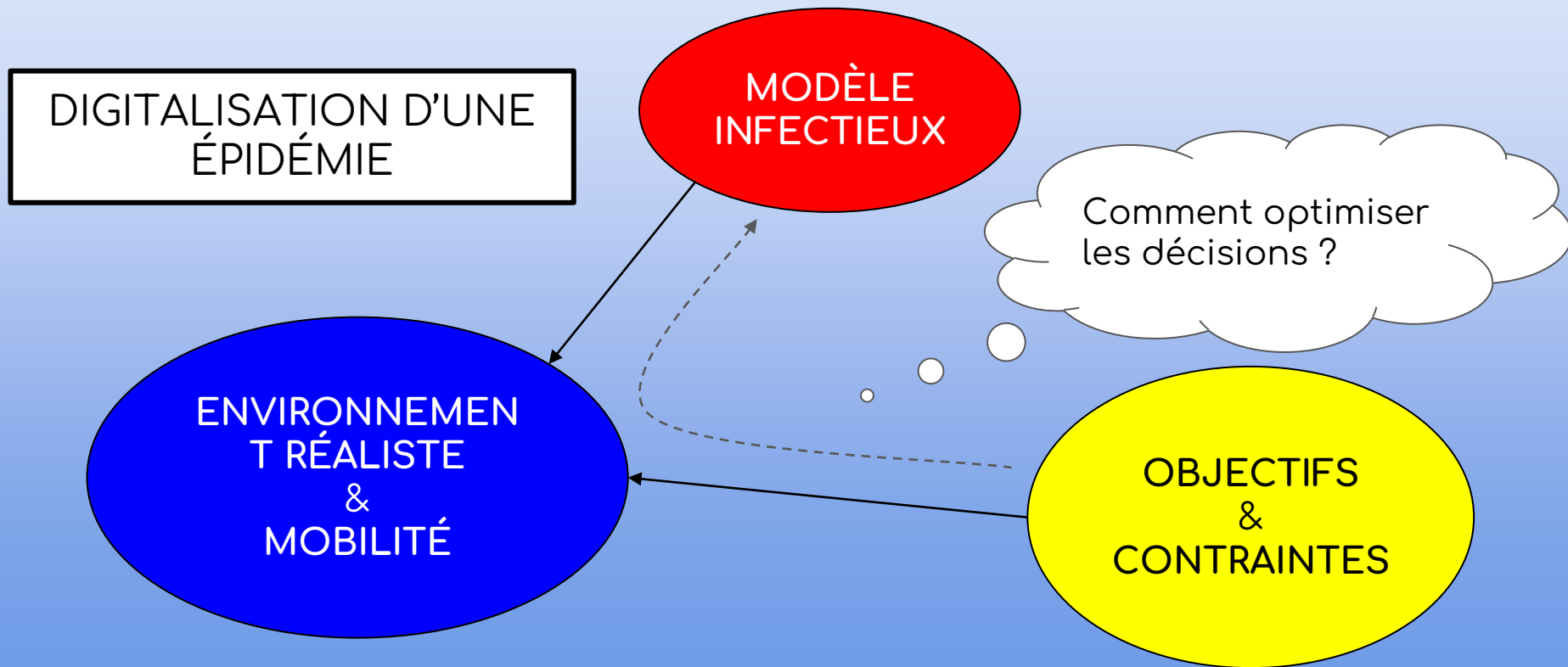


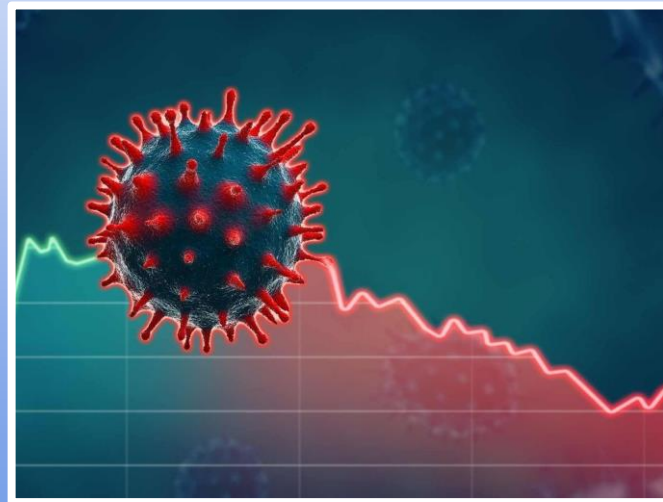
# DRLC : Deep Reinforcement Learning for Combinatorial Optimisation



## ◆◆ SOMMAIRE



- I. **Contexte** scientifique
- II. **Analyse** d'une épidémie
- III. Conception de la **digitalisation**
- IV. Conjoncture **infectieuse**
- V. Conjoncture **économique**
- VI. **Statut final** de l'implémentation
- VII. **Expérimentation** illustrative



## ◆ CONTEXTE SCIENTIFIQUE

### ◇ Simulation actuelle d'une épidémie.

- Modélisation **réductrice** : objets dans un rectangle.
- Système contagieux **discutable**.
- Critère économique **très limité**.
- Evaluation simpliste des stratégies de restriction.
- Existence de plusieurs projets plus élaborés.

## ◆ CONTEXTE SCIENTIFIQUE

### ◇ Modélisation SIR et autres variantes.

$\beta$  : Contacts/jours \* Probabilité de transmission du virus.

$\lambda$  : Durée d'infection moyenne.

$\gamma$  : Inverse de  $\lambda$ .

$R_0 : \beta * \lambda$

Chaque jour,  $\gamma$  individus deviennent rétablis après avoir passé  $\lambda$  jours infectés précédemment.

### Modèle SIR

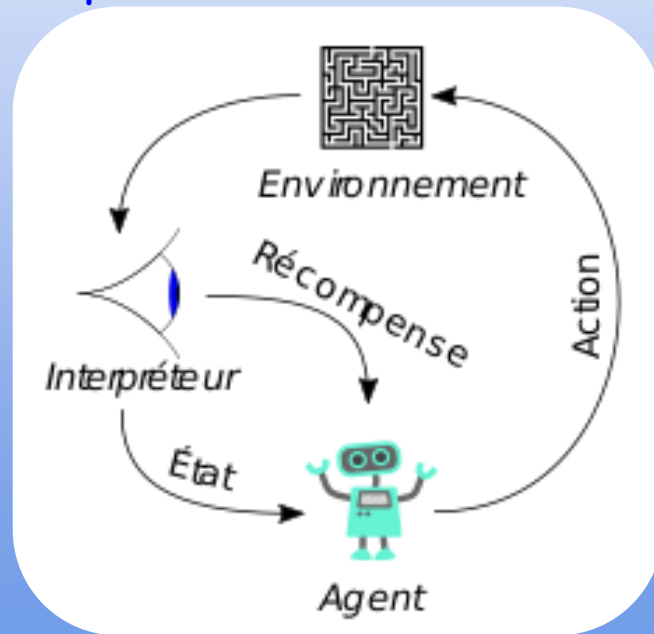


$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = -\beta IS & S(0) = S_0 \\ \frac{dI}{dt} = \beta IS - \gamma I & I(0) = I_0 \\ \frac{dR}{dt} = \gamma I & R(0) = R_0 \end{cases}$$

## ◆ CONTEXTE SCIENTIFIQUE

### ◇ Un petit tour sur l'apprentissage automatique.

- Apprentissage non supervisée.
- Apprentissage supervisée.
- Apprentissage par renforcement.
- Bibliothèques **Python** :  
Pandas, Spark, Scikit Learn,  
Keras, TensorFlow, Pytorch, Rlib





## ◆ CONTEXTE SCIENTIFIQUE

### ◇ Progression de l'apprentissage par renforcement.

- DeepMind (Google), “Machine de Turing neuronale”.

Jeu des Échecs : AlphaZero

Jeu de Go : AlphaGo

Aide médicale rénale : Streams

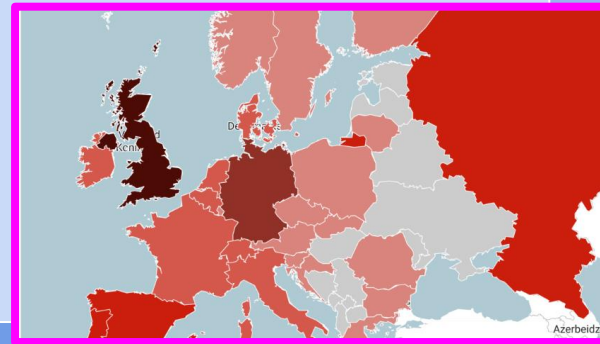
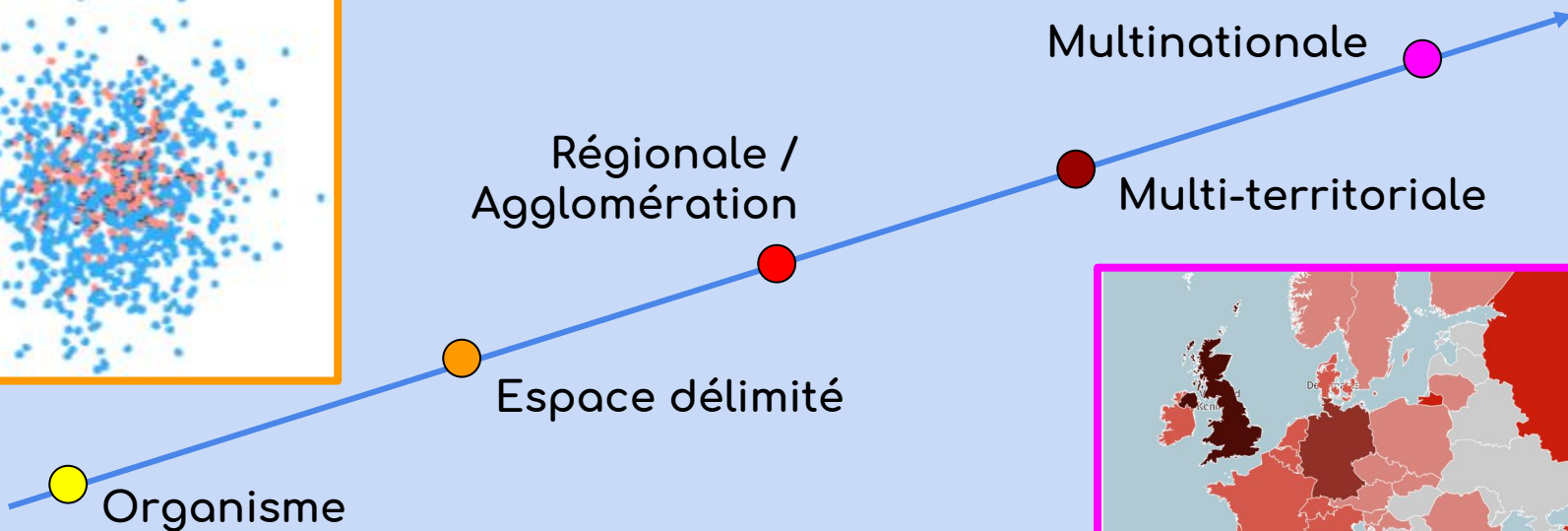
Jeu Starcraft : AlphaStar

Repliement des protéines : AlphaFold

- OpenAI (Elon Musk).
- Autres projets : Jeu DOTA 2, Voitures autonomes

## ◆ ANALYSE D'UNE ÉPIDÉMIE

### ◇ Granulation des échelles épidémiques.





## ◆ ANALYSE D'UNE ÉPIDÉMIE

### ◇ Sélection de la stratégie.

- Besoin d'**évaluations** infectieuses et économiques.
- Avoir une approche **unique** des simulations existantes.
- Solutions **combinatoires** pour gérer une épidémie.
- Conception :

Environnement **adaptable** aux données d'import.

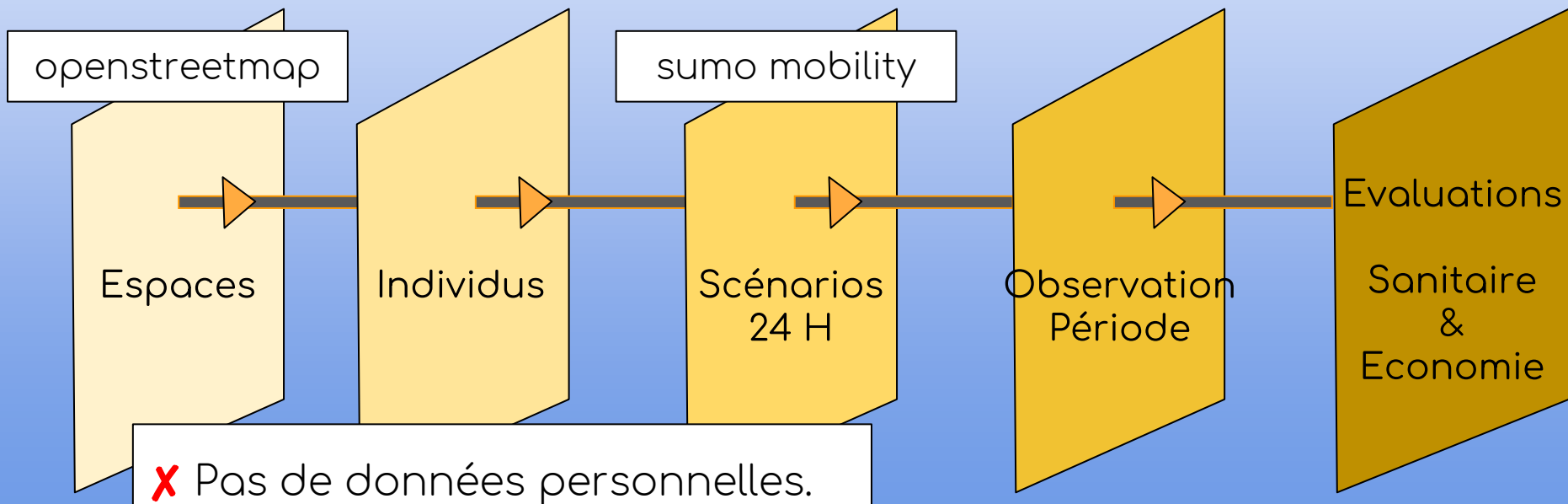
**Décomposable** et recyclable.

Facilement **améliorable** au fil des évolutions.



## ◆ CONCEPTION DE LA DIGITALISATION

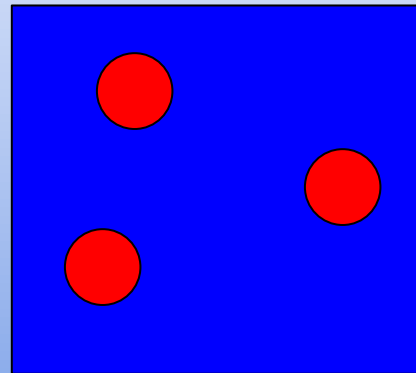
### ◆ Décomposition de la digitalisation.



## ◆ CONCEPTION DE LA DIGITALISATION

### ◇ Digitalisation statique des espaces.

- Lecture d'un fichier **Openstreetmap**.
- **Reclassification** des espaces.
- **Caractérisation** des éléments :
  - Aire.
  - Localisation.
- Maniement des distances **géographiques**.

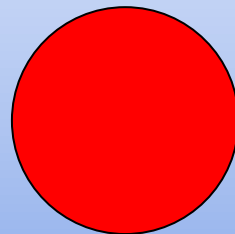




## ◆ CONCEPTION DE LA DIGITALISATION

### ◇ Digitalisation statique des individus.

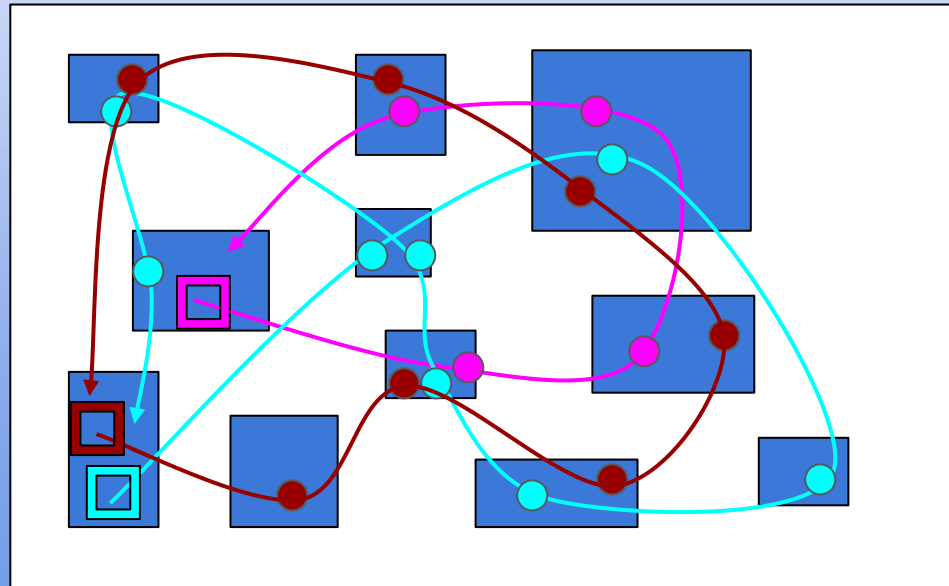
- Données démographiques.
- Âges et classes socio-dynamiques.
- Socle individuel :
  - Logement.
  - Travail.
- Modélisation des individus extérieurs.



## ◆ CONCEPTION DE LA DIGITALISATION

### ◇ Digitalisation dynamique.

- Scénarios sous 24H.
- Hyperparamètres.
- SumoMobility.
- Réseau routier.
- Relier les espaces et les routes.
- Différents transports.





## ◆ CONCEPTION DE LA DIGITALISATION

### ◇ Application des digitalisations.

- **Affluences** détaillées dans les espaces.
- **Support** des évaluations.
- **Période** de temps prédéfinie.
- Application de solutions **combinatoires**.
- Plusieurs conditions d'**arrêt**.

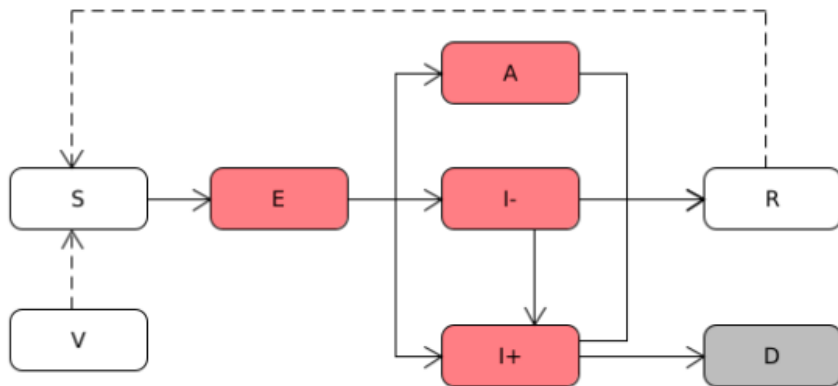
# DRLC : Deep Reinforcement Learning for Combinatorial Optimisation

## ◆ CONJONCTURE INFECTIEUSE

### ◇ Schéma épidémiologiste.

Etat **réel** VS état **connu**.

Modèle SIR **approfondi**.



S : Susceptible

E : Phase d'incubation

A : Malade asymptomatique

I- : Malade standard

I+ : Malade grave

R : Guérit

D : Décédé

V : Vacciné

## ◆ CONJONCTURE INFECTIEUSE

### ◇ Contamination des individus.

- Promiscuité avec des individus infectés dans les espaces.
- **Particules** persistantes dans les espaces et les individus.
- **Seuil** critique de contamination.
- Plusieurs données de **modulation** :

Aire des espaces.

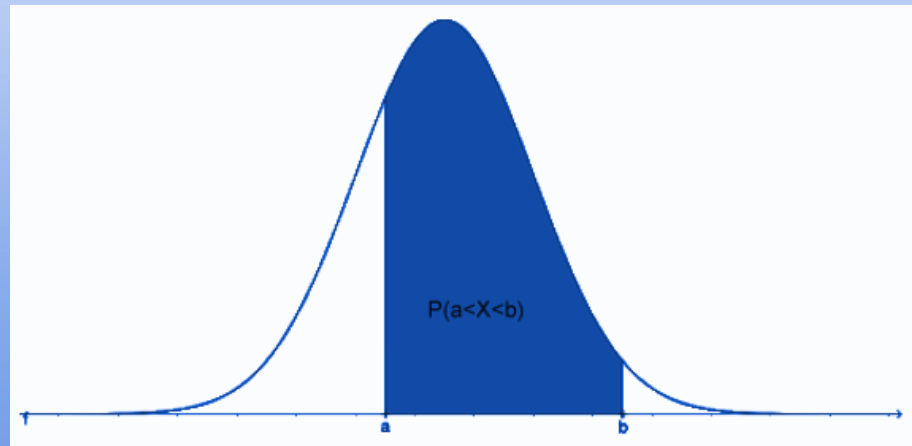
Transports publics.

Implication extérieur.

## ◆ CONJONCTURE INFECTIEUSE

### ◇ Caractéristiques des individus infectés.

- Durée d'incubation **aléatoire**.
- Score infectieux **aléatoire**.
- Répartition avec des **seuils**.
- Emission de particules.
- Guérison & Soins.
- Mortalité **conditionnel**.







## ◆ CONJONCTURE ÉCONOMIQUE

### ◇ Exploitation du fichier *openstreetmap*.

- Au niveau de chaque espace et de chaque individu.
- Considération **temporelle** de l'économie.
- Fonctions économiques **différentes** ; cas particuliers.
- Plusieurs données de **modulation** :

Aire des espaces.

Rôle des individus.

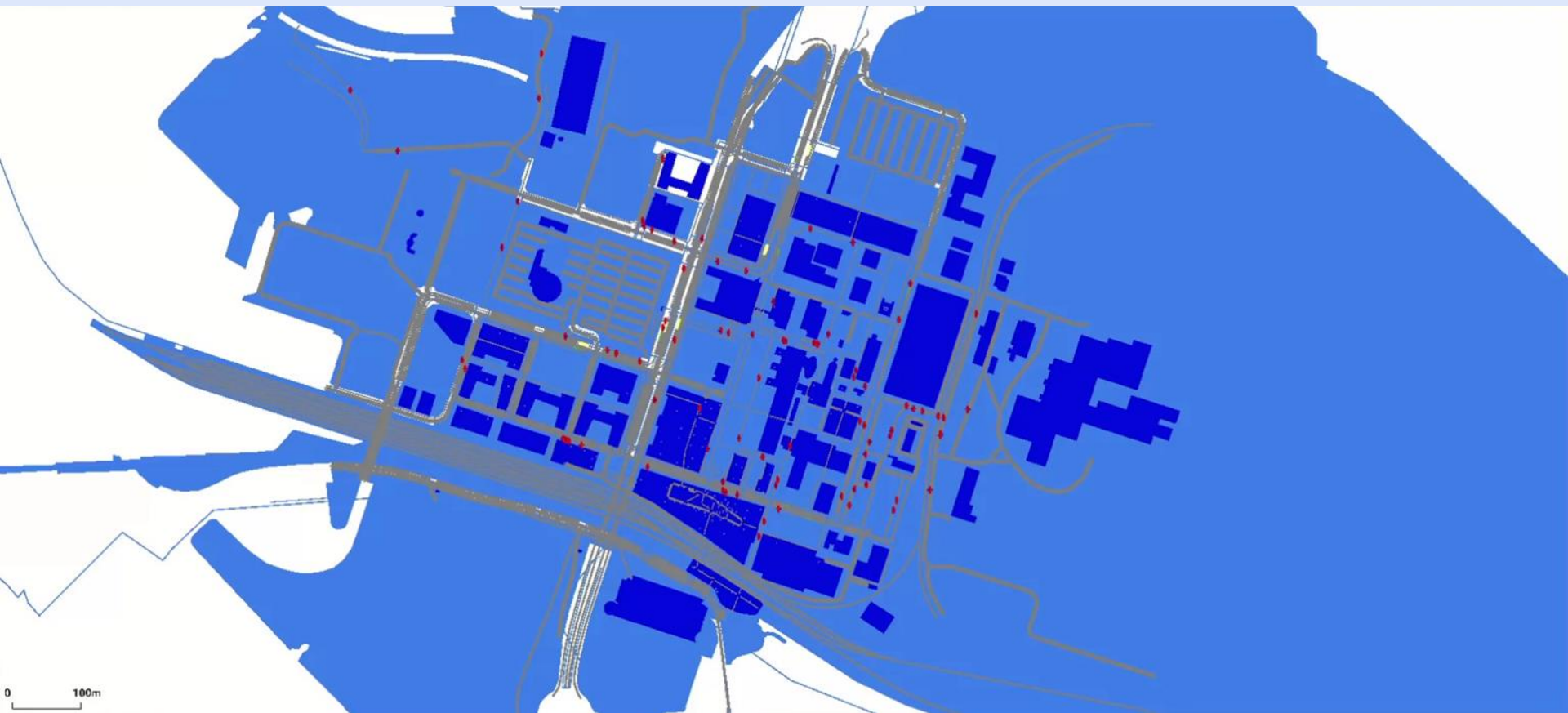
Télétravail & Livraison.

## ◆ STATUT FINAL DE L'IMPLÉMENTATION

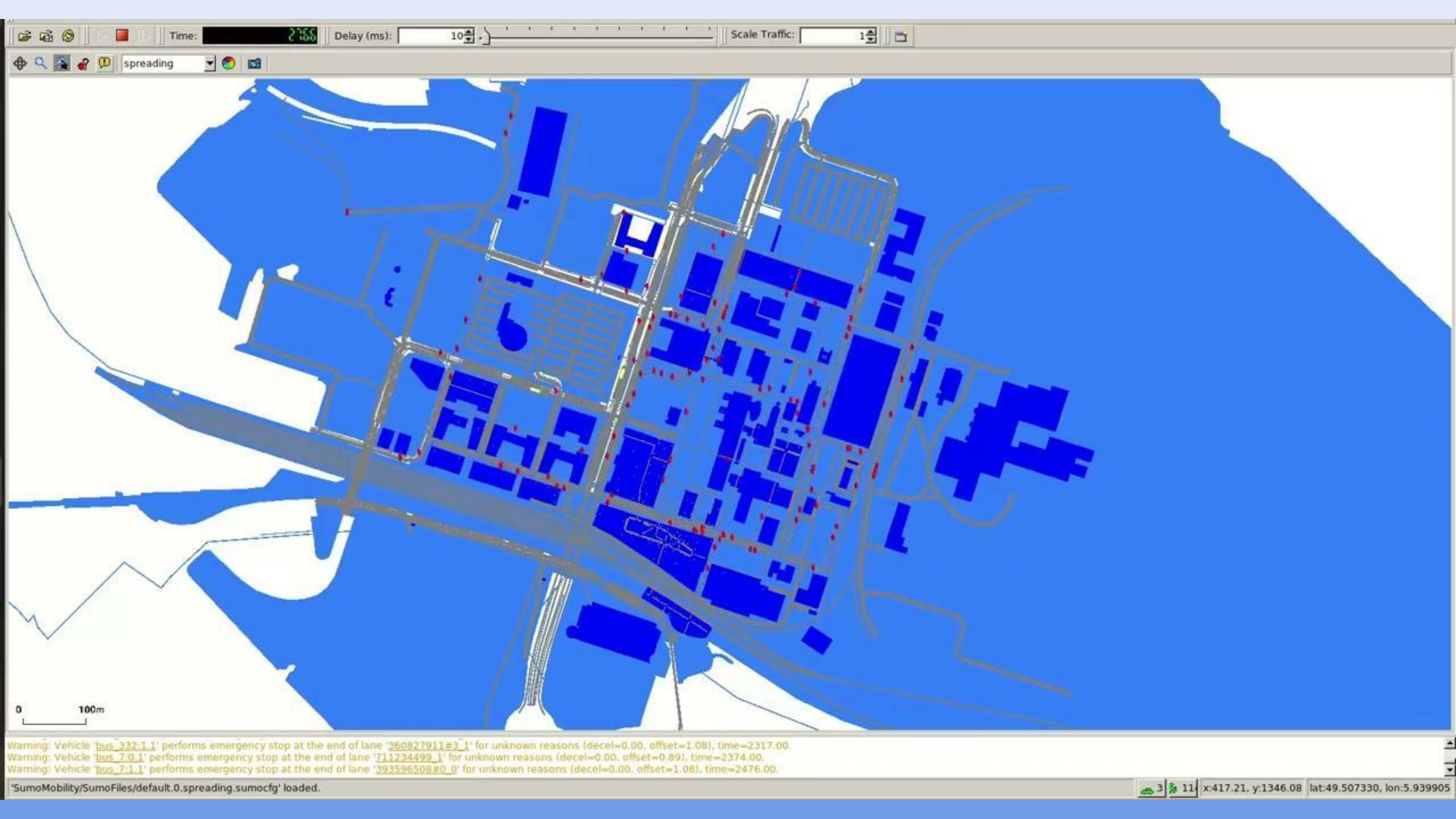
### ◆ Bilan non exhaustif.

IMPLÉMENTÉ	NON IMPLÉMENTÉ
<ul style="list-style-type: none"><li>❑ Lecture automatique d'un fichier Openstreetmap.</li><li>❑ Classification des espaces.</li><li>❑ Liaison automatique des routes et des espaces.</li><li>❑ Mise à jour automatique des états infectieux.</li><li>❑ Application automatique des scénarios sous SumoMobility pour chaque jour de digitalisation.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>❑ Création des scénarios selon plusieurs hyperparamètres.</li><li>❑ Gestion calendaire du temps.</li><li>❑ Classification efficiente des individus.</li><li>❑ Parallélisation des implémentations.</li><li>❑ Évaluations sanitaires et économiques du territoire.</li><li>❑ Apprentissage par renforcement avec plusieurs critères.</li></ul>









Time: 2766

Delay (ms): 10

Scale Traffic: 1

spreading

0 100m

Warning: Vehicle 'bus\_332-1.1' performs emergency stop at the end of lane '360827911#3\_1' for unknown reasons (decel=0.00, offset=1.08), time=2317.00.

Warning: Vehicle 'bus\_7-0.1' performs emergency stop at the end of lane '711234499\_1' for unknown reasons (decel=0.00, offset=0.89), time=2374.00.

Warning: Vehicle 'bus\_7-1.1' performs emergency stop at the end of lane '993596508#0\_0' for unknown reasons (decel=0.00, offset=1.08), time=2476.00.

'SumoMobility/SumoFiles/default.0.spreading.sumocfg' loaded.

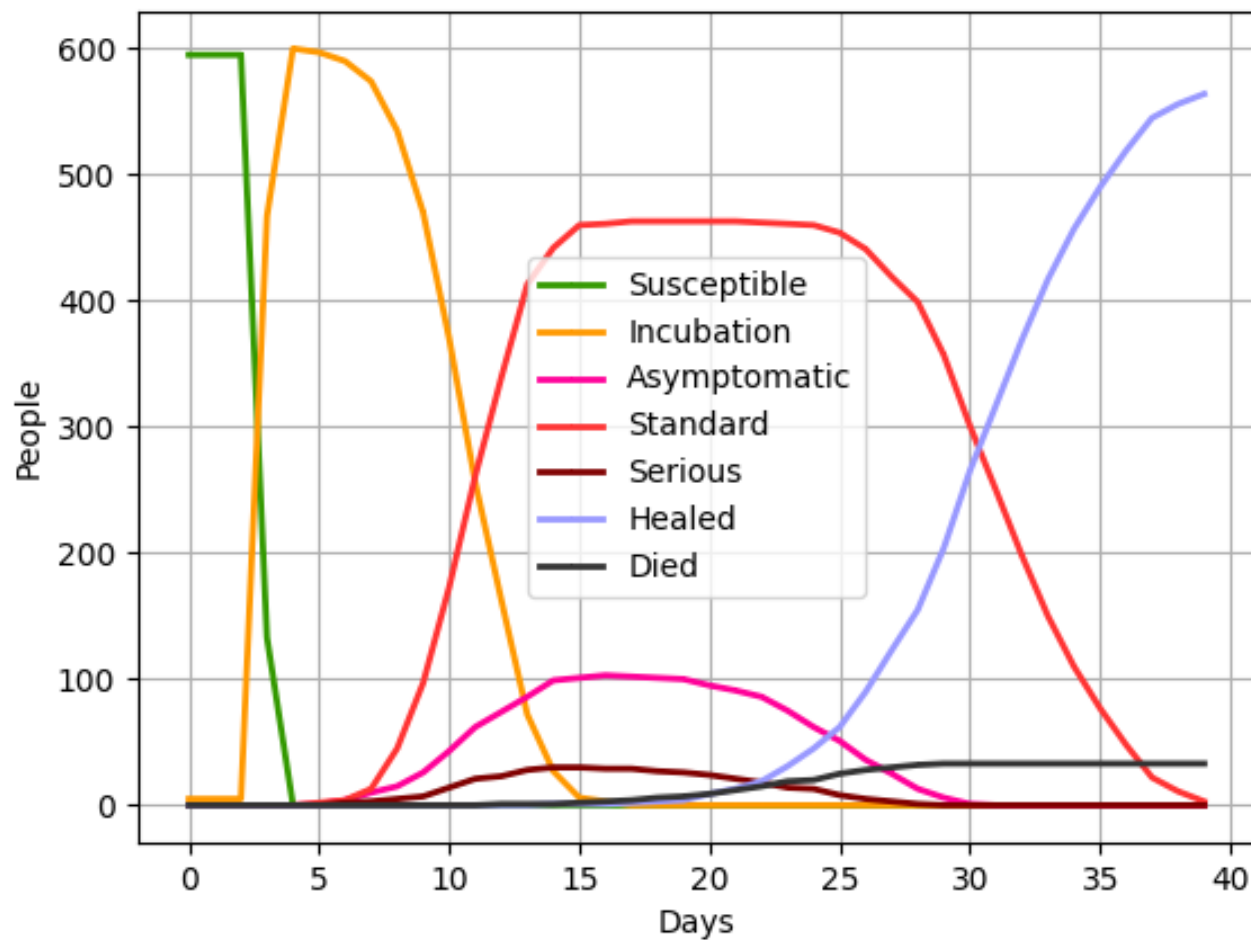
3 11 x:417.21, y:1346.08 lat:49.507330, lon:5.939905



## ◆ EXPÉRIMENTATION ILLUSTRATIVE

### ◇ Résultats épidémiologiques.

- 600 individus implémentés.
- 40 jours de digitalisation.
- Scénarios totalement aléatoires chaque jour.
- Aucune implication extérieure.
- Individus très connectés entre eux.
- 5 infectés en phase d'incubation au premier jour.





# DRLC : Deep Reinforcement Learning for Combinatorial Optimisation

PERSPECTIVES  
D'ÉVOLUTION

Plusieurs  
infections

Fin

Observations  
empiriques du R0

Modification de  
la cartographie

Dynamiques  
dans les espaces

Autres  
complexités de  
l'environnement

Ajout du  
critère/objectif  
psychologique

Considération  
multi-territoriale

Exploration des  
décisions potentielles

## ◆ ANNEXE

### ◇ Motivations du projet.

- Approche réaliste et adaptable à chaque société.
- Décisions applicable à chaque territoire spécifiquement.
- Conjoncture infectieuse inédite.
- Mesure économique réaliste et adapté aux types d'espace.
- Non utilisation de données personnelles.
- Possibilité de dissocier/recycler l'implémentation.
- Aide à la décision VS simulations actuelles de prédiction.

## ◆ ANNEXE

### ◇ Utilisation des données.

- Pas de données personnelles.
- Digitalisation statique : cartographie, démographie, etc.
- Digitalisation dynamique : affluences globales, etc.
- Couche infectieuse : épidémique, etc.
- Conception des “boîtes noires” entre elles.

## ◆ ANNEXE

### ◇ Format Openstreetmap.

- Chemin de noeuds fermée.
- Mesures géographiques.
- Calcul de l'aire et de la localisation moyenne.
- Délimitation du territoire étudié. Limite “administrative”.
- Propension intérieur/frontalière du territoire.
- Non liaison des routes et des espaces.

## ◆ ANNEXE

### ◇ Gestion des distances géographiques.

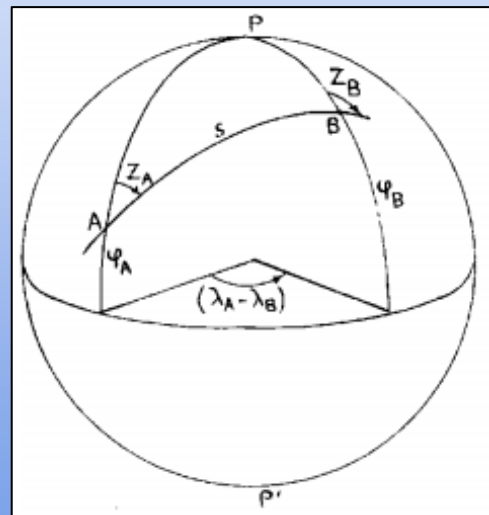
- 2 méthodes de calcul.

- API Python *Shapely*.

- Latitudes :  $\phi_A$  et  $\phi_B$

- Longitudes :  $\lambda_A$  et  $\lambda_B$

- $S_{A-B} = \arccos(\sin \phi_A \sin \phi_B + \cos \phi_A \cos \phi_B \cos(\lambda_B - \lambda_A))$



## ◆ ANNEXE

### ◇ Nombre d'individus à implémenter.

- Concordance du fichier Openstreetmap avec limite d'un territoire.
- Corrélation avec taille du fichier.
- Corrélation avec le total d'aire des logements du territoire.
- Nombre d'individus extérieurs.

## ◆ ANNEXE

### ◇ Base de donnée des espaces/individus.

- Classement en type et sous-type.
- Design pattern Singleton.
- Accès direct aux éléments depuis la Database.
- Fonction interne de filtration.
- Affichage intelligent.

## ◆ ANNEXE

### ◇ Socle individuel.

- Assignation des logements/travails.
- Différentes méthodes d'assignation.
- Individus proches dans les logements/travails.
- Possible ajout des visites amicales et familiales.
- Possible ajout des habitudes psychologiques.
- Cas particulier : enfants, etc.



## ◆ ANNEXE

### ◇ Construction des scénarios.

- 4 H : Réveil & Sommeil des individus.
- Etat infectieux : état connu, état réel.
- Décision territoriale.
- Type de jour et Type de quotidien.
- Rôle des espaces/individus.
- Diverses propensions.
- Fonctions de sélection. Contrainte temporelle.

## ◆ ANNEXE

### ◇ SumoMobility.

- Génie civile. Réseau routier et temps de trajet.
- Différents types de transport.
- Duarouter. Calcul des itinéraires.
- Gestion des transports publics. Contrainte de stationnement.
- Transformation des scénarios en itinéraires.
- Complexité des individus automobilistes.
- Bugs et exécution.

## ◆ ANNEXE

### ◇ Implication extérieur.

- Gestion “incontrôlable” des états extérieurs.
- Individus extérieurs courants et inhabituels : quantités.
- Décisions frontalières et évaluations sanitaires.
- Ressources sanitaires accessibles et demandés à l'extérieur.
- Propension frontalière des mouvements extérieurs.
- Origine des départs/arrivées.

## ◆ ANNEXE

### ◇ Contamination des susceptibles.

- Persistance des particules :  
Nombre de jour fixe au sein de l'individu.  
Durée en heure fixe dans un espace.
- Espaces : catégorie, aire, etc.
- Montant de particules aléatoires à l'extérieur.
- Transport en commun.

## ◆ ANNEXE

### ◇ Malade asymptomatique.

- Autoguérison.
- Distribution tardive des rémissions.
- Insensibilités aux soins et aggravations.
- Quantité d'émission de particules ?
- Pas de réflexes infectieux.
- Données observés discutables.

## ◆ ANNEXE

### ◇ Malade standard.

- Autoguérison. Soins et aggravations.
- Quantité d'émission de particules ?
- Réflexes infectieux.
- Propension à l'identification de son état.
- Seul cas de transition entre état : aggravation en grave.

## ◆ ANNEXE

### ◇ Malade grave.

- Autoaggravation. Soins et aggravations.
- Caractérisation de la mortalité infectieuse.
- Quantité d'émission de particules ?
- Réflexes infectieux. Survie indépendantes des décisions.
- Etat déjà identifié.

## ◆ ANNEXE

### ◇ Poursuite des états malades.

- Mortalité conditionnel à la dynamique.
- Guérison : connu selon quel délai.
- Différence entre individus guéris réels et connus.



## ◆ ANNEXE

### ◇ Détails de la conception infectieuses.

- Attribution du score infectieux et valeurs négatives.
- Flexibilités des proportions des gravités infectieuses.
- Flexibilités des caractéristiques d'une infection :
  - Résistance.
  - Mortalité.
  - Contagiosité.

## ◆ ANNEXE

### ◇ Tests, Soins et Vaccins.

- Délai avant accessibilité : défini ou aléatoire.
- Catégorie d'espace d'acquisition.
- Délai avant apparition des effets.
- Soins positifs et négatifs : variation du score infectieux.
- Matrice de confusion des tests et validités.
- Aspect quantitatif des disponibilités en temps et géographie.

# DRLC : Deep Reinforcement Learning for Combinatorial Optimisation

## ◆ ANNEXE

### ◇ Automatisation des évaluations.

- Fonctions lambda économique et sanitaire.
- Facteurs uniques selon les catégories.
- Utilisation de clé communes et de *None*.

## ◆ ANNEXE

### ◇ Overfitting de la réalité.

- Dynamique au sein des espaces.
- Contamination à l'air ambiant.
- Contamination dans les véhicules personnels.
- Possibilités de Sumo Mobility.

## ◆ ANNEXE

### ◇ Plusieurs infections.

- Immunisation des individus en cas de contamination d'autres infections.
- Mutation aléatoire : apparition, fréquence et gravité.
- Mutation manuelle.

## ◆ ANNEXE

### ◇ Diversité des dynamiques.

- Cas atypique de professions/logements.
- Soit ratio commun de scénarios aléatoires.
- Soit catégorie unique à scénarios aléatoires.

## ◆ ANNEXE

### ◇ Evolution des paramètres.

- Evolutions démographiques.
- Modification des socles individuels.
- Faillite économique des espaces.
- Evolution des ressources sanitaires disponibles.
- Prédiction des évolutions infectieuses.

## ◆ ANNEXE

### ◇ Conception multi-territoriale.

- Théorie des jeux.
- Volonté d'unifier avec une concurrence positive.
- Gestion mémoire différenciée.



## ◆ ANNEXE

### ◇ Contraintes dynamiques avancés.

- Quantité limitée d'individus présents simultanément dans un espace.
- Besoin de respecter des créneaux horaires.
- Respect des horaires d'ouverture.
- Préférence collective de déplacement.

## ◆ ANNEXE

### ◇ Respect des gestes barrières.

- Soit ratio commun de scénarios aléatoires.
- Soit catégorie unique à scénarios aléatoires.
- Abaissement du seuil de contamination.
- Augmentation de l'émission de particules.

## ◆ ANNEXE

### ◇ Tester, alerter et protéger.

- Socle individuel.
- Nombre de jours de recherche des cas contacts.
- Seuil de durée minimale de promiscuité avec le malade.
- Répartition des proximités en espaces et jours.
- Décisions sur les cas contacts : identification et dynamique.
- Apparition d'un nouvelle état infectieux : Alertés.

## ◆ ANNEXE

### ◇ Décisions combinatoires.

- Contraintes sur les individus : âge, état connu, dynamique.
- Contraintes sur les espaces : catégorie, aire.
- Contraintes sur les scénarios : temps, distance.
- Contraintes sur les états infectieux : état connu, soins, tests, vaccins.
- Possibilités d'agencer les décisions entre elles.
- Effets à contraindre manuellement sur l'environnement.

## ◆ ANNEXE

### ◇ Gestion du temps de digitalisation.

- Chaque observation : nombre de jour fixe.  
Plusieurs évaluations quotidiennes.  
Sélection des décisions combinatoires.
- Limite algorithmique du temps.
- Conditions de défaites : sanitaires & économiques.
- Condition de victoire utopique.
- Données intermédiaires pour perfectionner l'environnement.

## ◆ ANNEXE

### ◇ Parallélisation des implémentations.

- Lecture fichier Openstreetmap peu parallélisable.
- Recherche locale des routes les plus proches.
- Créations des individus/scénarios avec un “maître”.
- Traductions des scénarios en itinéraires ; duarouter.
- Exécution et résultats de Sumo Mobility
- Évaluations économiques et sanitaires.
- Sélection des décisions combinatoires.

## ◆ ANNEXE

### ◇ Dynamique dans les espaces.

- Retour sur les simulations épidémiques déjà existantes.
- Mouvement chaotique avec contraintes architecturales.
- Contamination discutable à cette échelle.
- Pas de données personnelles.
- Très intéressant pour la recherche des propensions à contaminer ses occupants selon les catégories.

## ◆ ANNEXE

### ◇ Modification des données cartographiques.

- Ajout d'espaces d'un point de vue stratégique.
- Localisation, aire et ressources associées.
- Un espace de recherche très important.



## ◆ ANNEXE

### ◇ Critère psychologique.

- Impact des décisions sur leurs successions.
- Impact psychologique des espaces visités dans la dynamique de chaque individu.

## ◆ ANNEXE

### ◇ Analyse épidémiologiste des résultats.

- Détermination du taux de reproduction des agents infectieux.
- Permet d'avoir un autre moyen d'approcher la réalité.
- Possibilité de trouver un lien entre :  
Données épidémiques observées.  
Contamination en particules.  
Infection en antigènes & anticorps.