

Modélisation & données de capteurs

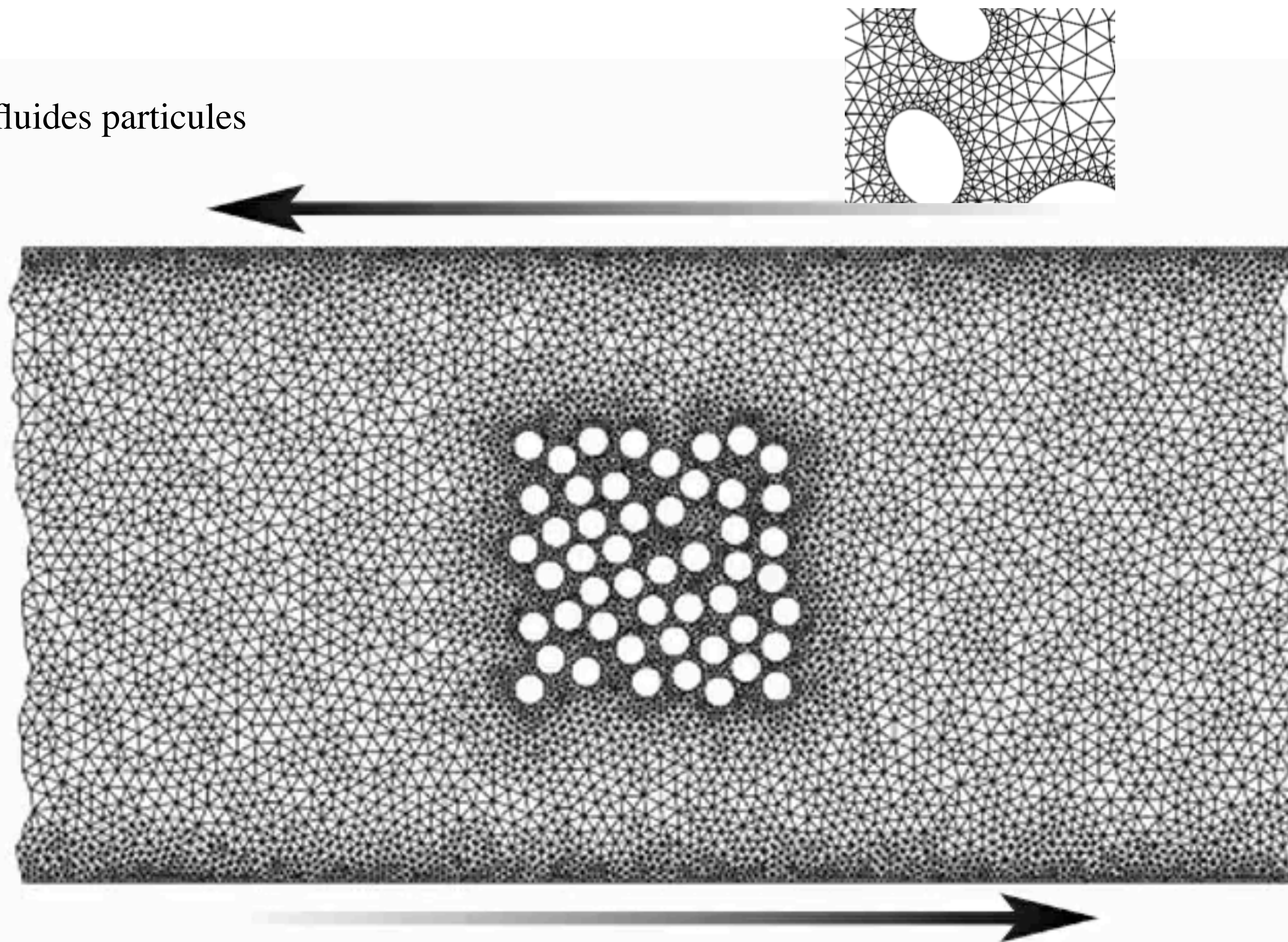
Bertrand Maury,
Laboratoire de Mathématiques d'Orsay, Université Paris Saclay
Département de Mathématiques et Applications, ENS
& Signactif

Collaboration avec Sylvain Faure (CNRS - Orsay)
bertrand.Maury@universite-paris-saclay.fr

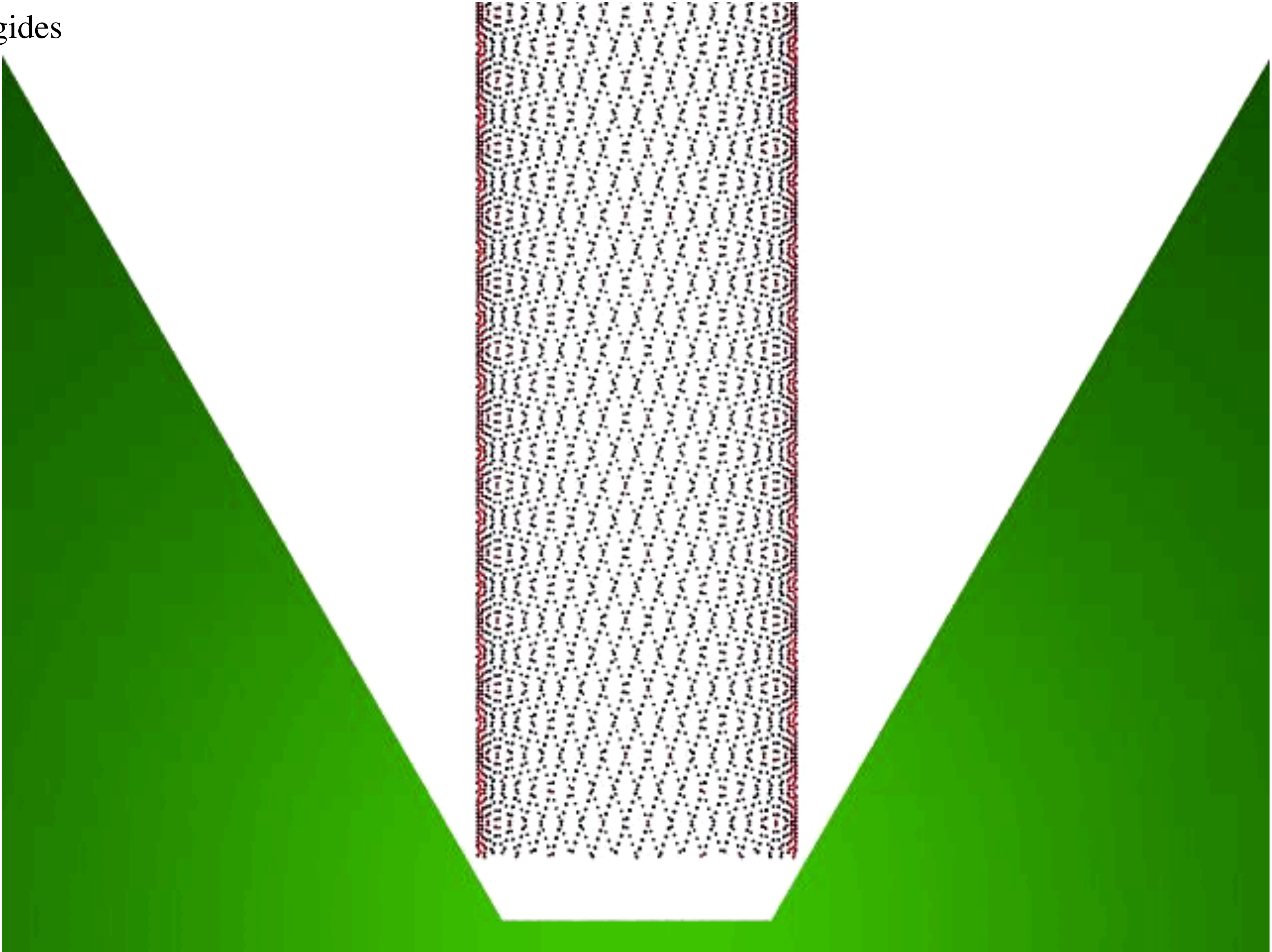
14 décembre 2022

- 1) De la mécanique des fluides aux foules humaines (et autres)
- 2) Modélisation de la propagation d'une épidémie au sein d'une population
- 3) Application à une population virtuelle
- 4) Propagation dans un établissement scolaire
- 5) Utilisation de données de capteurs : expérience au Kremlin-Bicêtre
- 6) Suivi du CO₂ dans des lieux confinés

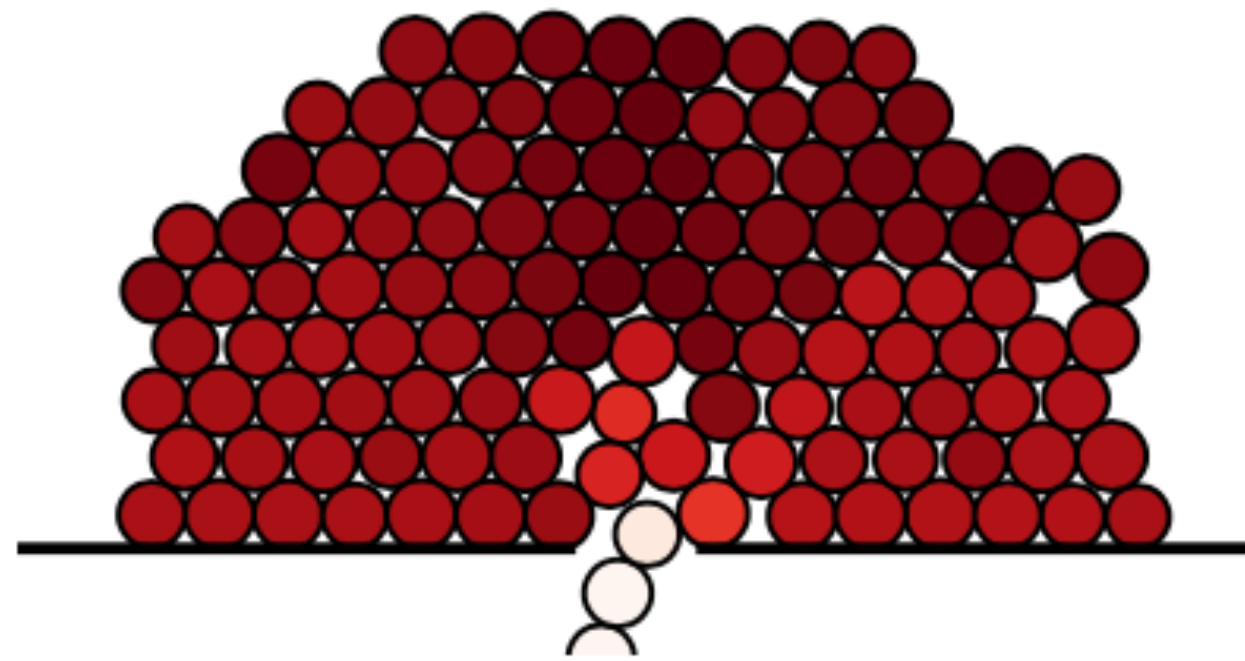
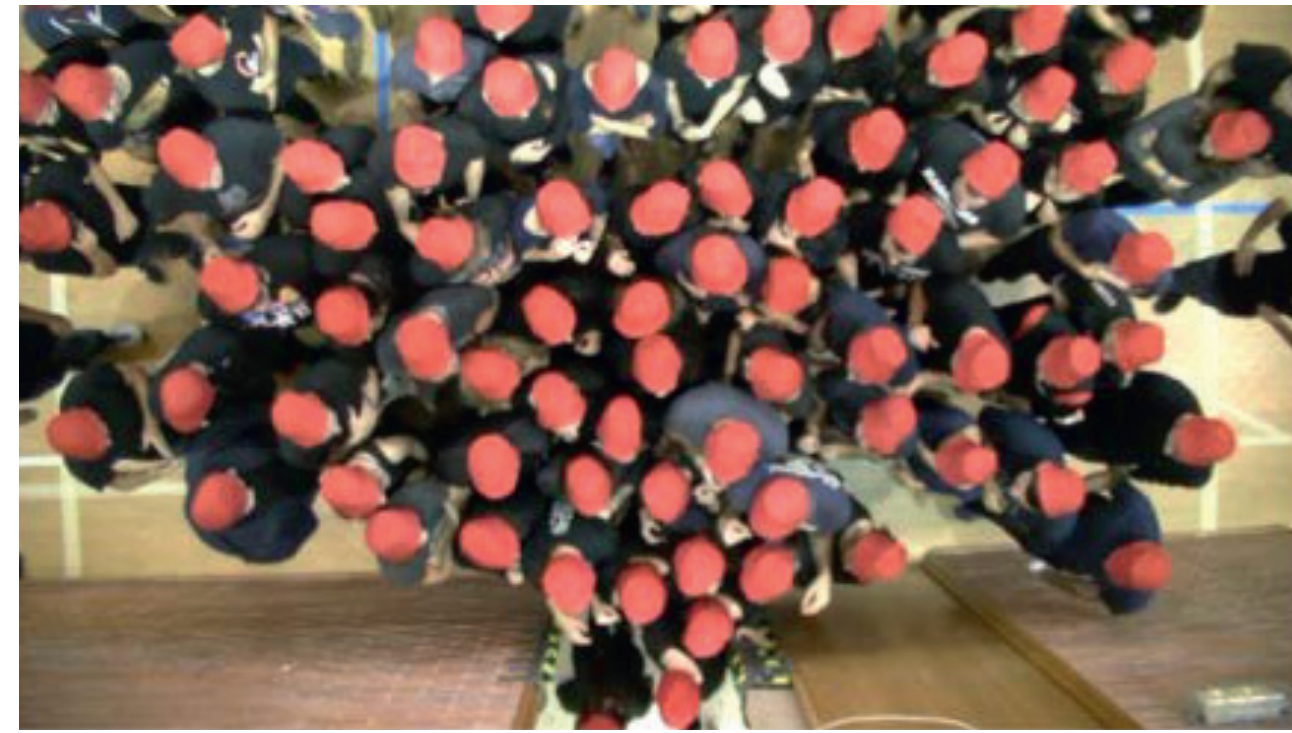
Écoulements fluides particules



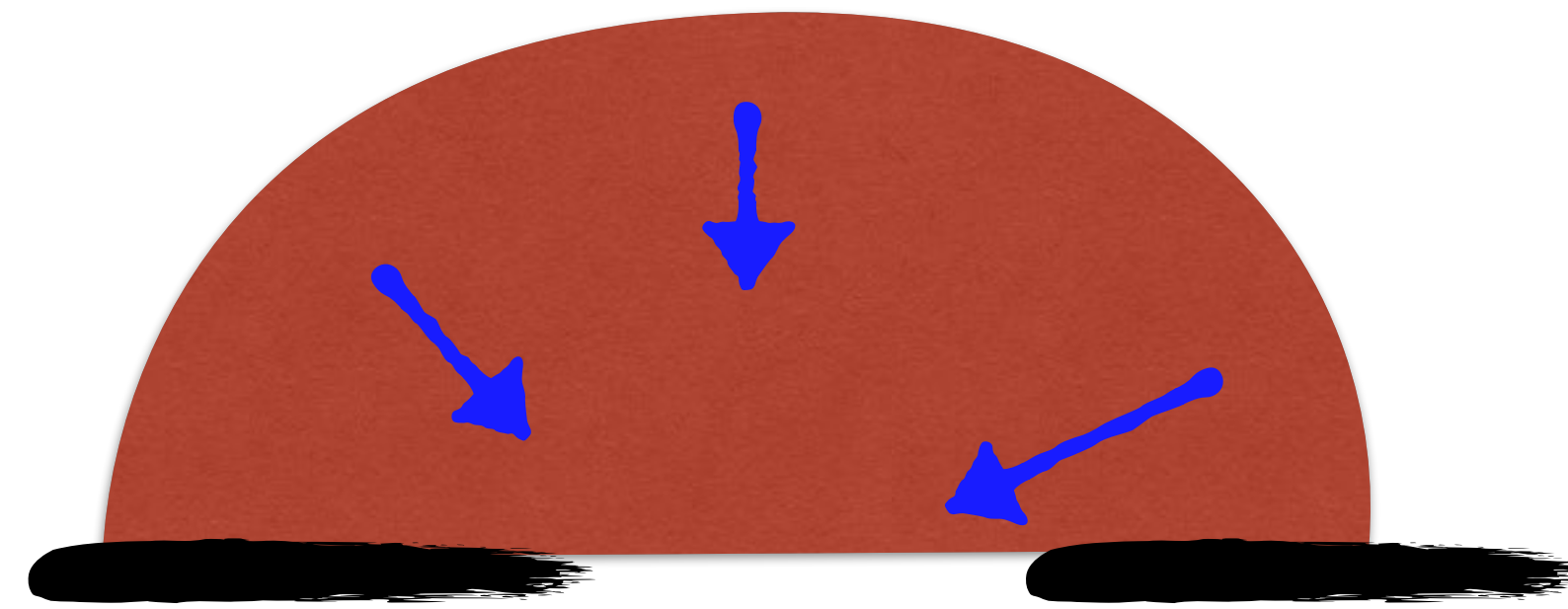
Grains rigides



Mouvements de foules



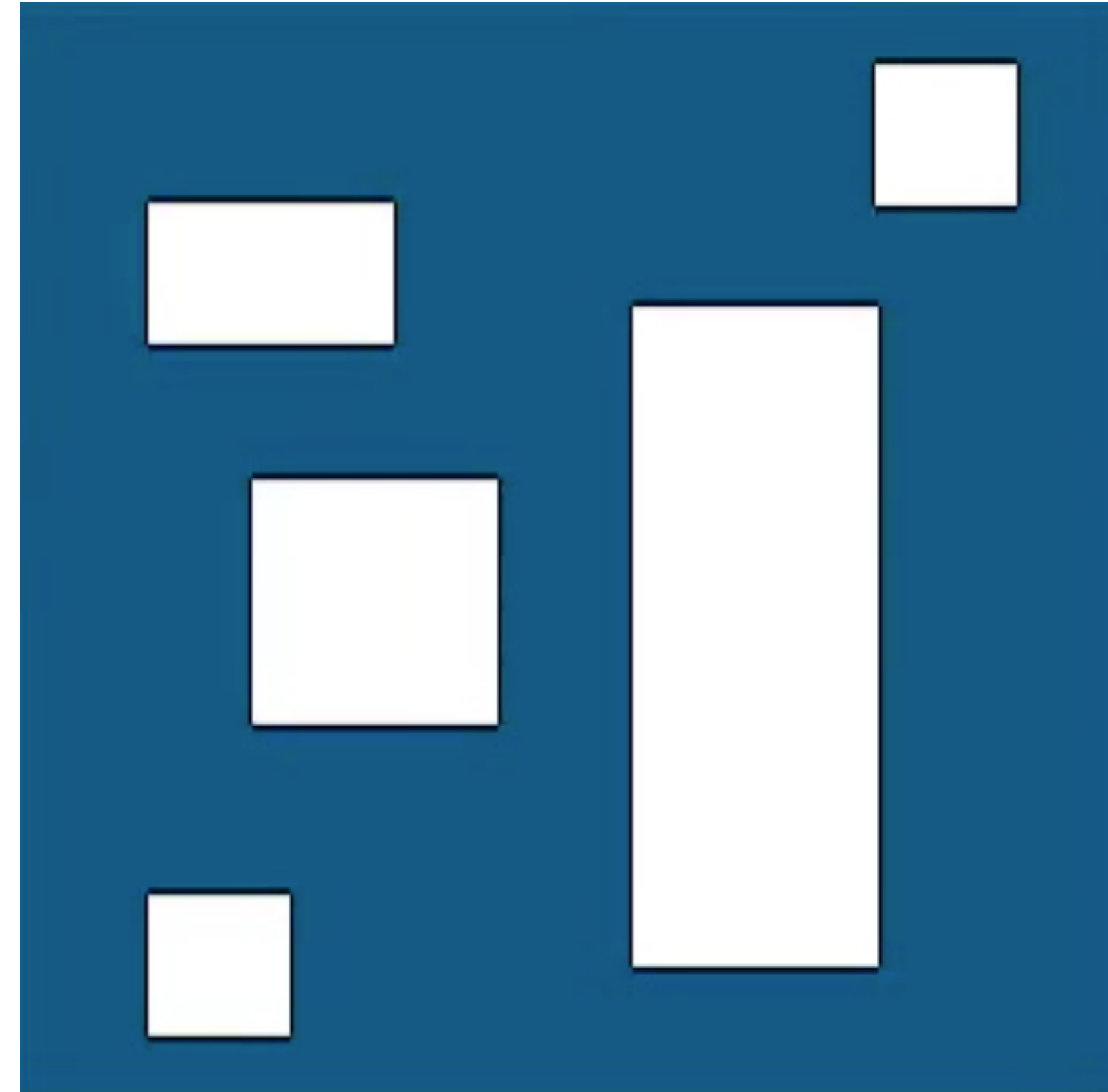
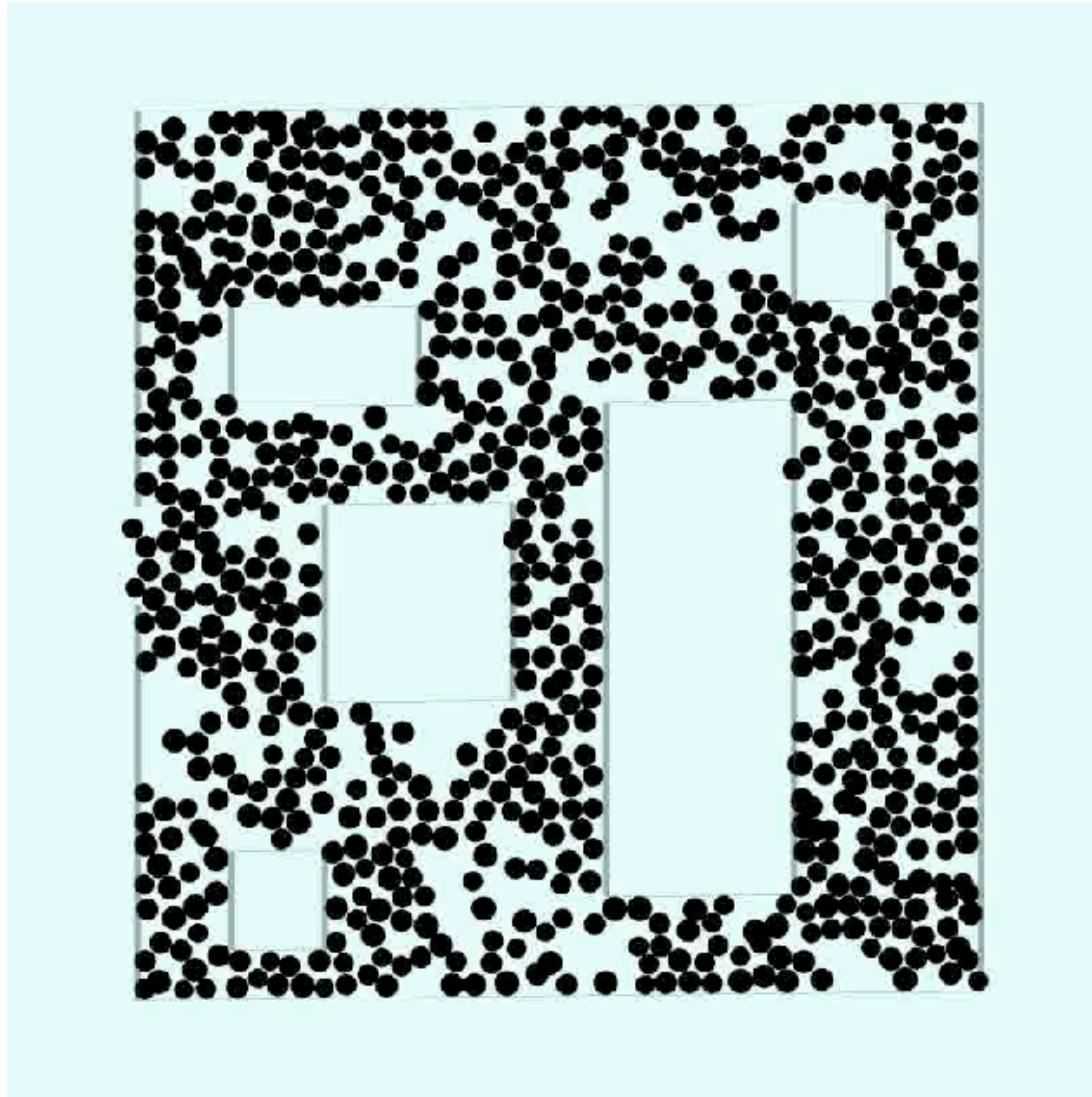
Microscopique



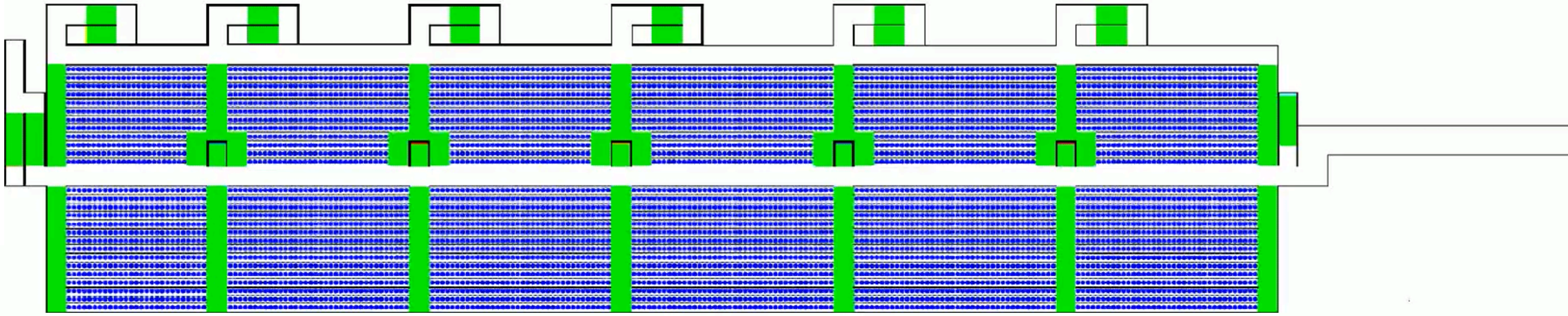
Macroscopique



Micro-macro



Micro-macro



20

0

0 20 40 60 80 100 120 140 160

Fanzone - Olympics 2024, 150m x 50 m, 5600 visitors

E. Pinsard, J.L. Paillat (Laboratoire Central de la Préfecture de Police de Paris)

Prise en compte de la civilité

Insatisfaction individuelle
(distance à la sortie)

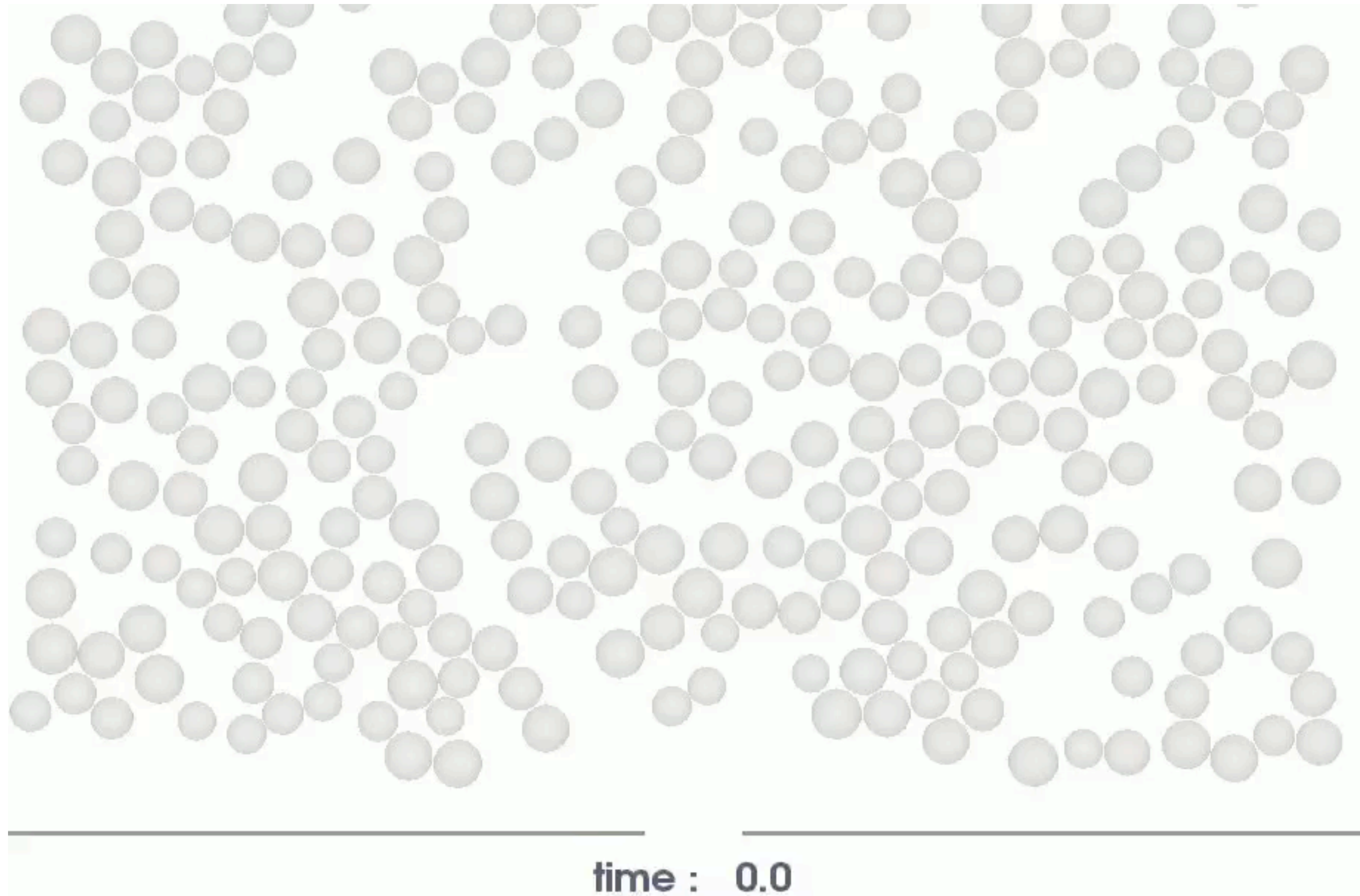
Insatisfaction globale

$$\Psi(q) = \sum_{i=1}^N \beta_i D(q_i) + I_K(q)$$

$$\frac{dq}{dt} \in -\partial\Psi(q)$$

Non chevauchement

$$I_K(q) = \begin{cases} 0 & \text{if } q \in K \\ +\infty & \text{if } q \notin K \end{cases}$$



Prise en compte de la civilité

Insatisfaction individuelle
(distance à la sortie)

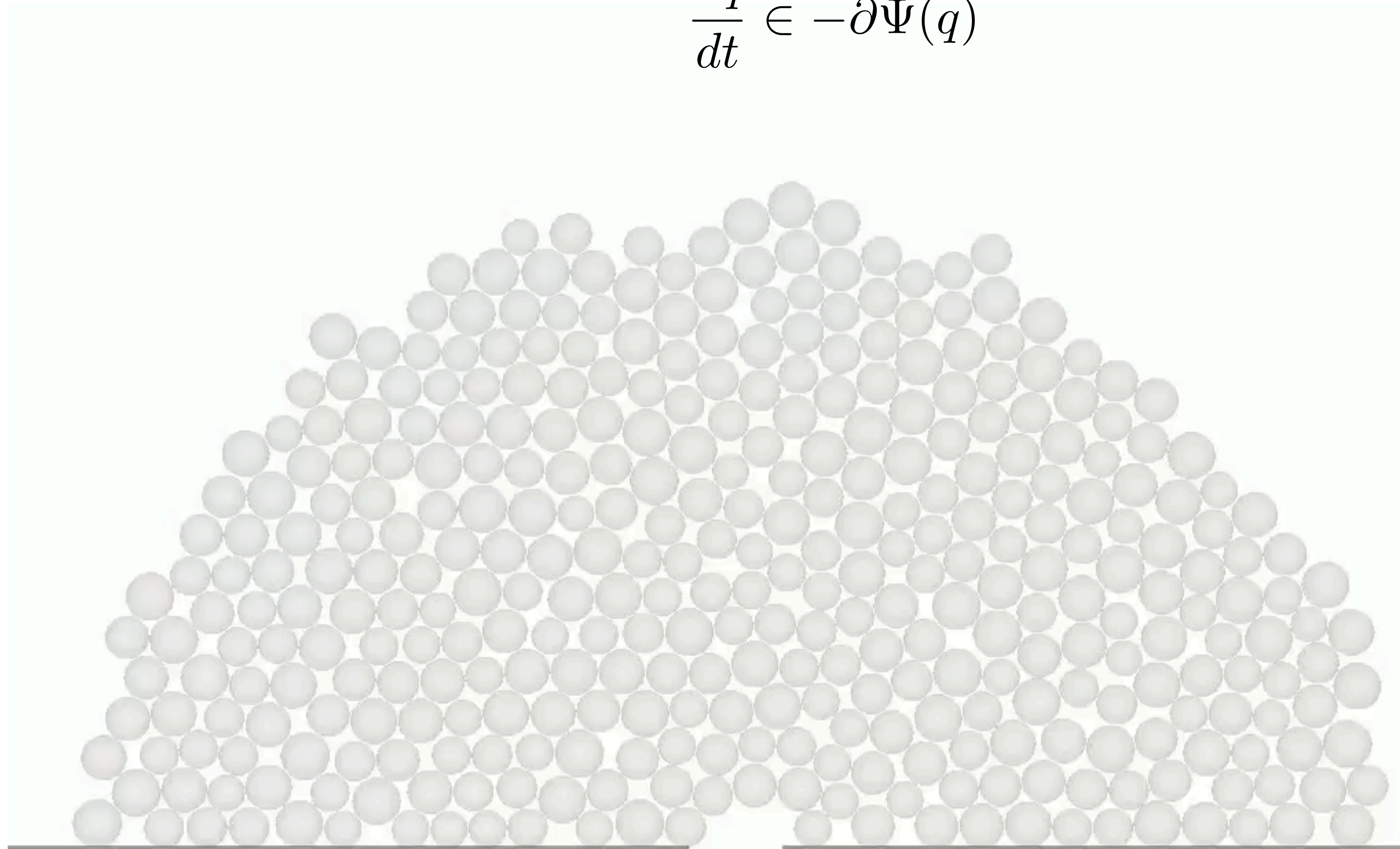
Insatisfaction globale

$$\Psi(q) = \sum_{i=1}^N \beta_i D(q_i) + I_K(q)$$

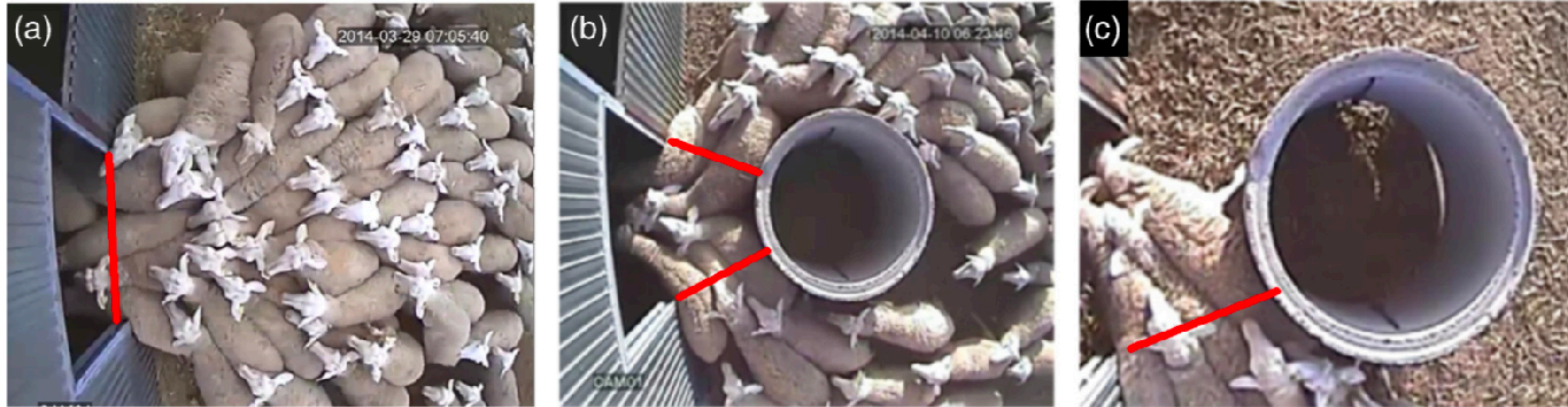
$$\frac{dq}{dt} \in -\partial\Psi(q)$$

Non chevauchement

$$I_K(q) = \begin{cases} 0 & \text{if } q \in K \\ +\infty & \text{if } q \notin K \end{cases}$$



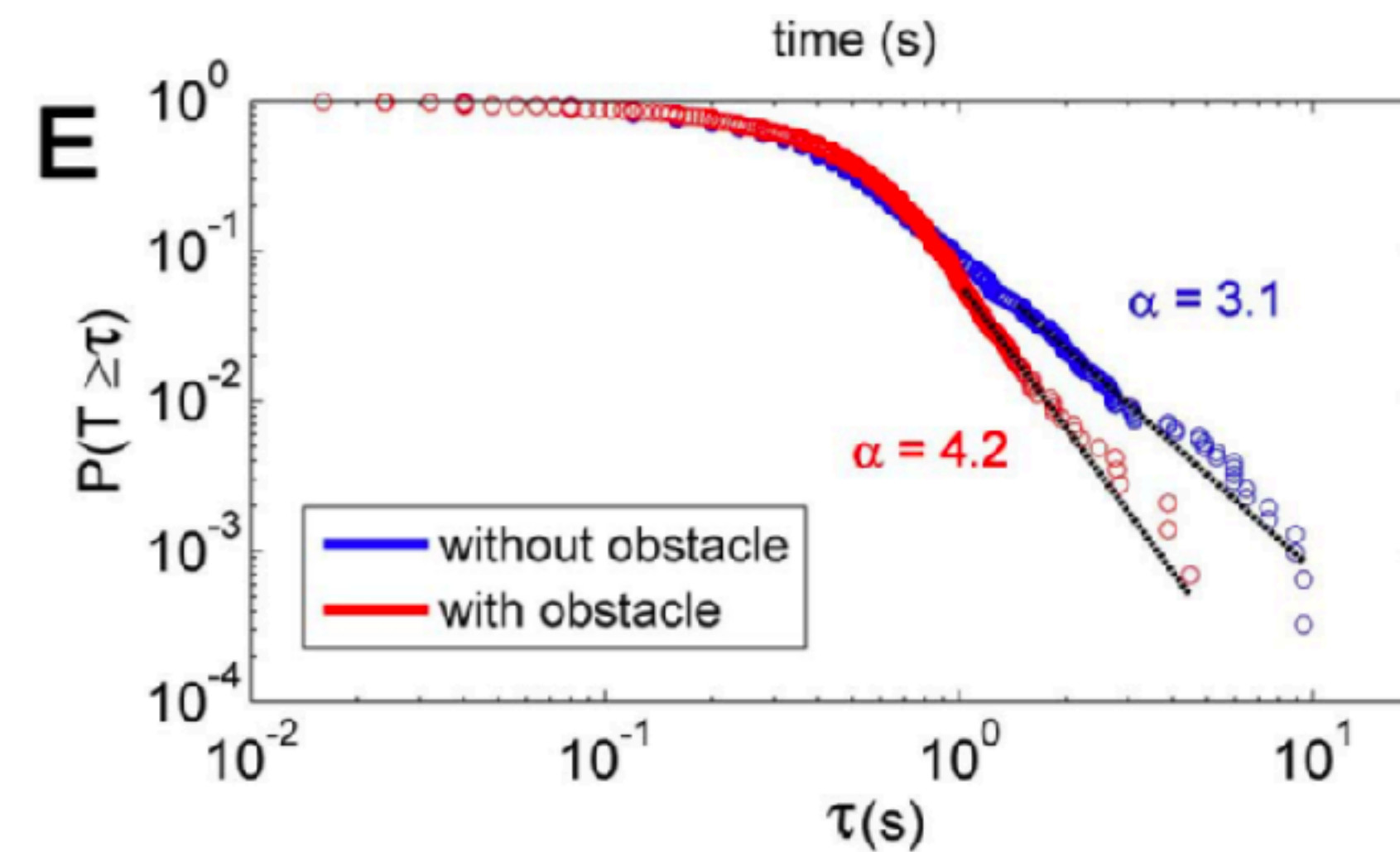
Rôle d'un obstacle



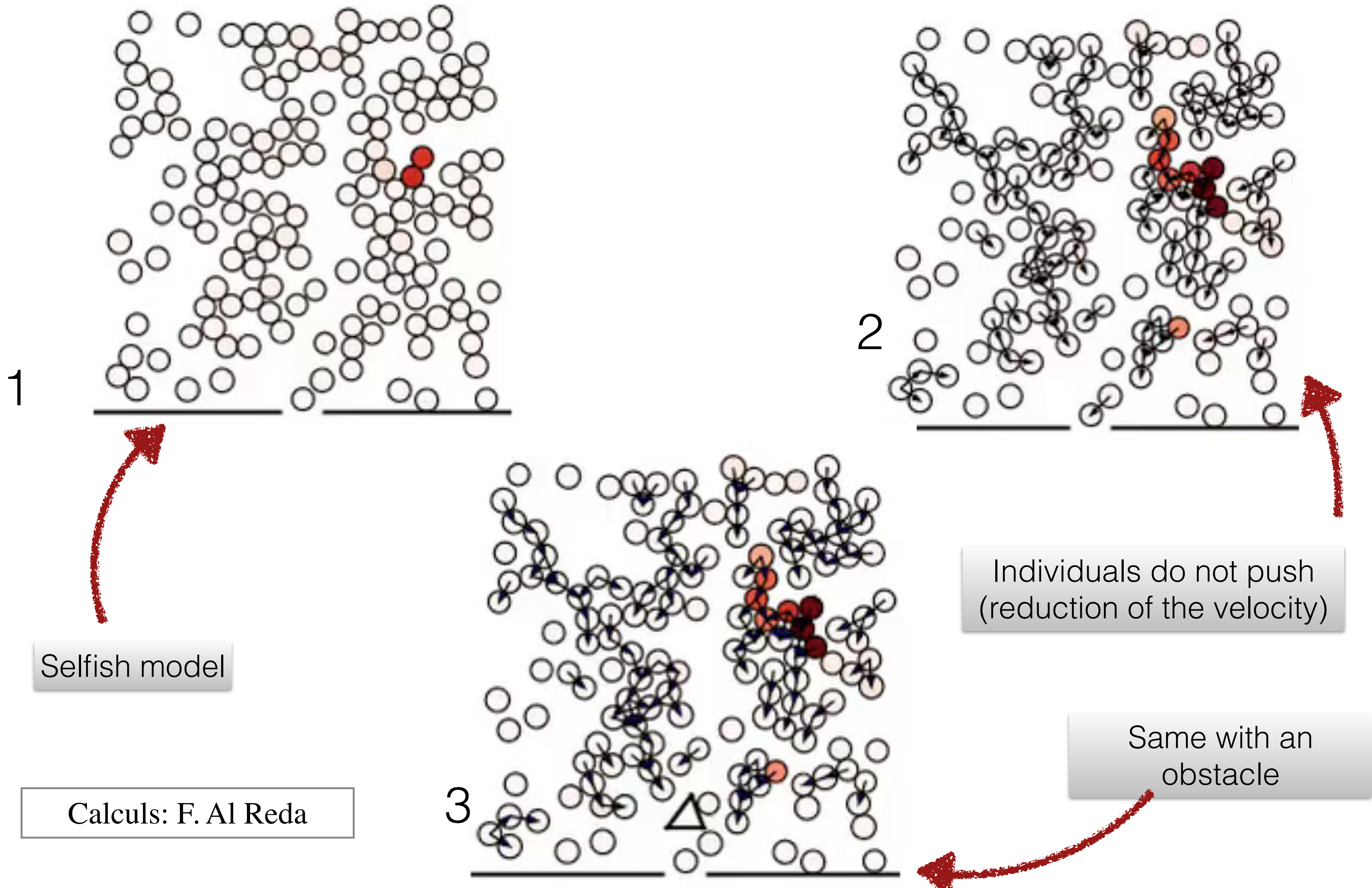
Clogging transition of many-particle systems flowing through bottlenecks

Iker Zuriguel¹, Daniel Ricardo Parisi^{2,3}, Raúl Cruz Hidalgo¹, Celia Lozano¹, Alvaro Janda⁴, Paula Alejandra Gago^{3,5}, Juan Pablo Peralta⁵, Luis Miguel Ferrer⁶, Luis Ariel Pugnaloní^{3,5}, Eric Clément⁷, Diego Maza¹, Ignacio Pagonabarraga⁸ & Angel Garcimartín¹

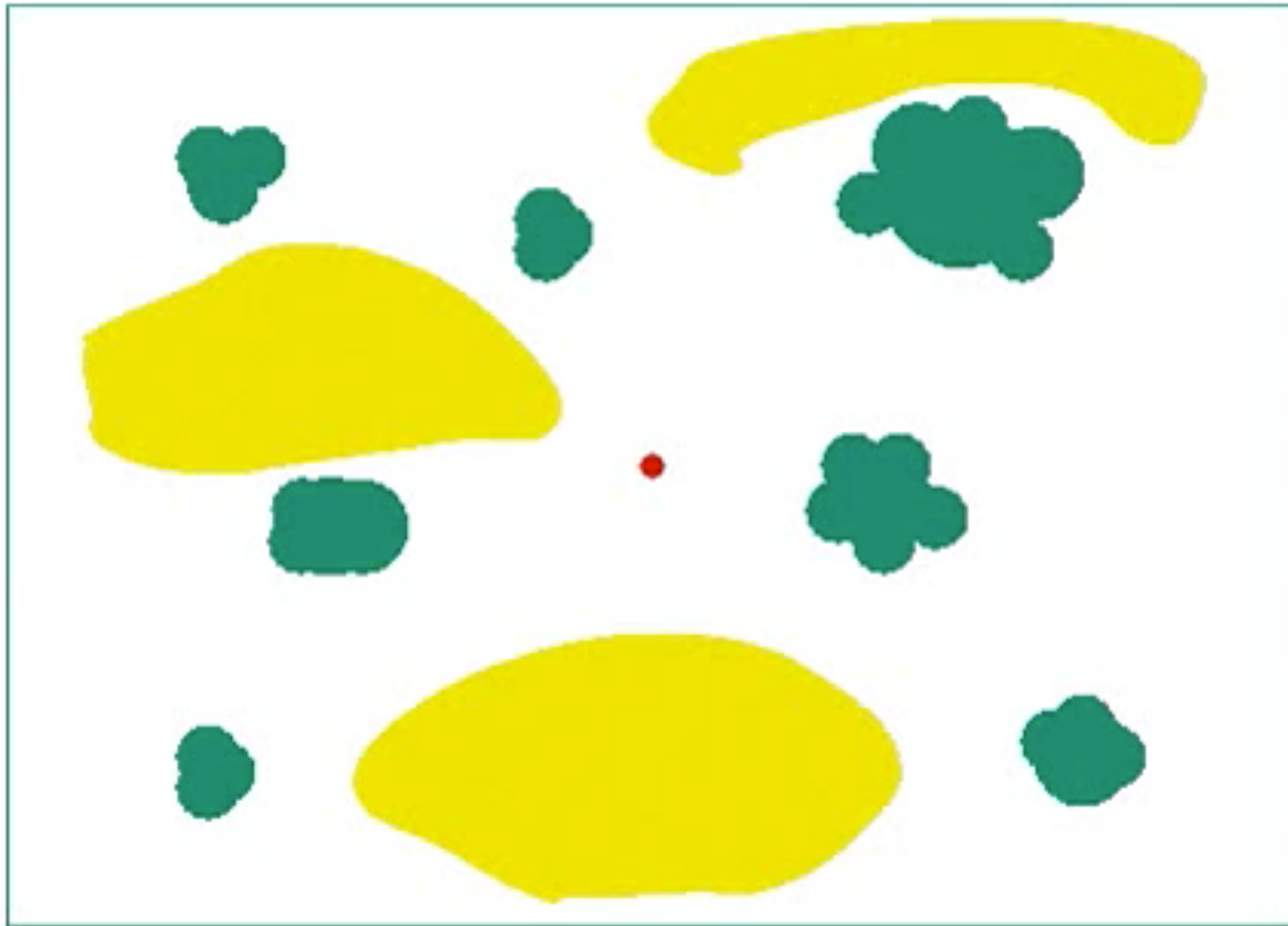
Scientific Reports **4**, Article number: 7324 (2014)



Inhibition based model (with F. Al Reda)



Essaims (Aude Roudneff-Chupin)



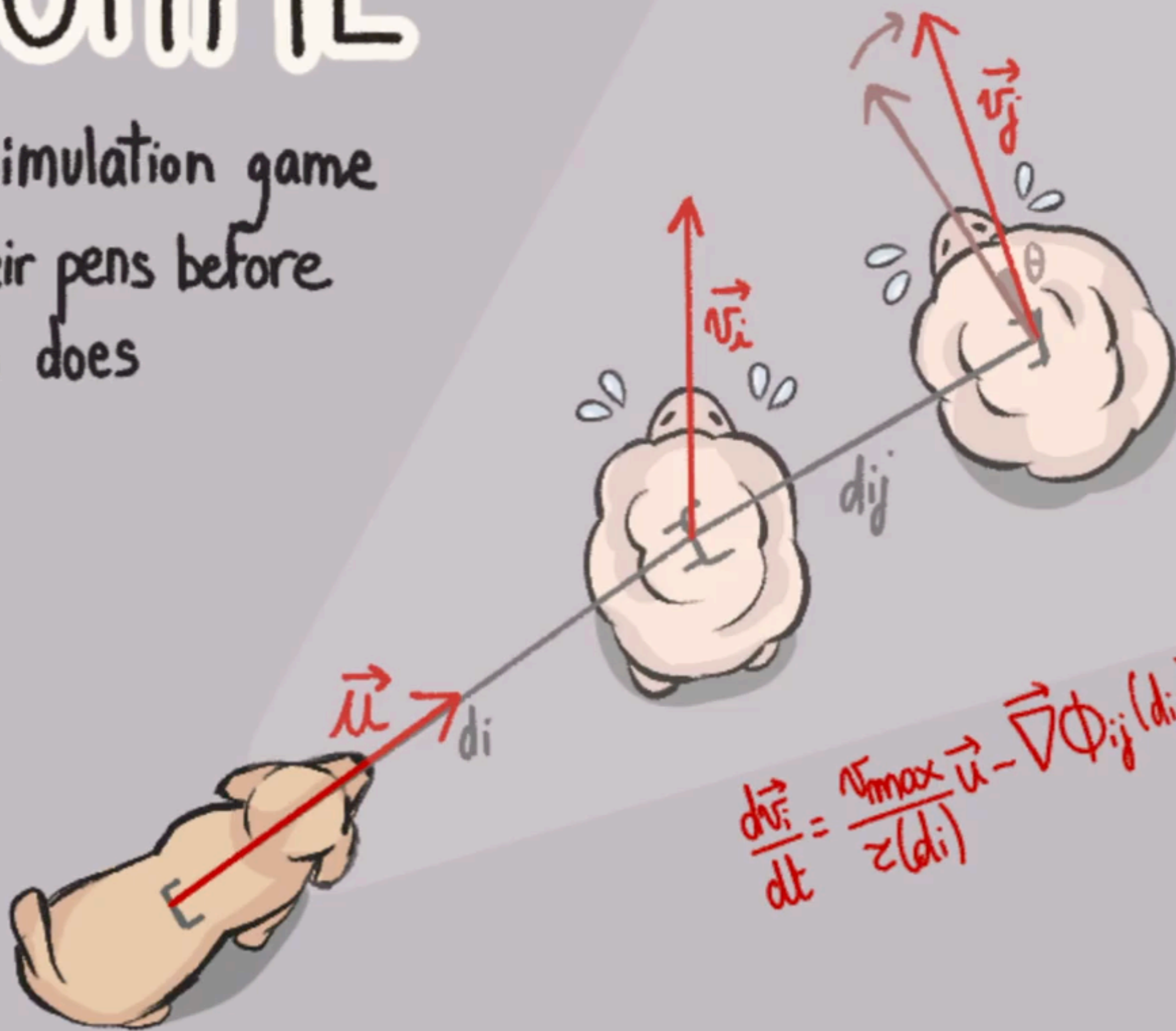
HERDING GAME

- > a crowd movement simulation game
- > lead your sheeps to their pens before the other team does

> NUMBER OF SHEEPS

START

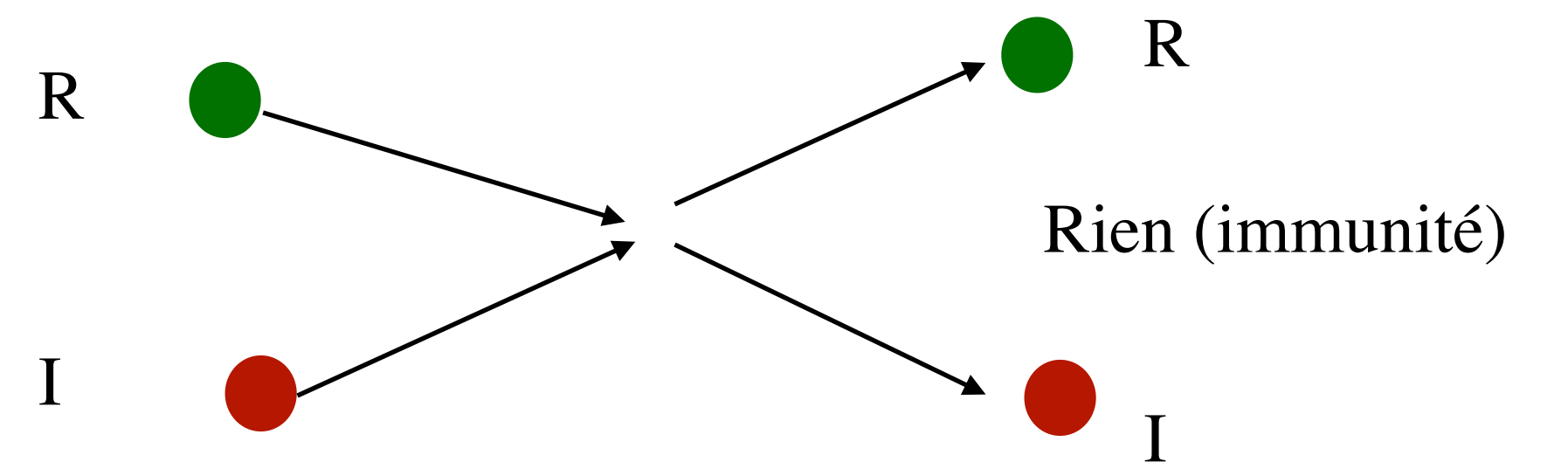
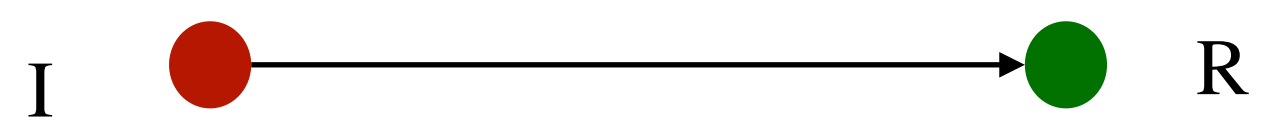
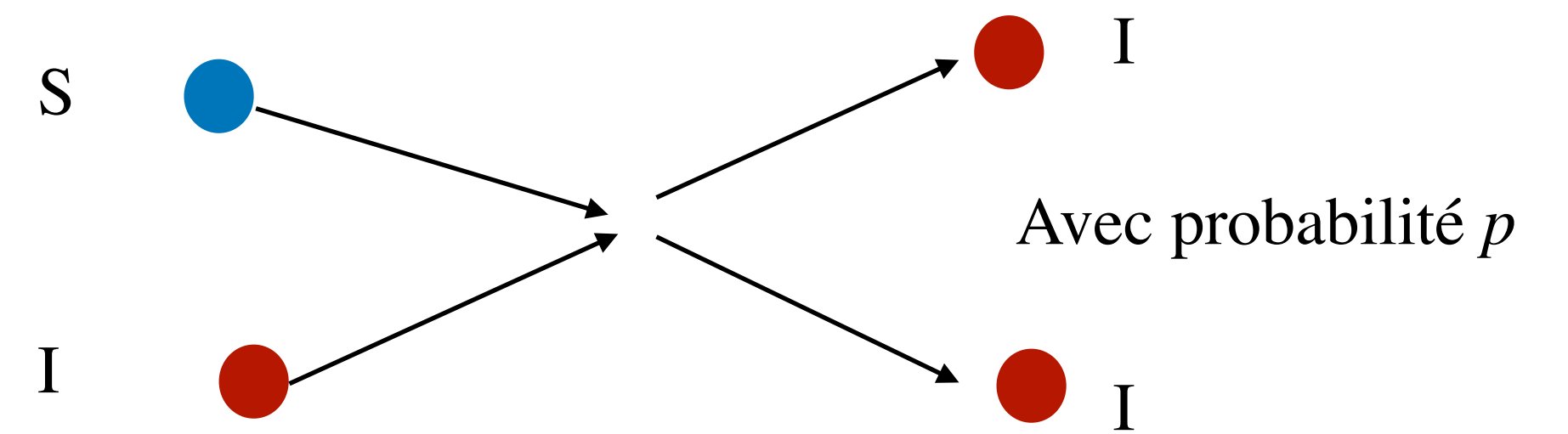
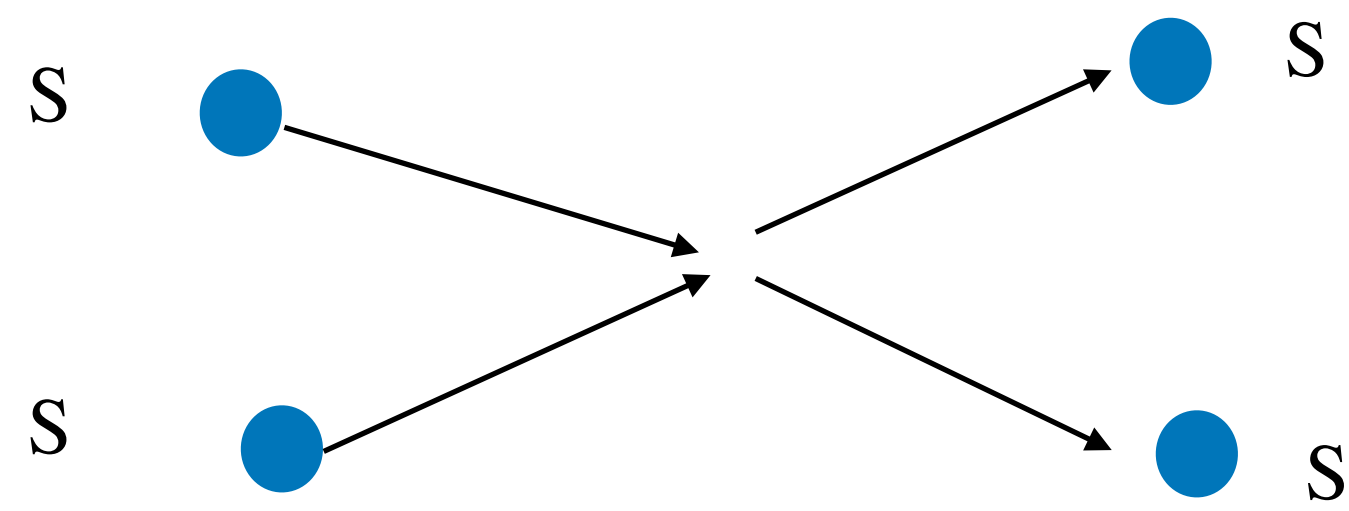
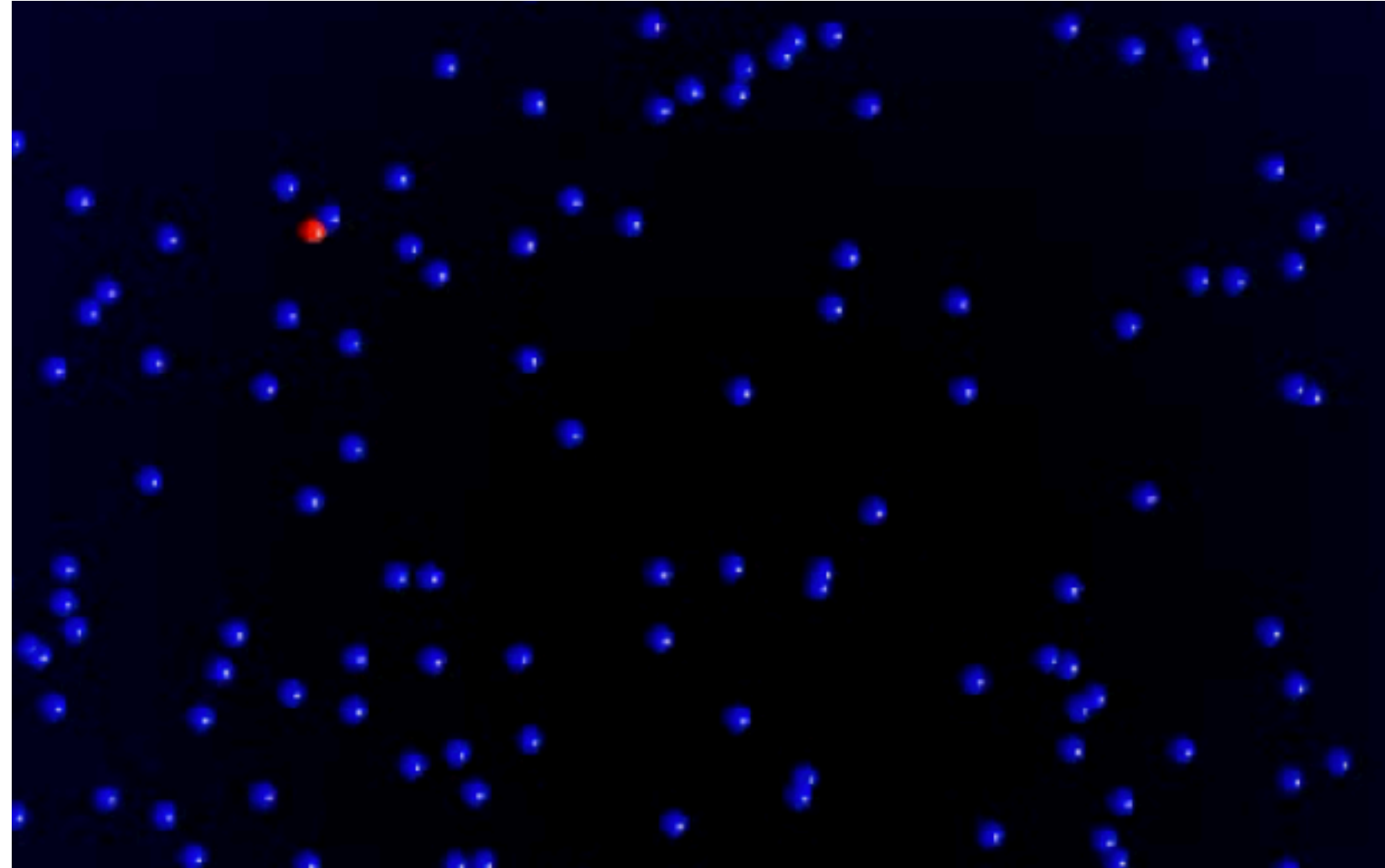
QUIT



$$\frac{d\vec{v}_i}{dt} = \frac{v_{max}}{z(d_i)} \vec{u} - \nabla \Phi_{ij}(d_{ij})$$

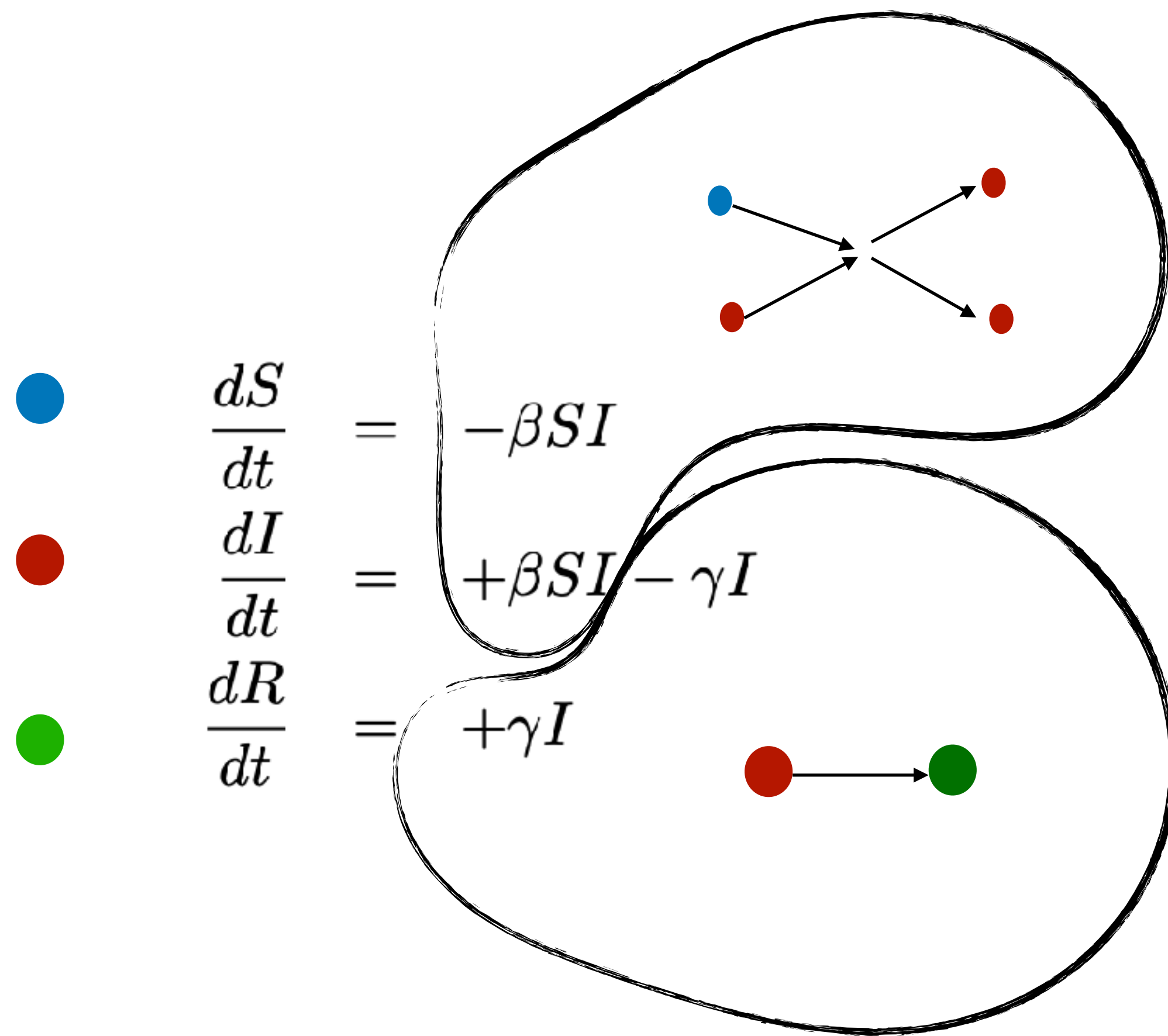
Propagation d'une épidémie dans une population

Modèle SIR particulaire

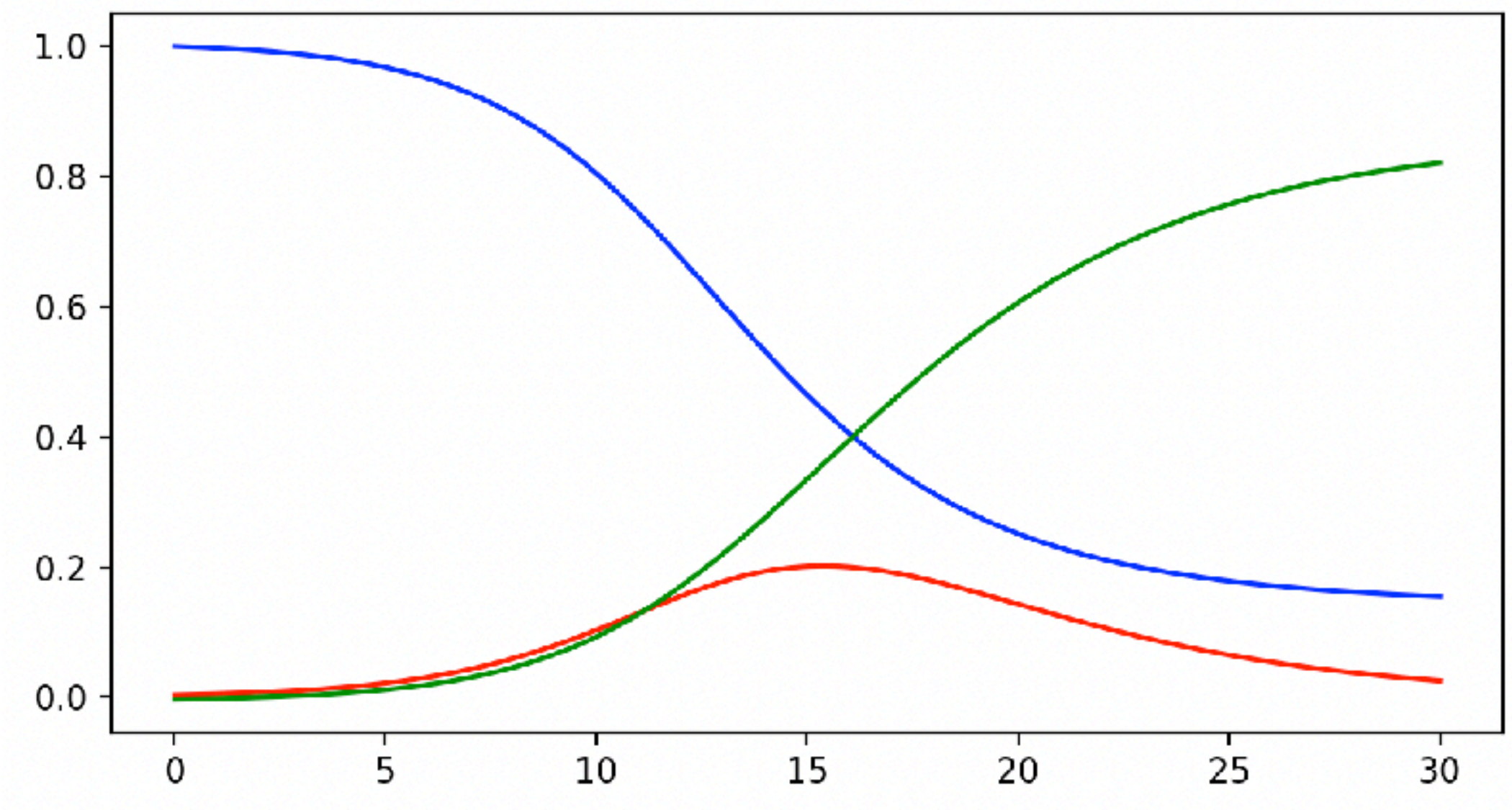
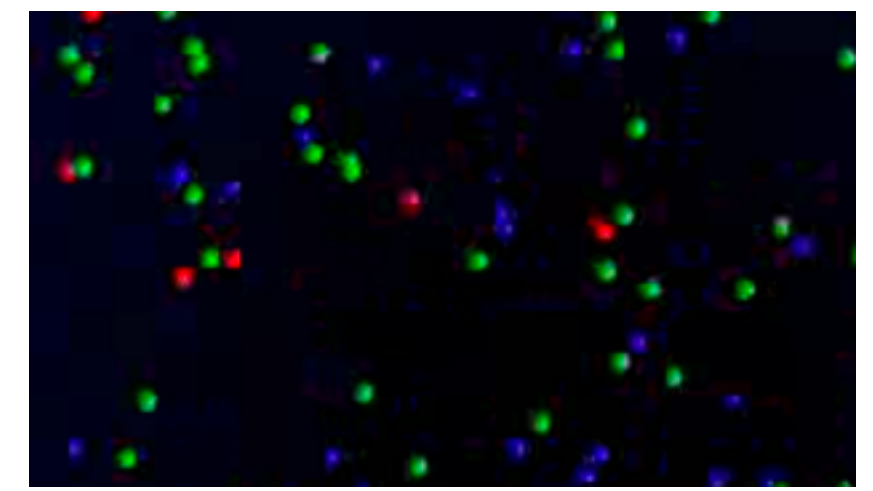
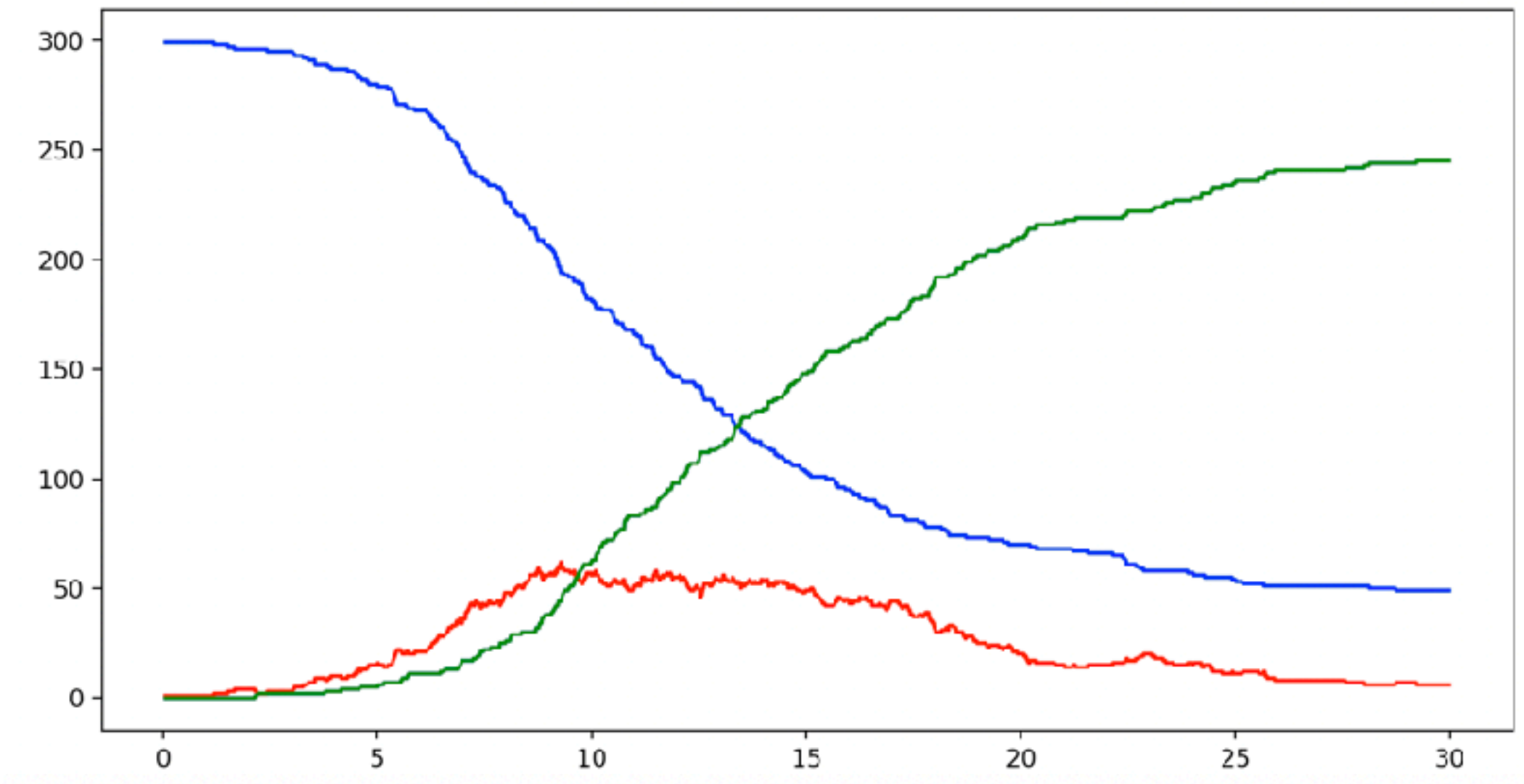


Après un temps D (durée d'infection)

Modèle SIR EDO



Comparison



$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = -\beta SI \\ \frac{dI}{dt} = +\beta SI - \gamma I \\ \frac{dR}{dt} = +\gamma I \end{cases}$$



SIR sur réseau

Pour chaque individu x

$I_x \in [0, 1]$: probabilité que x soit infecté

$$\frac{dS_x}{dt} = -p S_x \sum_{y \sim x} K_{xy} I_y$$

$$\frac{dI_x}{dt} = p S_x \sum_{y \sim x} K_{xy} I_y - \gamma I_x$$

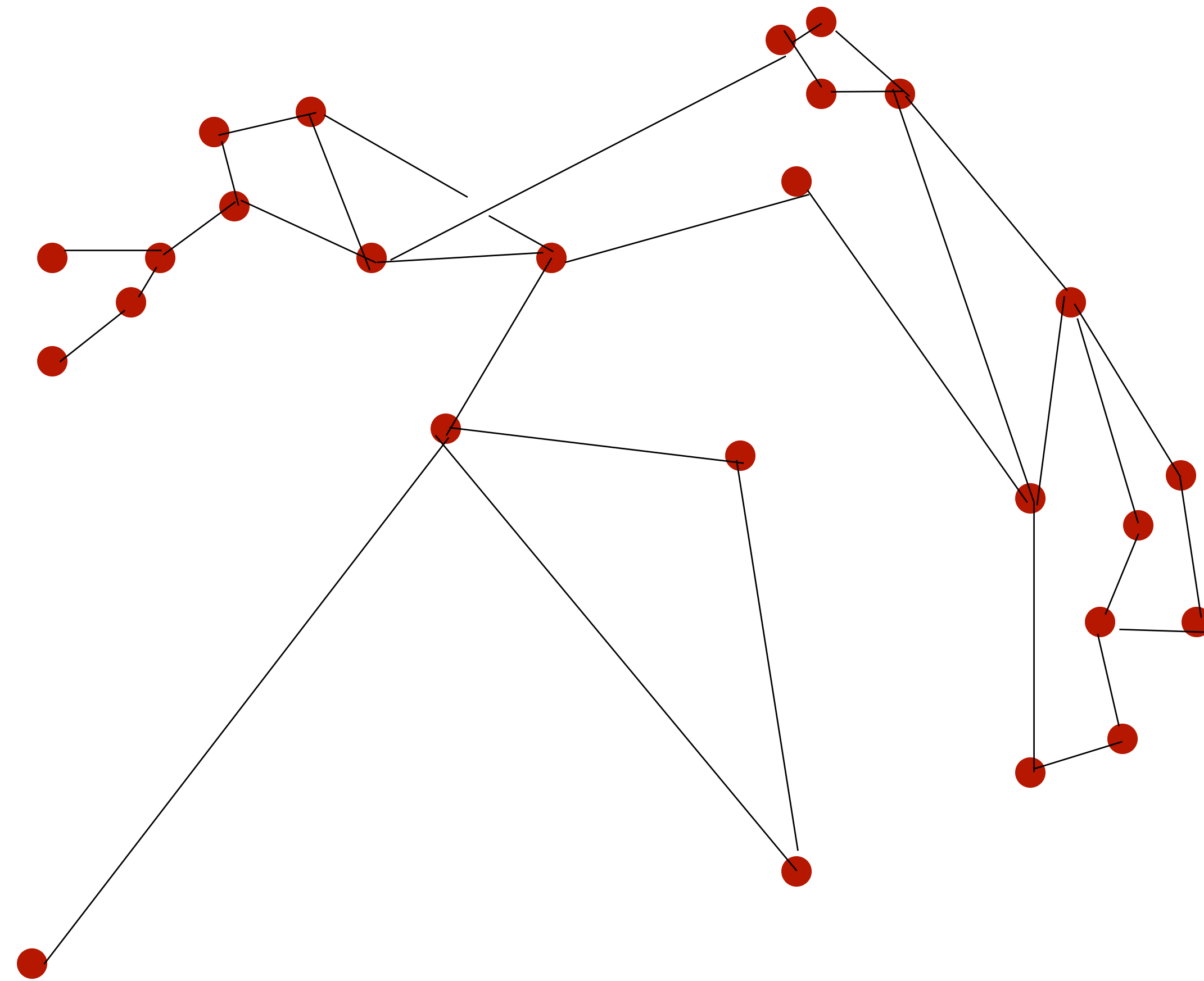
$$\frac{dR_x}{dt} = \gamma I_x.$$

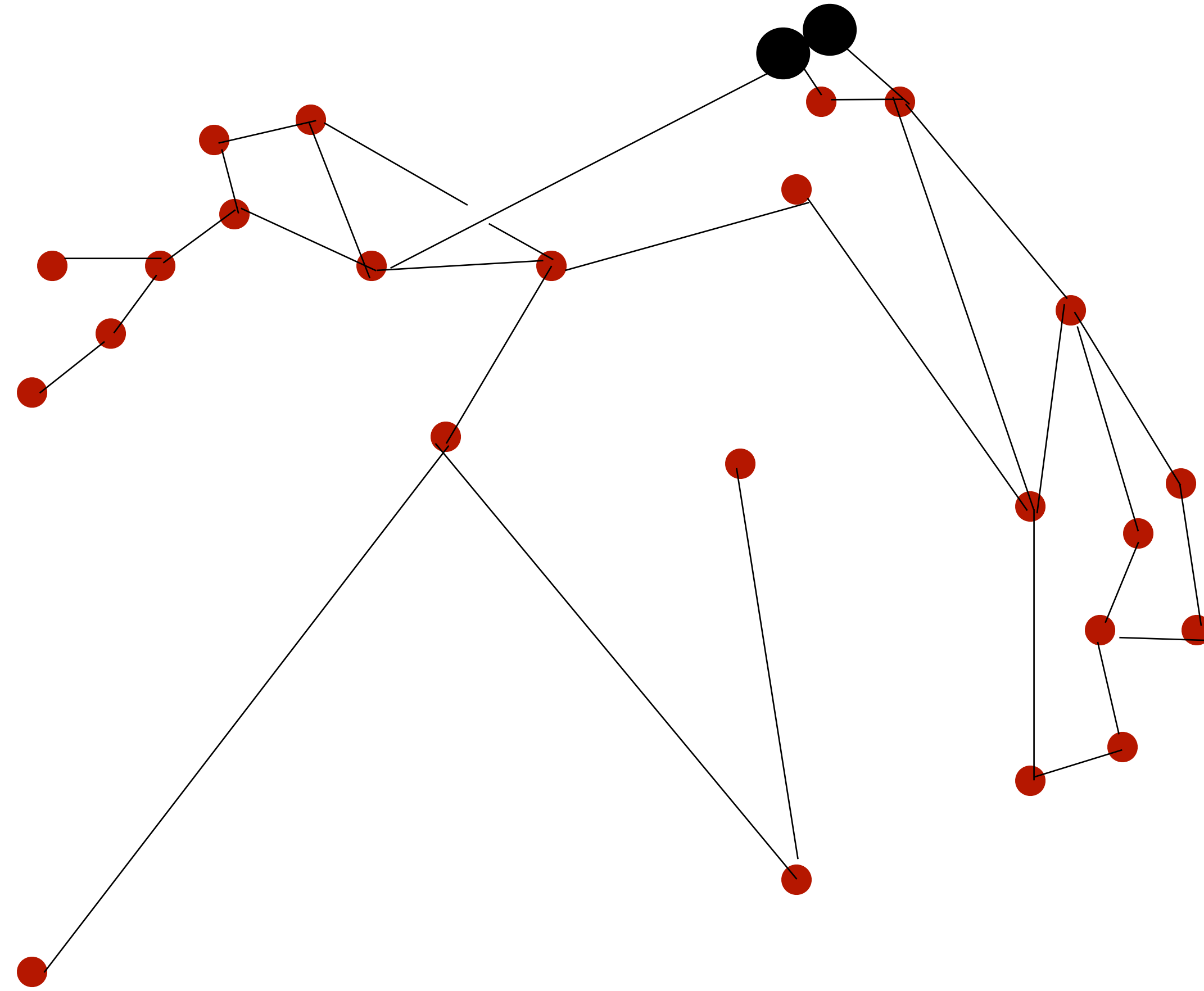
$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dS}{dt} = -\beta SI \\ \frac{dI}{dt} = +\beta SI - \gamma I \\ \frac{dR}{dt} = +\gamma I \end{array} \right.$$

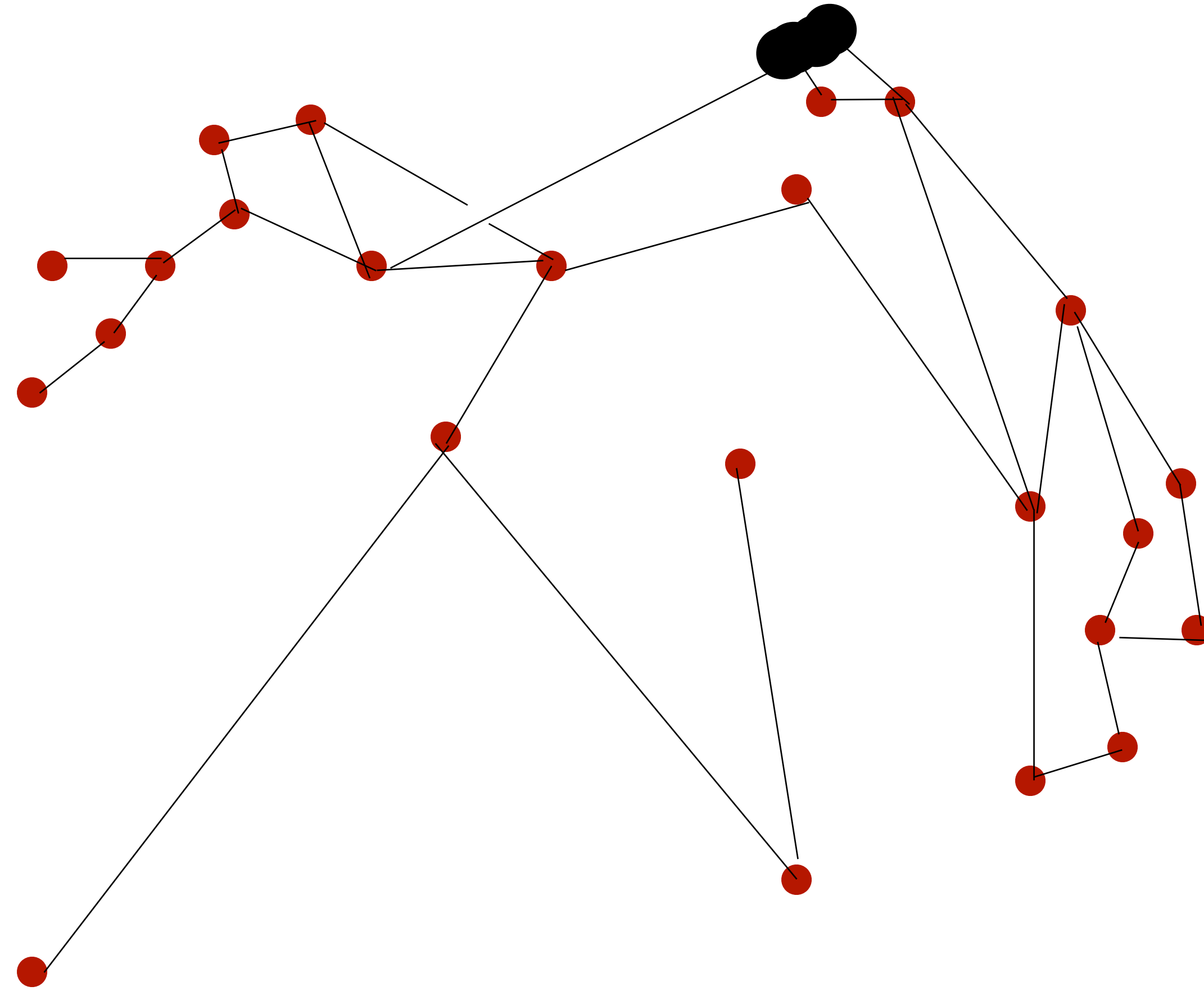
Epidémiologie littéraire

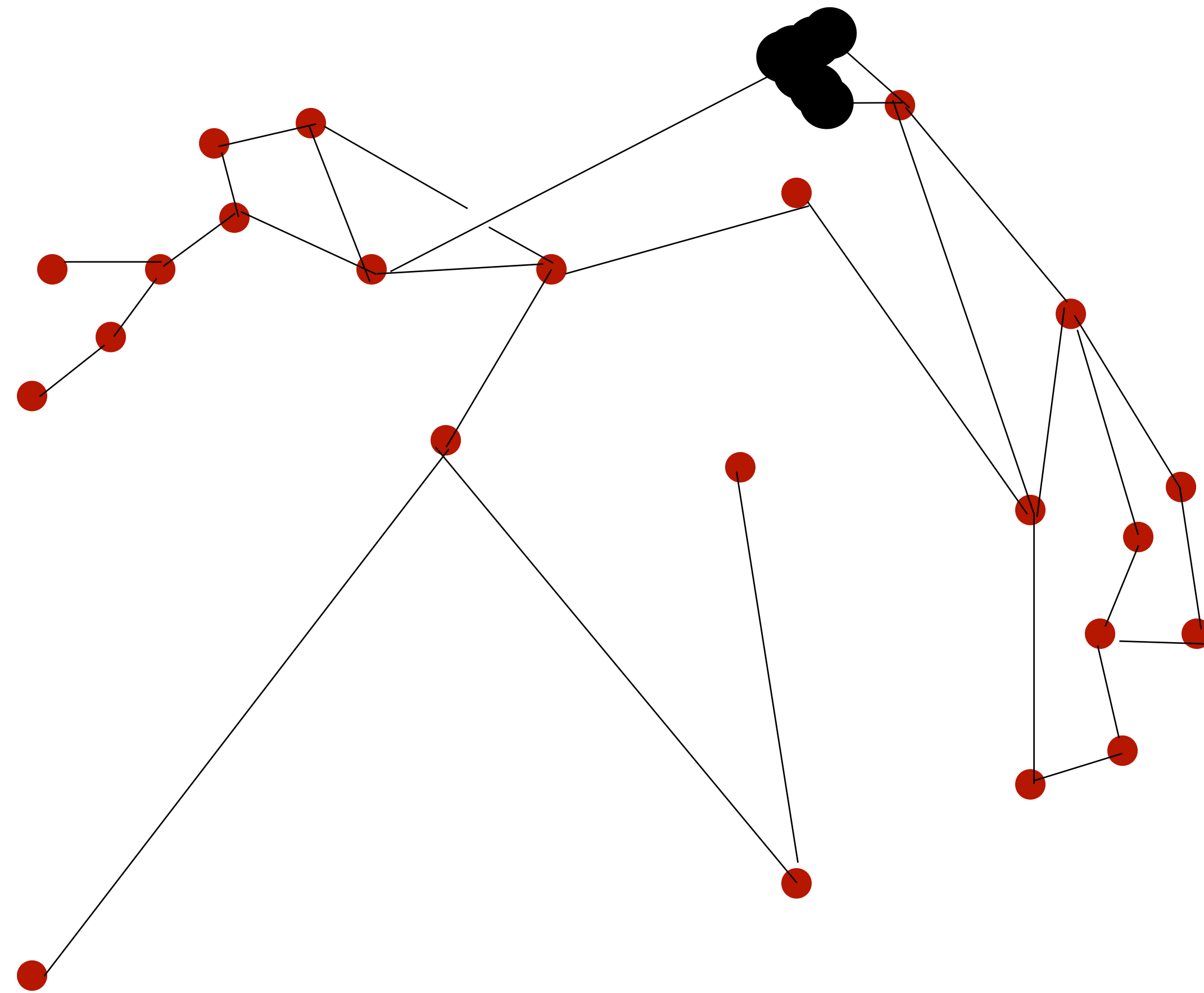
Personnages des Misérables

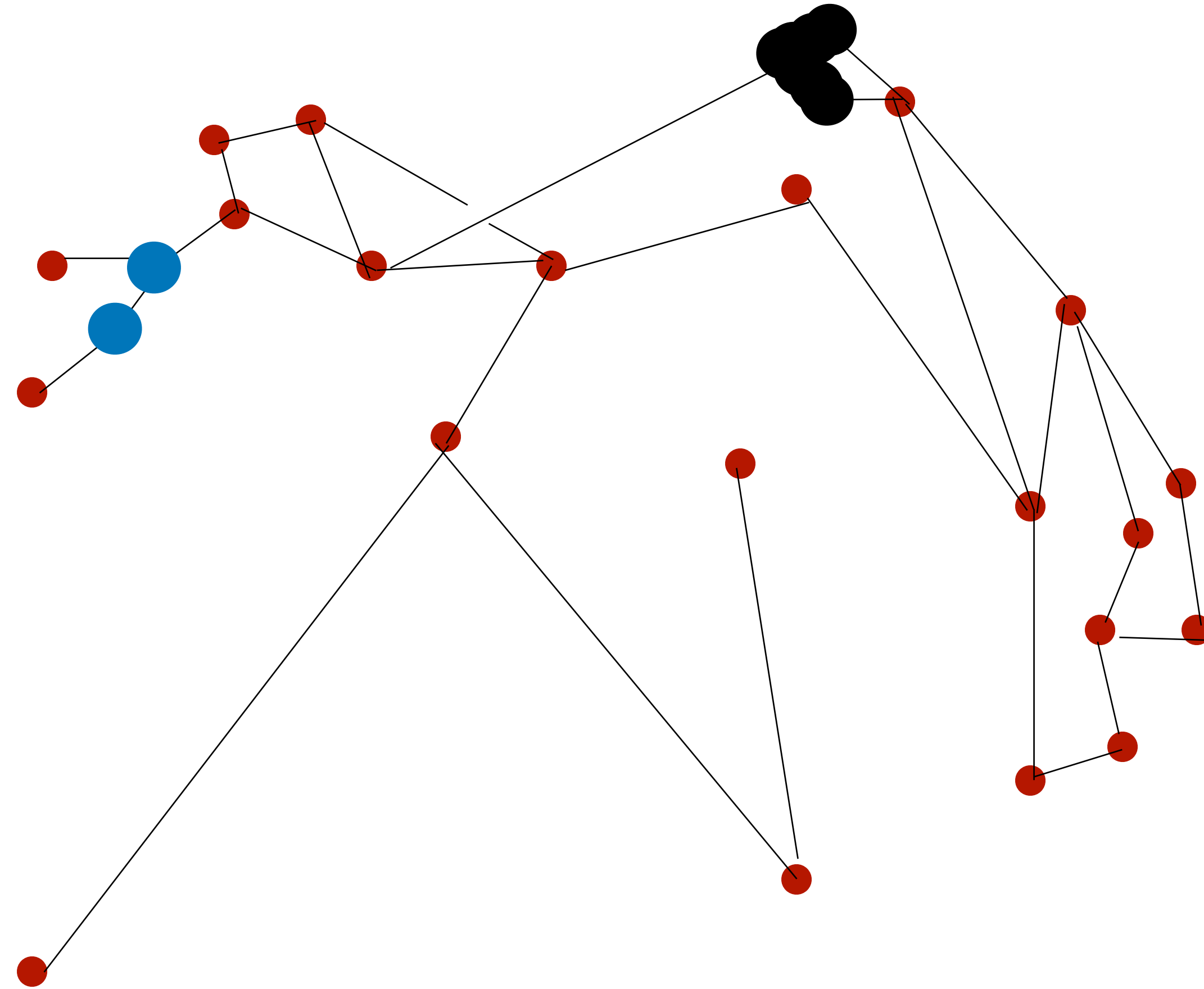




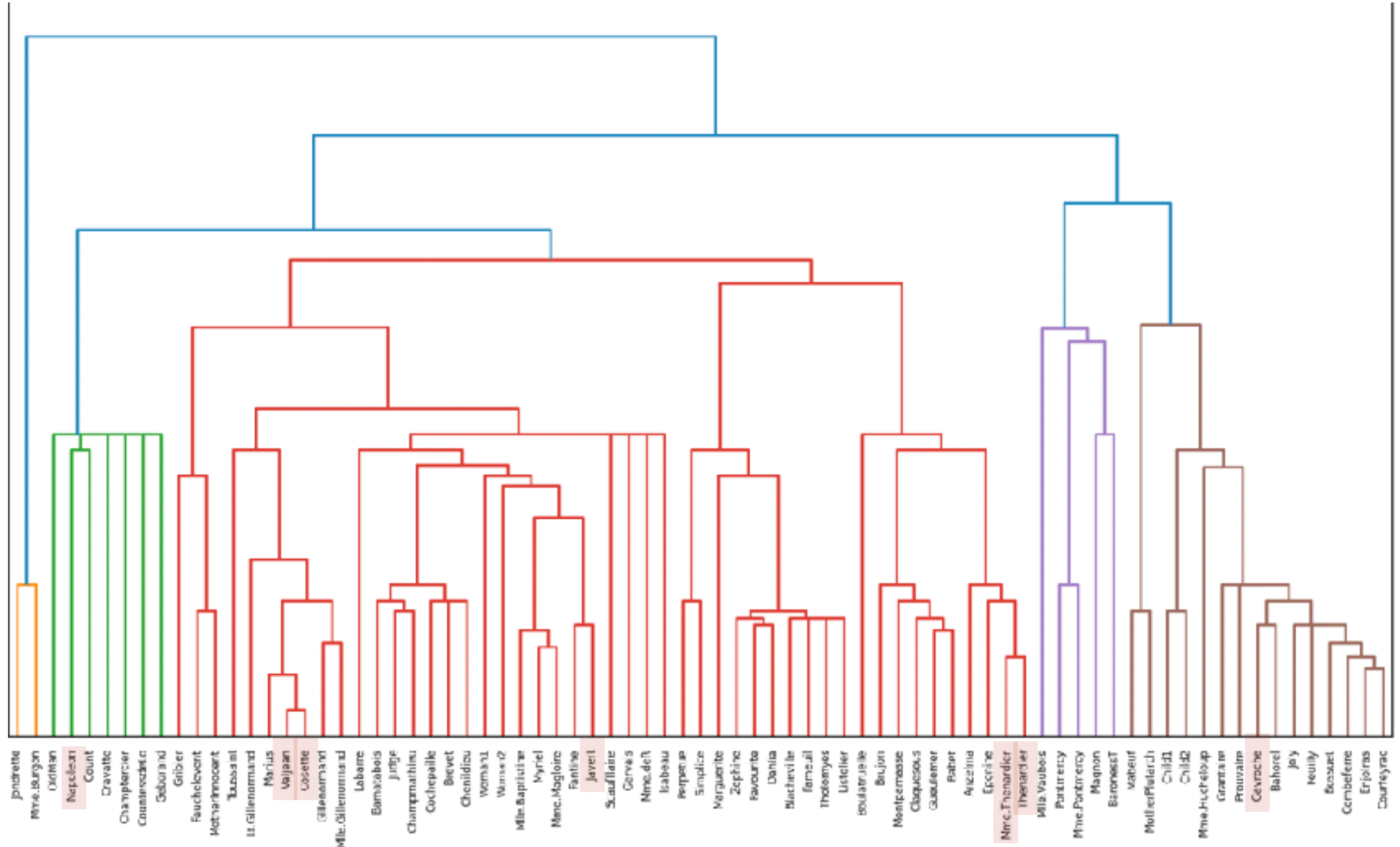
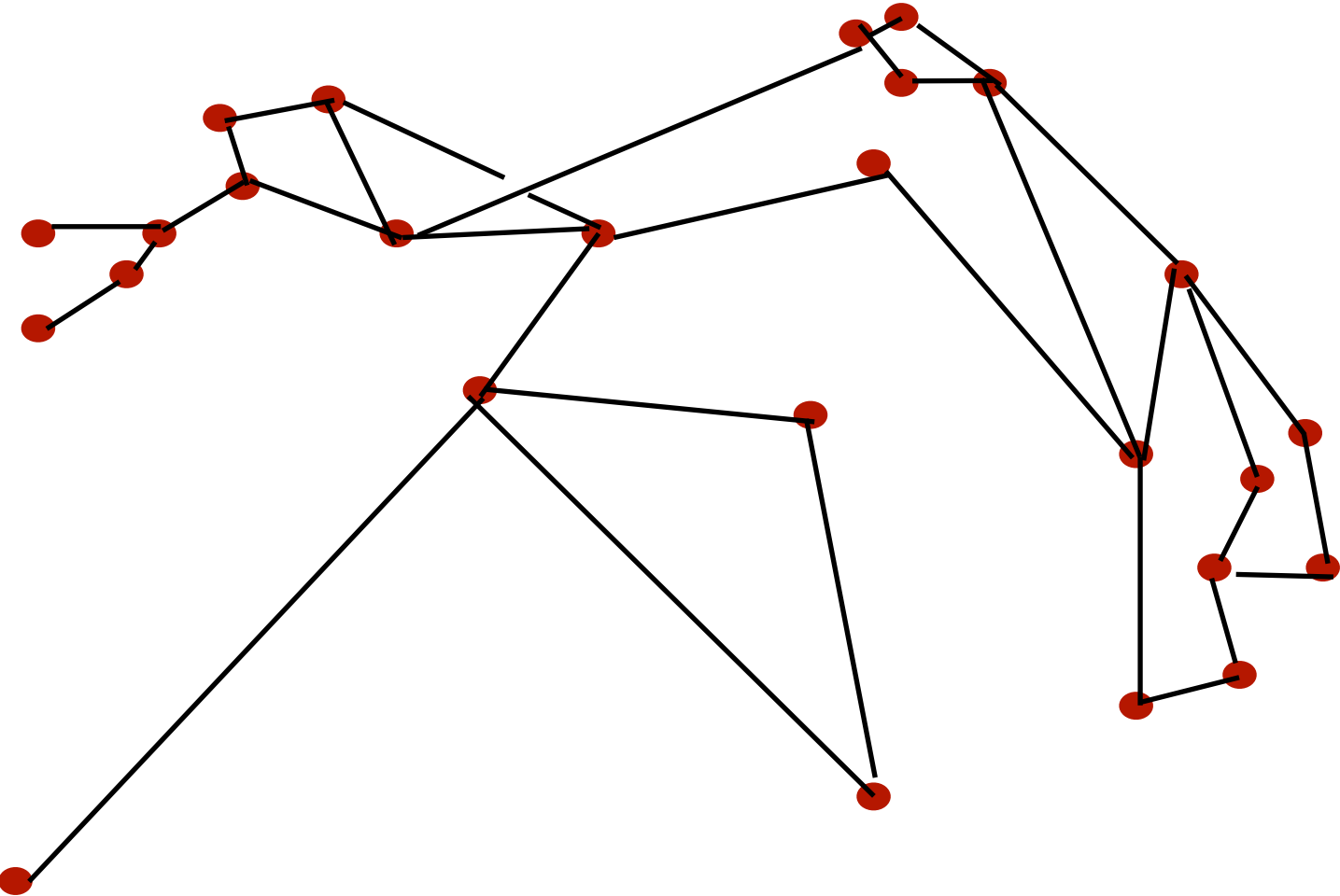




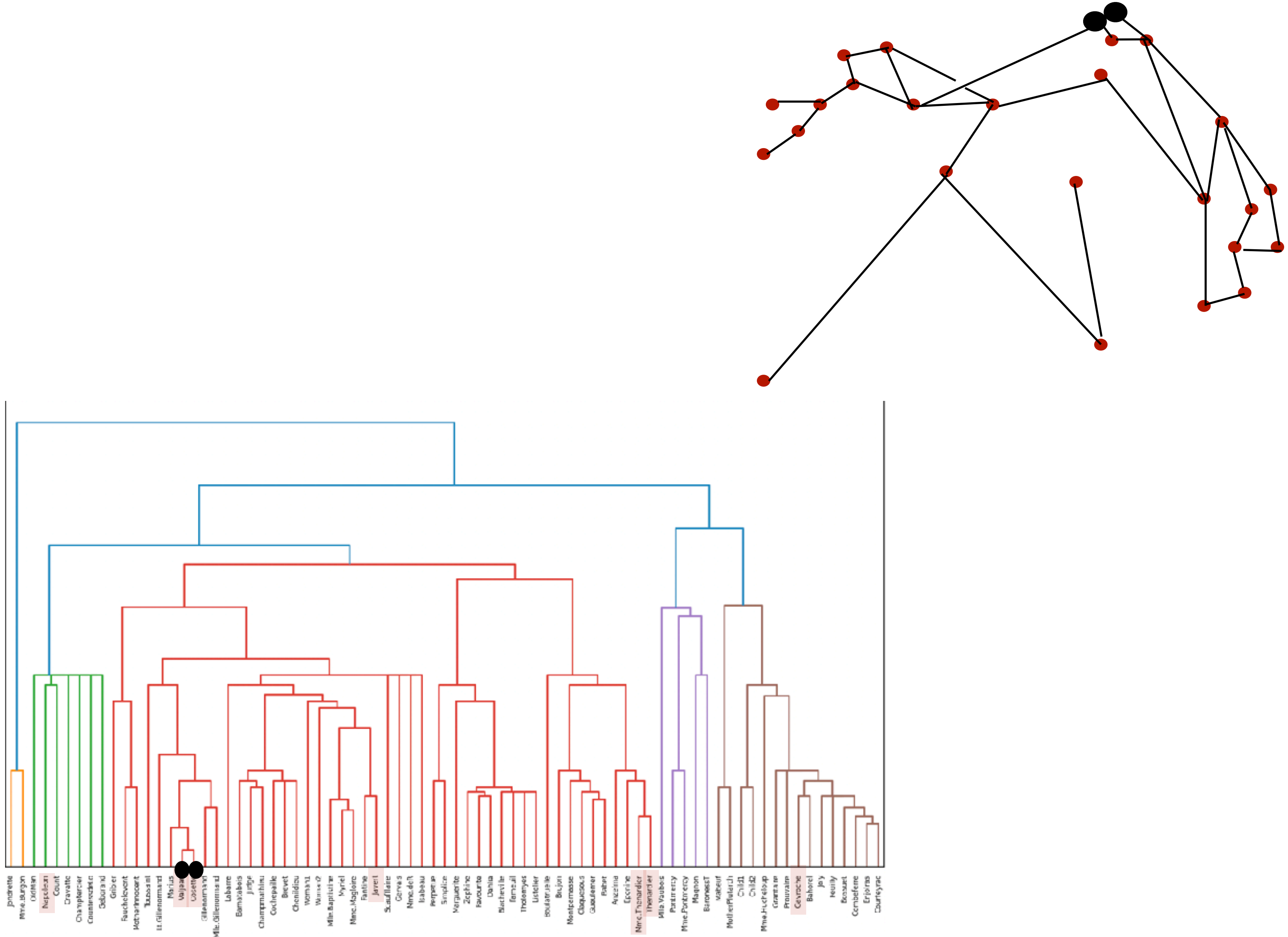




Représentation d'un espace métrique discret : le dendrogramme



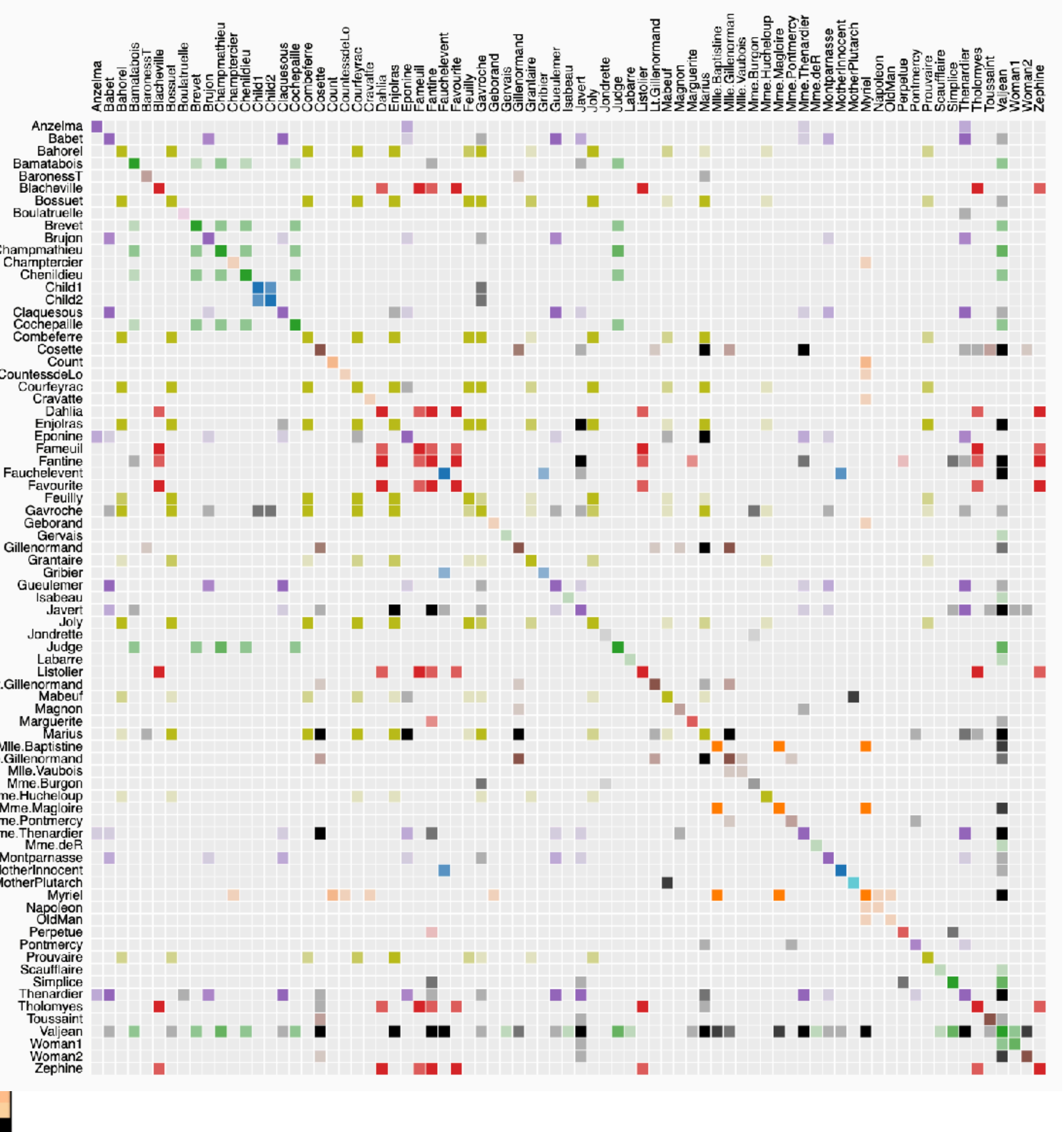
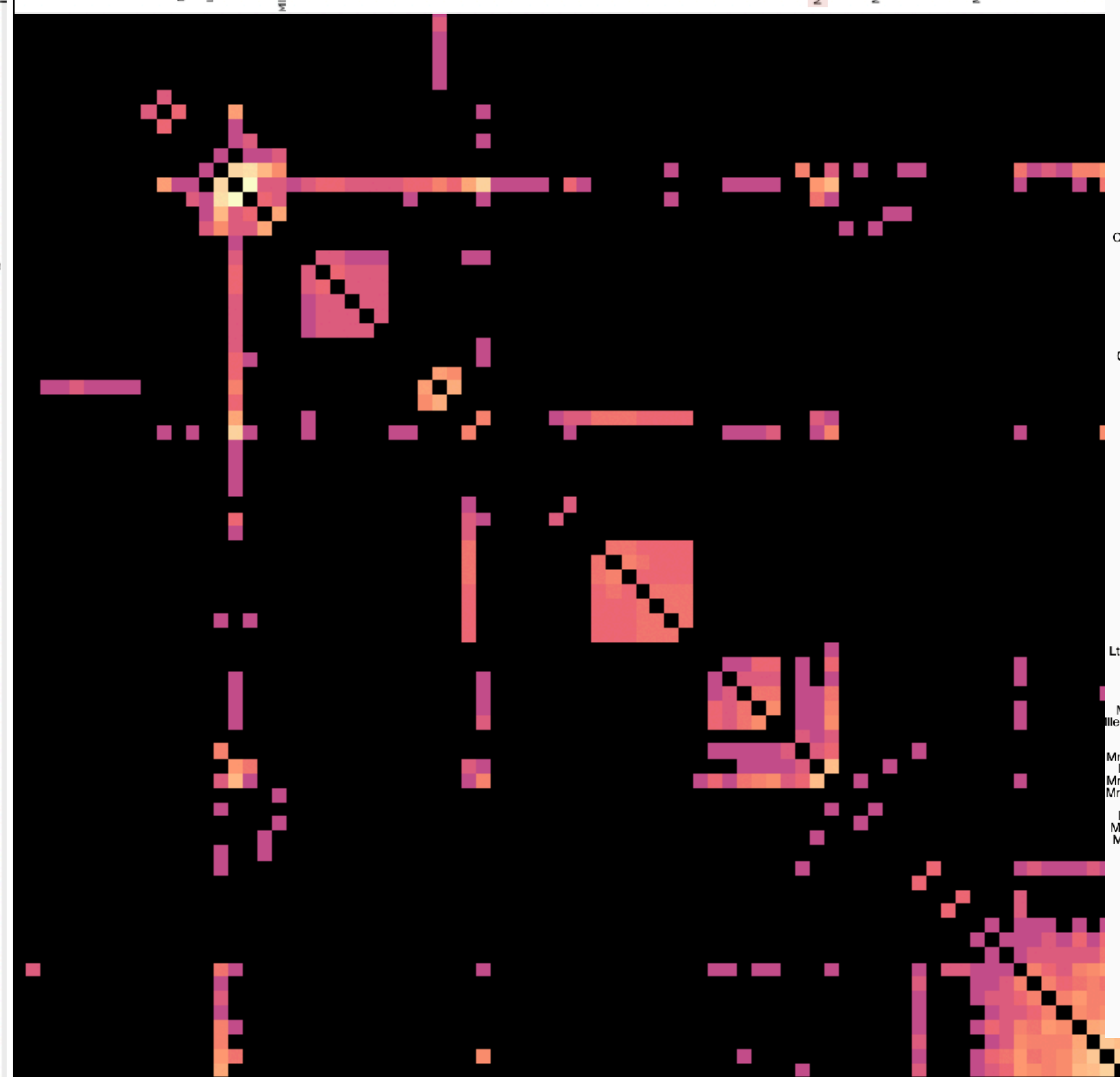
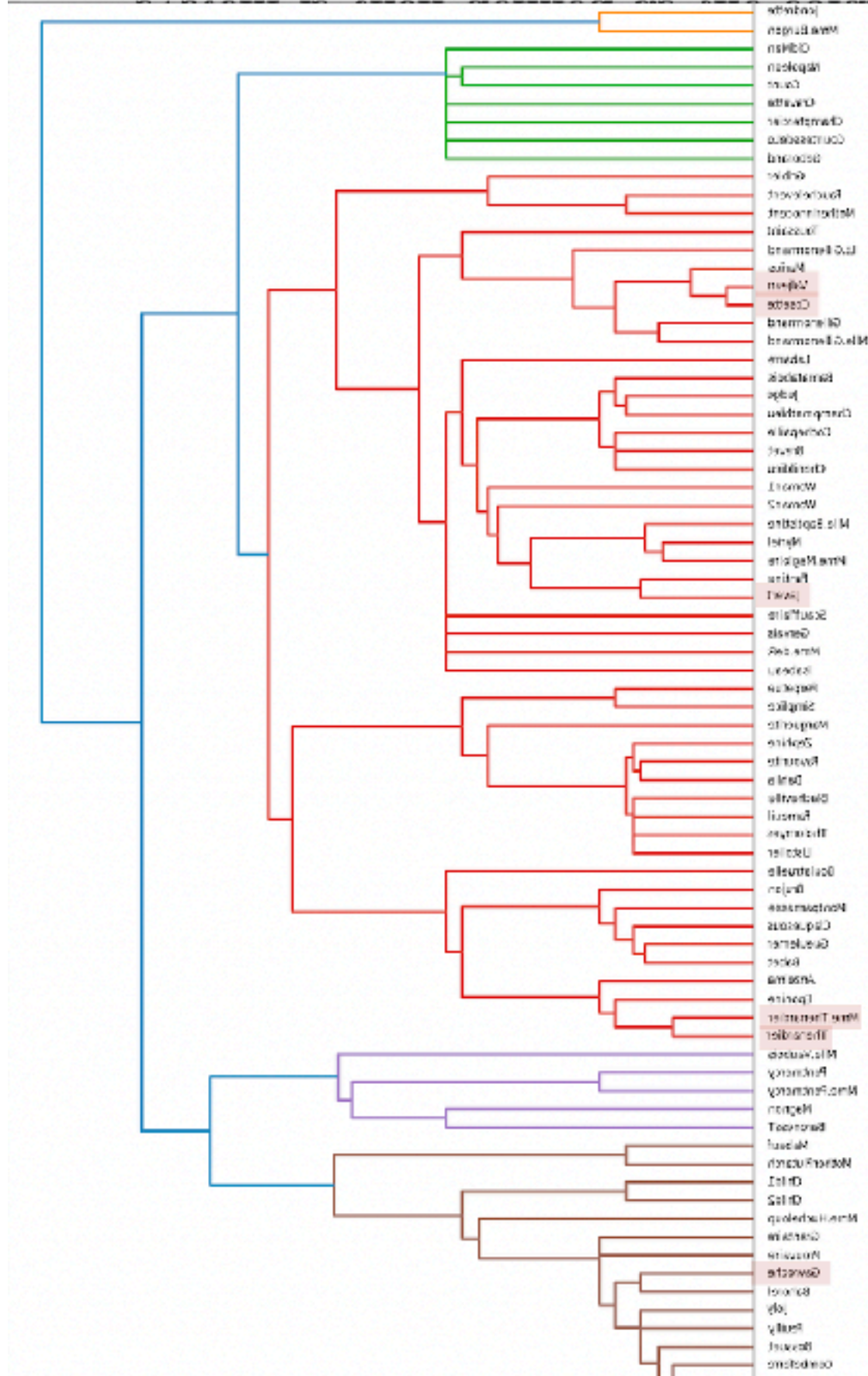
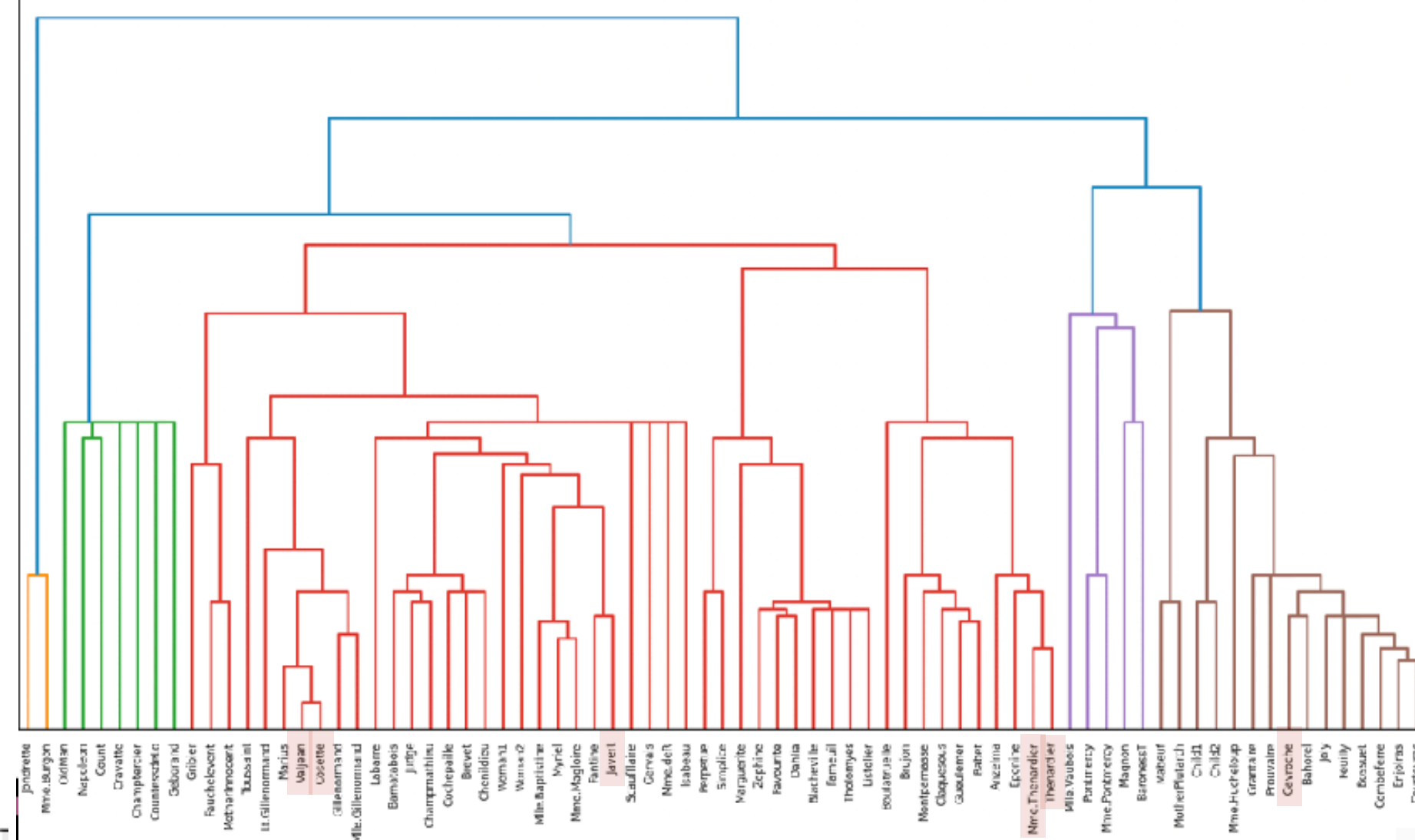
Représentation d'un espace métrique discret : le dendrogramme

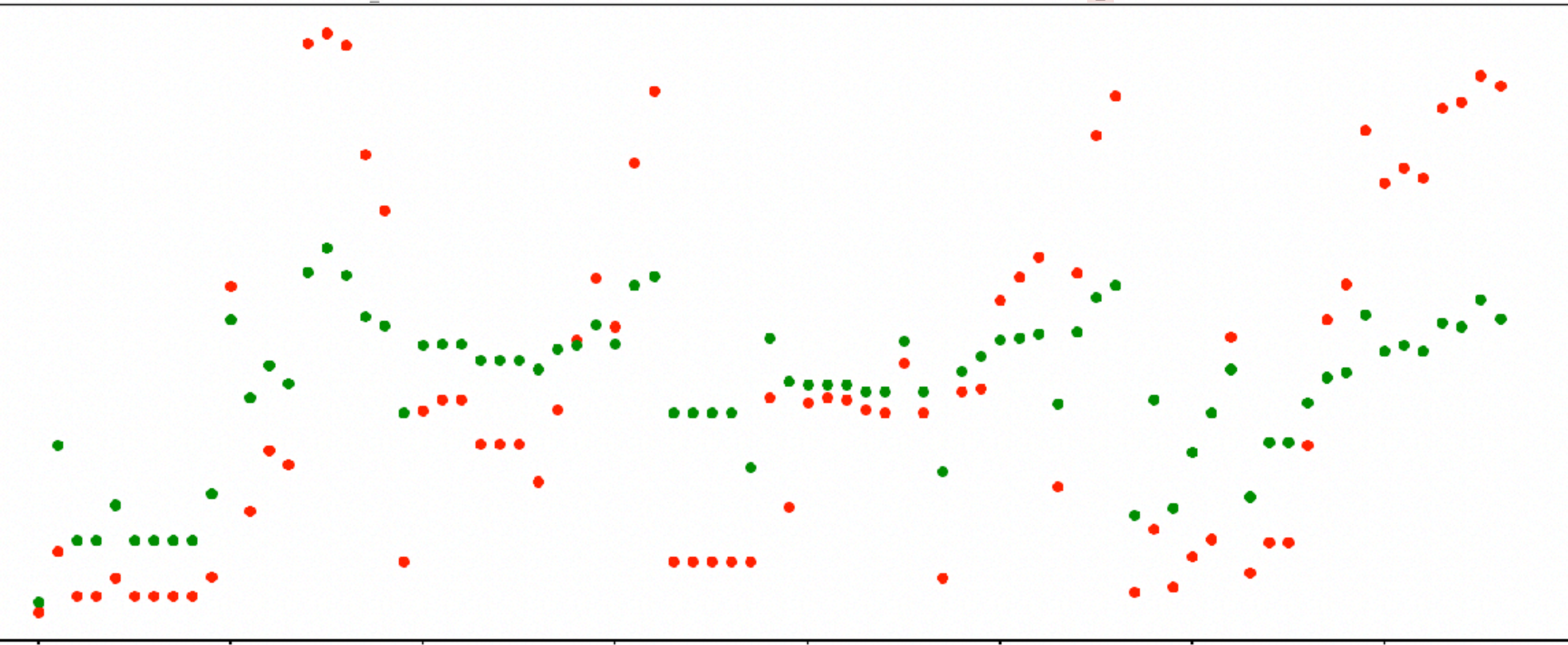
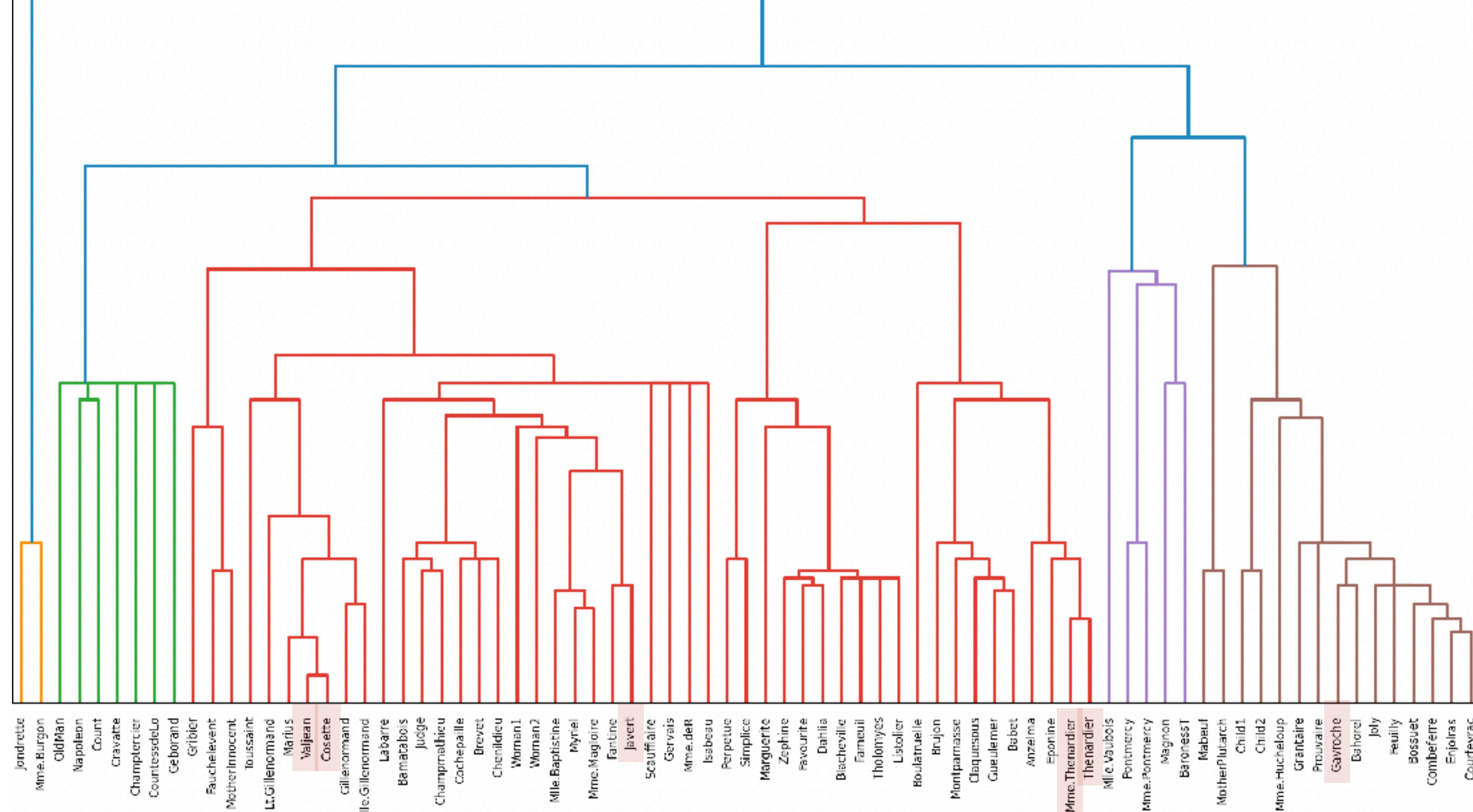


Matrice de contact « les Misérables »

Espace métrique :
Distance fonction de Kxy

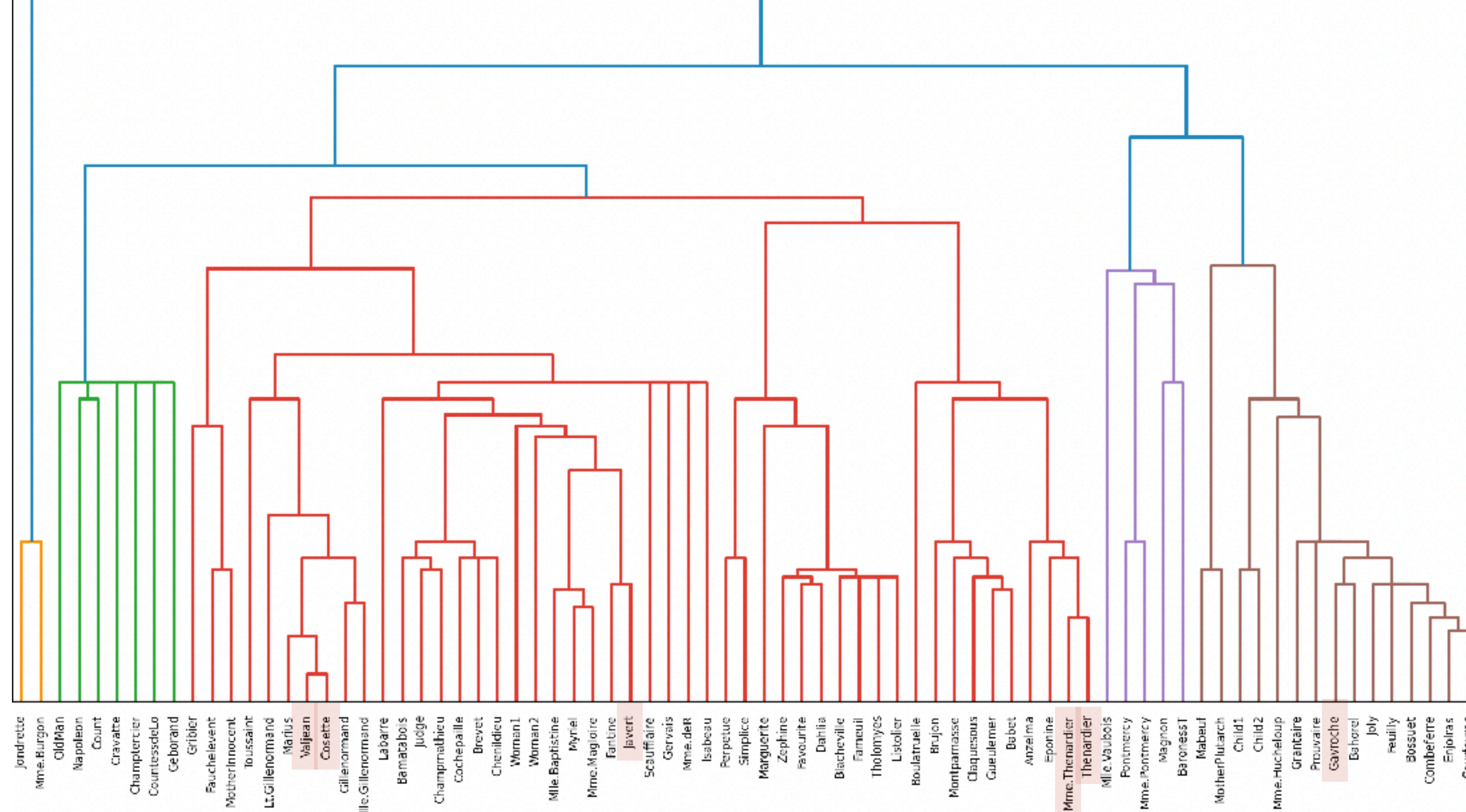
$$F(K) = \sqrt{-\log(K/\bar{K})}$$





Exposition

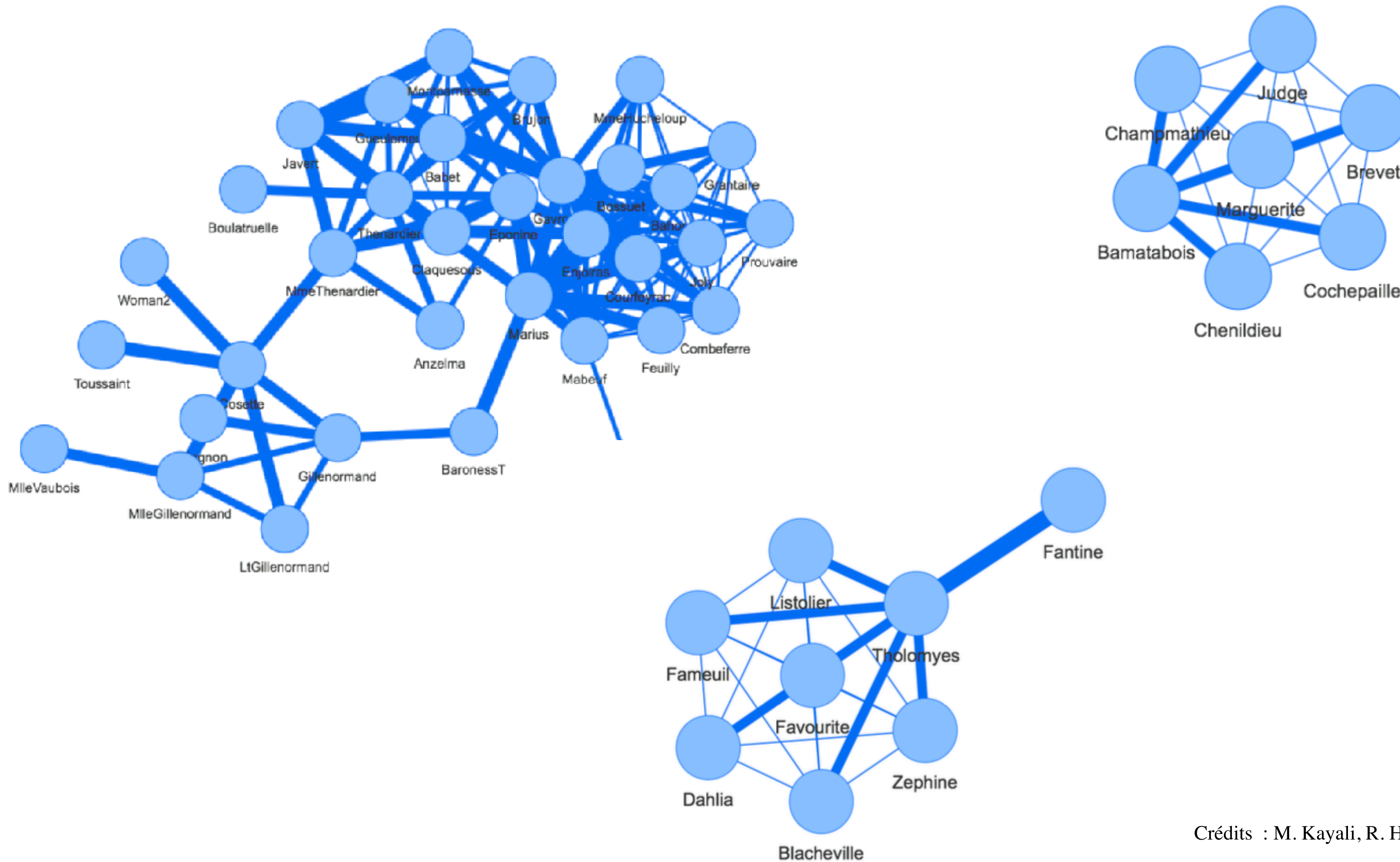
Dangerosité

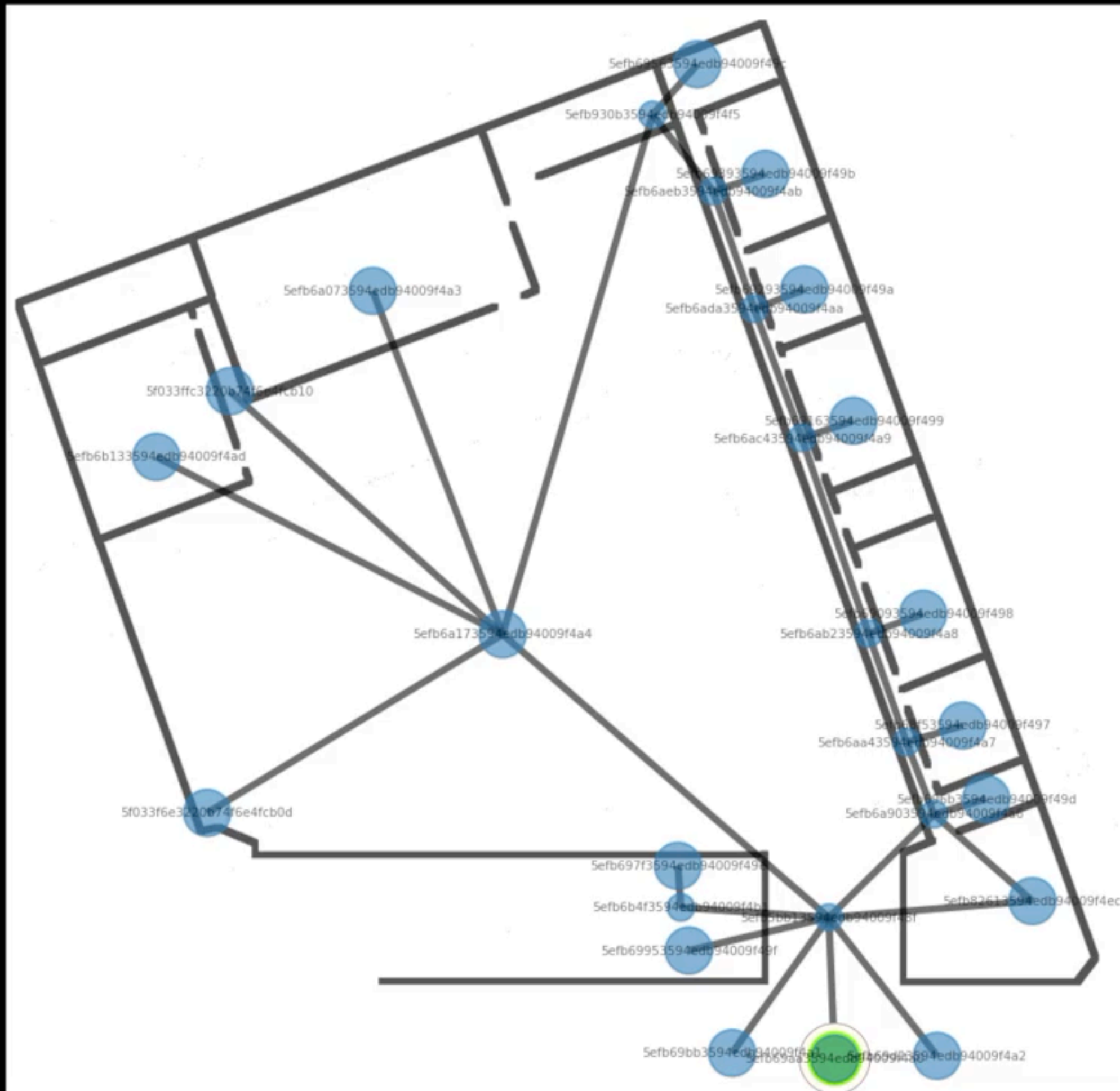


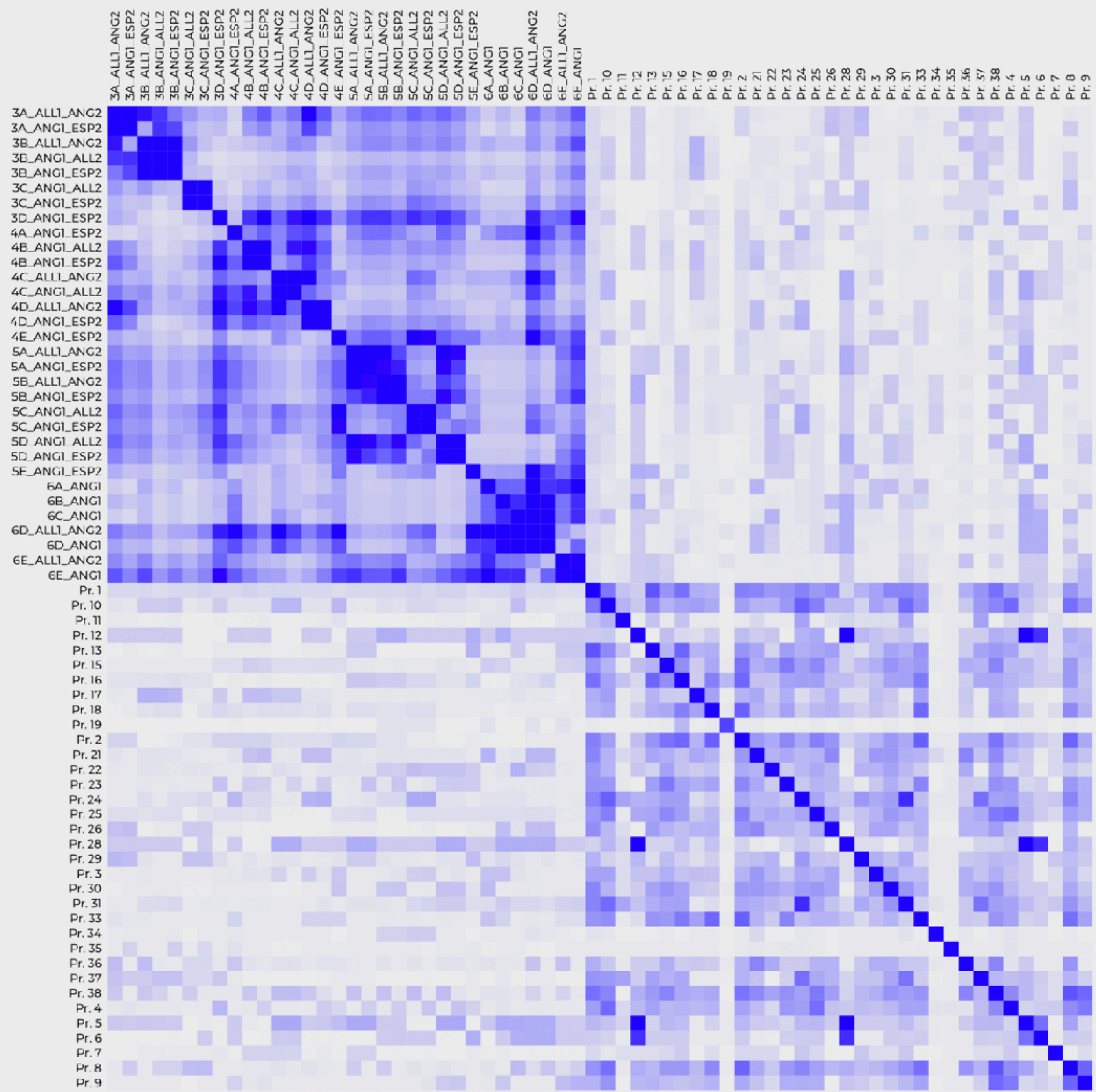
Patient 0 :
Jean Valjean



Flot de Ricci (— Ollivier) pour faire apparaître les sous-communautés







Projet FLUX COntact-CovID-19 UFR Médecine de Paris-Saclay FLUCOVID

Investigateur principal:

- Pr Olivier LAMBOTTE

Service de Médecine Interne- Hôpital Bicêtre

Investigateurs associés:

- Dr Florent BESSON

Service de Biophysique, Médecine Nucléaire-Imagerie
Moléculaire

- Dr Nicolas NOEL

Service de Médecine Interne

Responsables scientifiques:

- Mr Sylvain FAURE

CNRS, Laboratoire de Mathématiques d'Orsay

- Mr Bertrand MAURY

Université Paris-Saclay, Laboratoire de Mathématiques
d'Orsay

Référent projet DRCl-Siège: Akim SOUAG

Structure chargée du suivi de la recherche: Unité de
Recherche Clinique (URC) Paris Saclay Sud

Responsable URC: Pr Lamiae GRIMALDI

Référent projet DRCl-URC: Marylise ADECHIAN

Attaché de Recherche Clinique: Mariem KOLSI

Recrutement de 210 étudiant•e•s en médecine

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

Je soussigné(e), M^{me}, M. [rayer les mentions inutiles](nom, prénom)..... accepte librement de participer à la recherche intitulée « **Projet FLUX Contact-Covid-19 UFR Médecine de Paris-Saclay : FLUCOVID** » organisée par l'Assistance Publique - Hôpitaux de Paris / UFR Médecine Paris-Saclay / Université Paris-Saclay et qui m'est proposée par le Dr / Pr

- J'ai pris connaissance de la note d'information version 1.0 du 02/03/2021 m'expliquant l'objectif de cette recherche, la façon dont elle va être réalisée et ce que ma participation va impliquer,
- je conserverai un exemplaire de la note d'information et du consentement,
- j'ai reçu des réponses adaptées à toutes mes questions,
- j'ai disposé d'un temps suffisant pour prendre ma décision,
- j'ai compris que ma participation est libre et que je pourrai interrompre ma participation à tout moment, sans encourir la moindre responsabilité ou préjudice.
- j'ai été informé que les données recueillies dans le cadre de la recherche peuvent être réutilisées pour des recherches ultérieures, et que je pouvais m'y opposer à tout moment
- Je suis conscient(e) que ma participation pourra aussi être interrompue par le médecin si besoin, il m'en expliquera les raisons,
- j'ai compris que pour pouvoir participer à cette recherche je dois être affilié(e) à un régime de sécurité sociale ou bénéficiaire d'un tel régime. Je confirme que c'est le cas,
- j'ai bien été informé(e) que ma participation à cette recherche durera 2 mois et que je devrais prendre soin du matériel pendant toute la durée de la recherche
- mon consentement ne décharge en rien le médecin qui me suit dans le cadre de la recherche ni l'AP-HP de l'ensemble de leurs responsabilités et je conserve tous mes droits garantis par la loi.

Signature de la personne participant à la recherche

Signature du médecin

Nom Prénom :

Nom Prénom :

Date :

Signature :

Date :

Signature :

FICHE CONTACT

Partie à remplir **par le sujet** :

- NOM** :
- Prénom** :
- Date de naissance (MM/AAAA)** :
- Email** :
- Téléphone** :
- Résultat d'un test antigénique ou PCR au moment de l'inclusion** :
Date du test :/...../20..... **Résultat** : Positif Négatif

Partie à remplir **par l'investigateur** :

Sujet inclus dans l'étude : Oui Non, motif :

- | |
|--|
| <input type="checkbox"/> Retrait consentement |
| <input type="checkbox"/> Critères inclusion/de non-inclusion non respectés |
| <input type="checkbox"/> Autres : |

Participation du sujet :

- Première campagne de tests antigéniques à S4 :**
Date |_|_| / |_|_| / |_|_|_|_| **Résultat** : Positif Négatif
- Deuxième campagne de tests antigéniques à S6 :**
Date |_|_| / |_|_| / |_|_|_|_| **Résultat** : Positif Négatif

Retour/récupération du badge :

- à l'issue de la participation du sujet (**S9**) :
 Non Oui, **date** :/...../20.....
- à l'arrêt (prématuré/temporaire) de la participation du sujet :
 Non Oui, **date** :/...../20.....
- à la suspension de la recherche :
 Non Oui, **date** :/...../20.....

Arrêt de la participation du sujet : Date |_|_| / |_|_| / |_|_|_|_|

Si Arrêt prématuré ou temporaire, préciser le motif :

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Effet indésirable | <input type="checkbox"/> Autre problème médical |
| <input type="checkbox"/> Raison personnelle du sujet | <input type="checkbox"/> Retrait explicite de consentement |
| <input type="checkbox"/> Décision de l'investigateur | <input type="checkbox"/> Patient inclus à tort |
| <input type="checkbox"/> Perdu de vue | <input type="checkbox"/> Déviation-Violation au protocole |
| <input type="checkbox"/> Autre raison : | |

Si arrêt temporaire :

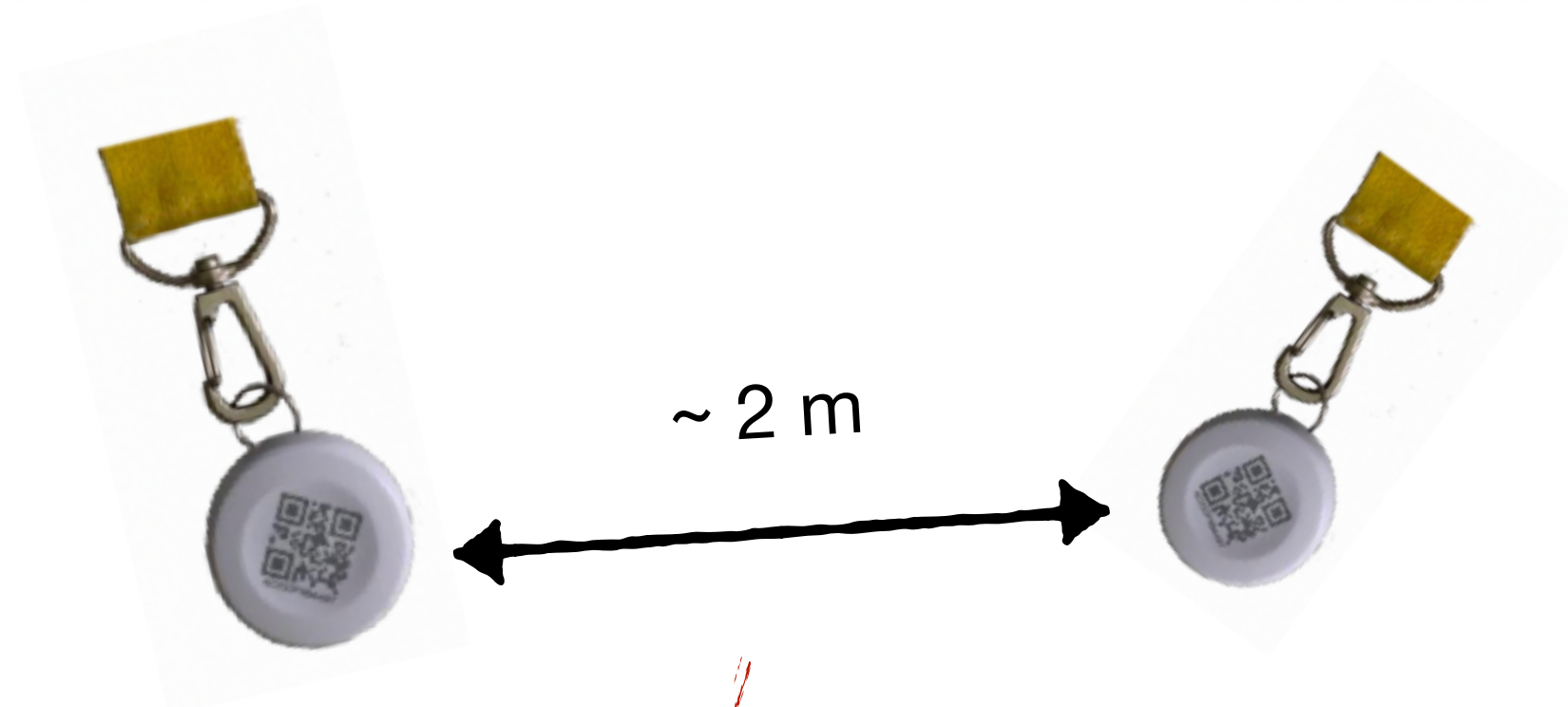
| | |
|-----------------|-------------------------|
| Date de l'arrêt | _ _ / _ _ / _ _ _ _ |
| Date de reprise | _ _ / _ _ / _ _ _ _ |

Suspension de la recherche

Mesure effective des contacts

CC233F66897D

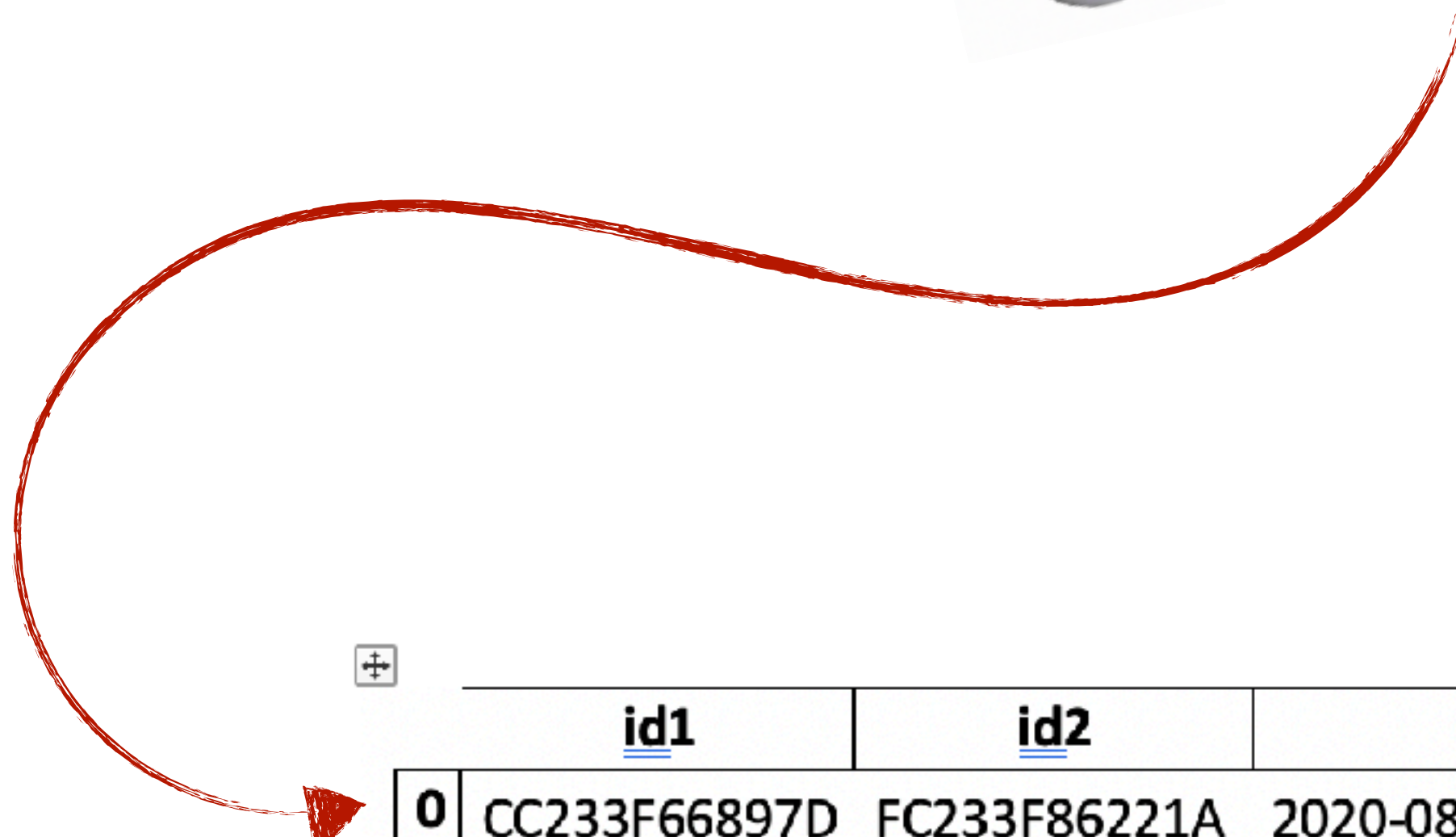
FC233F86221A



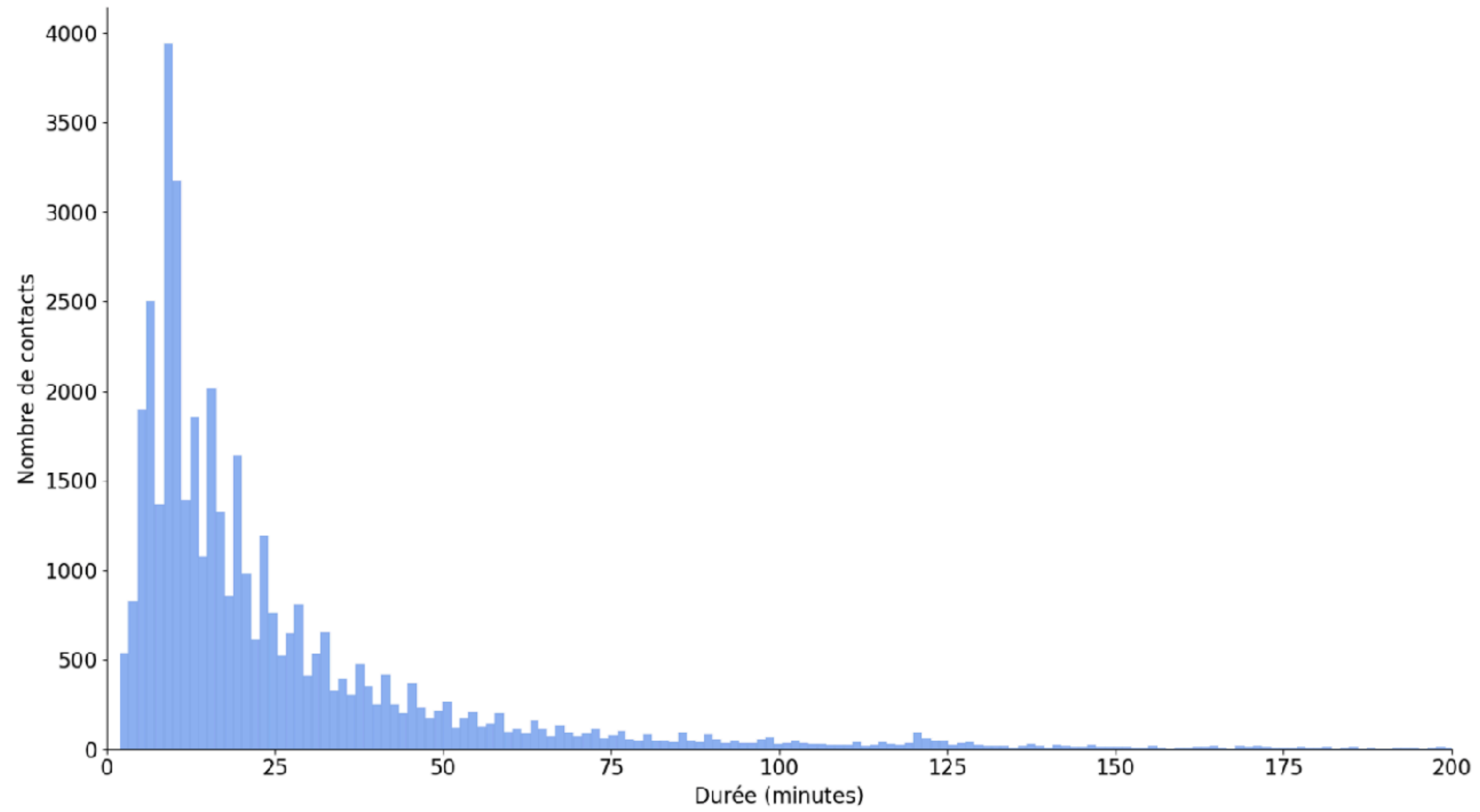
~ 2 m

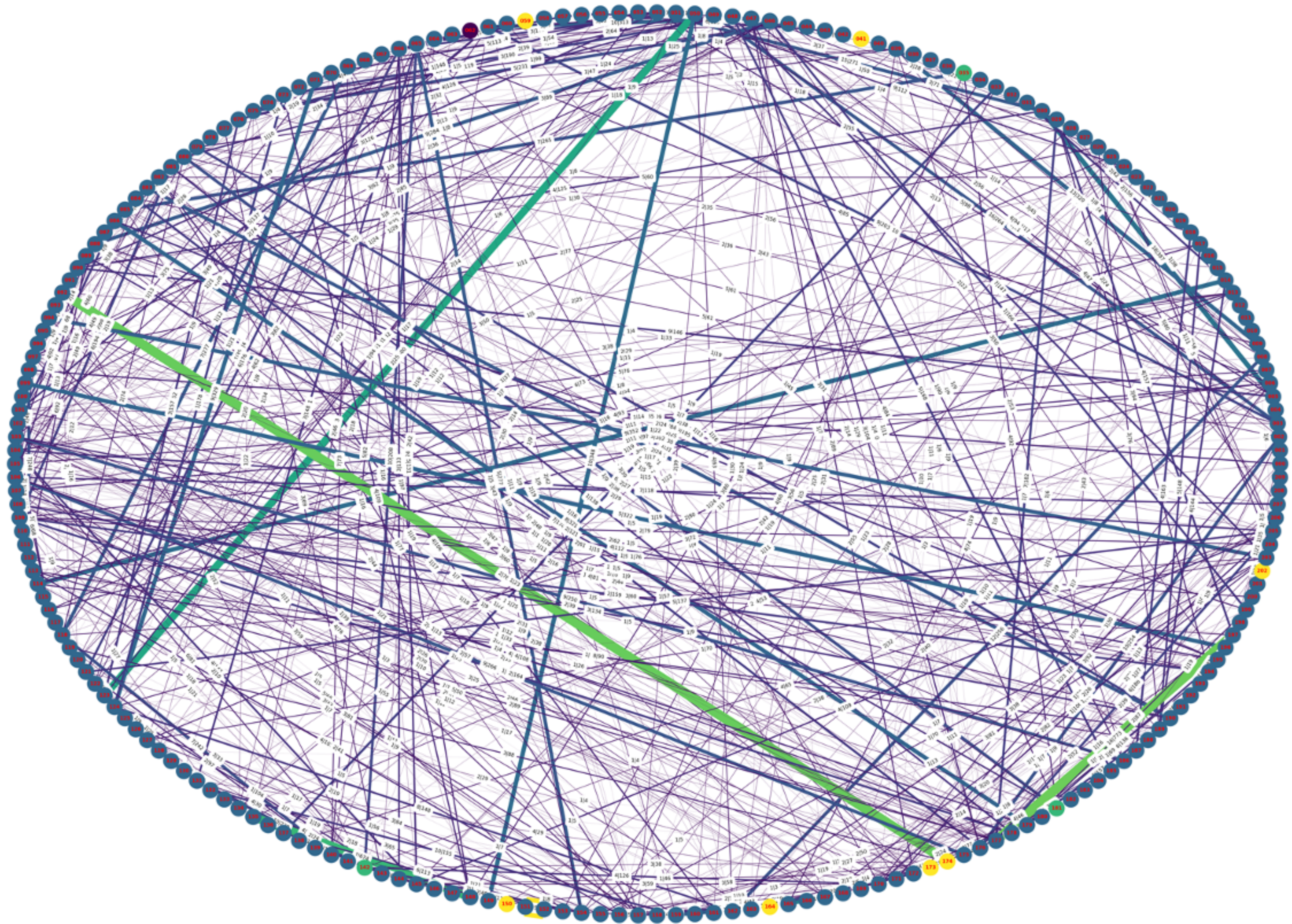


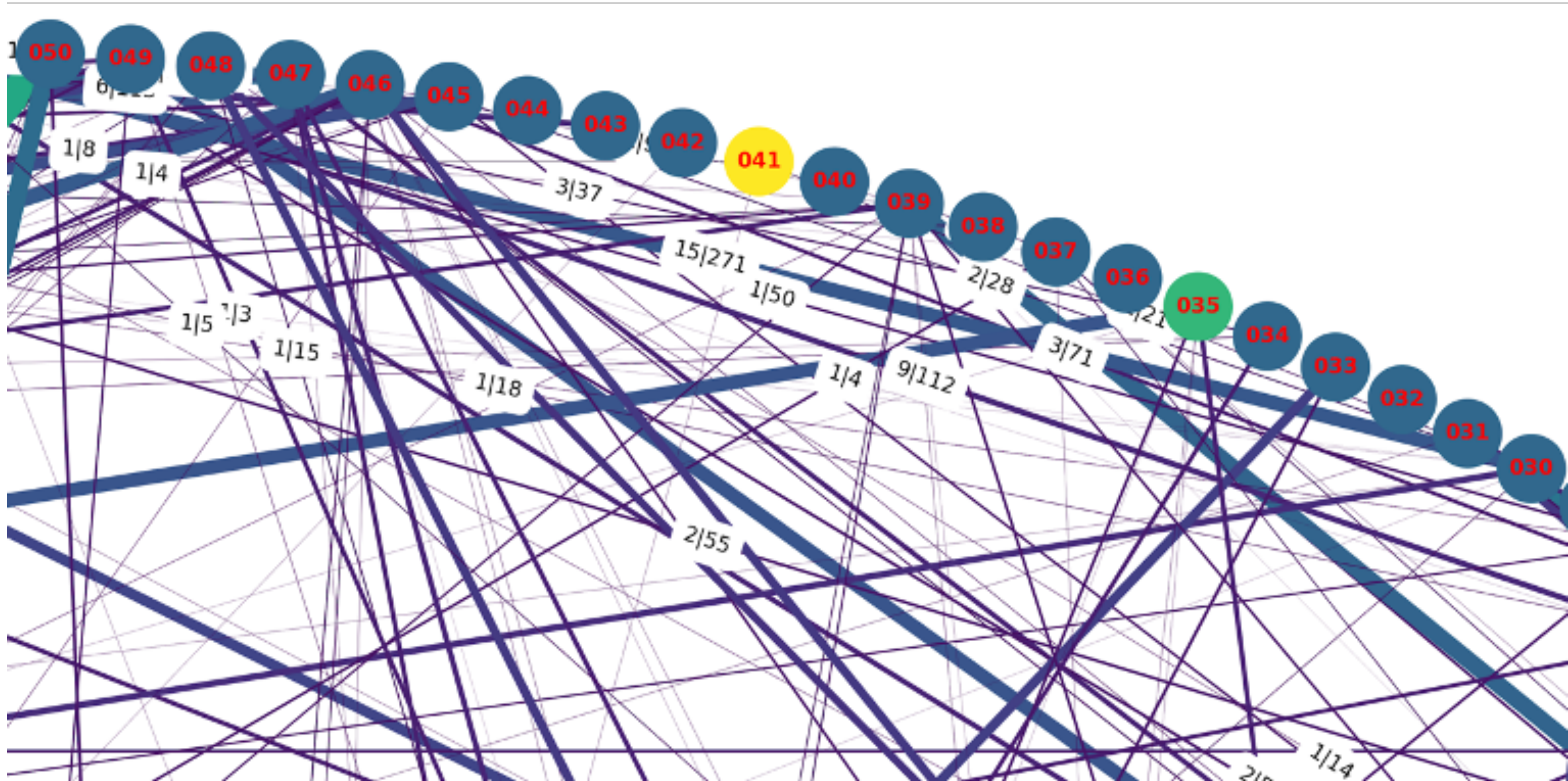
| | <u>id1</u> | <u>id2</u> | <u>date1</u> | <u>date2</u> |
|---|--------------|--------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 0 | CC233F66897D | FC233F86221A | 2020-08-31 <u>15:51:56.977000</u> | 2020-08-31 <u>16:10:56.977000</u> |
| 1 | FC233F86221A | BCC33F66543B | 2020-08-31 <u>15:49:56.977000</u> | 2020-08-31 <u>16:11:56.977000</u> |
| 2 | BCC33F66543B | AC233F0985A3 | 2020-08-31 <u>15:47:56.977000</u> | 2020-08-31 <u>15:55:56.977000</u> |
| 3 | ... | ... | ... | ... |

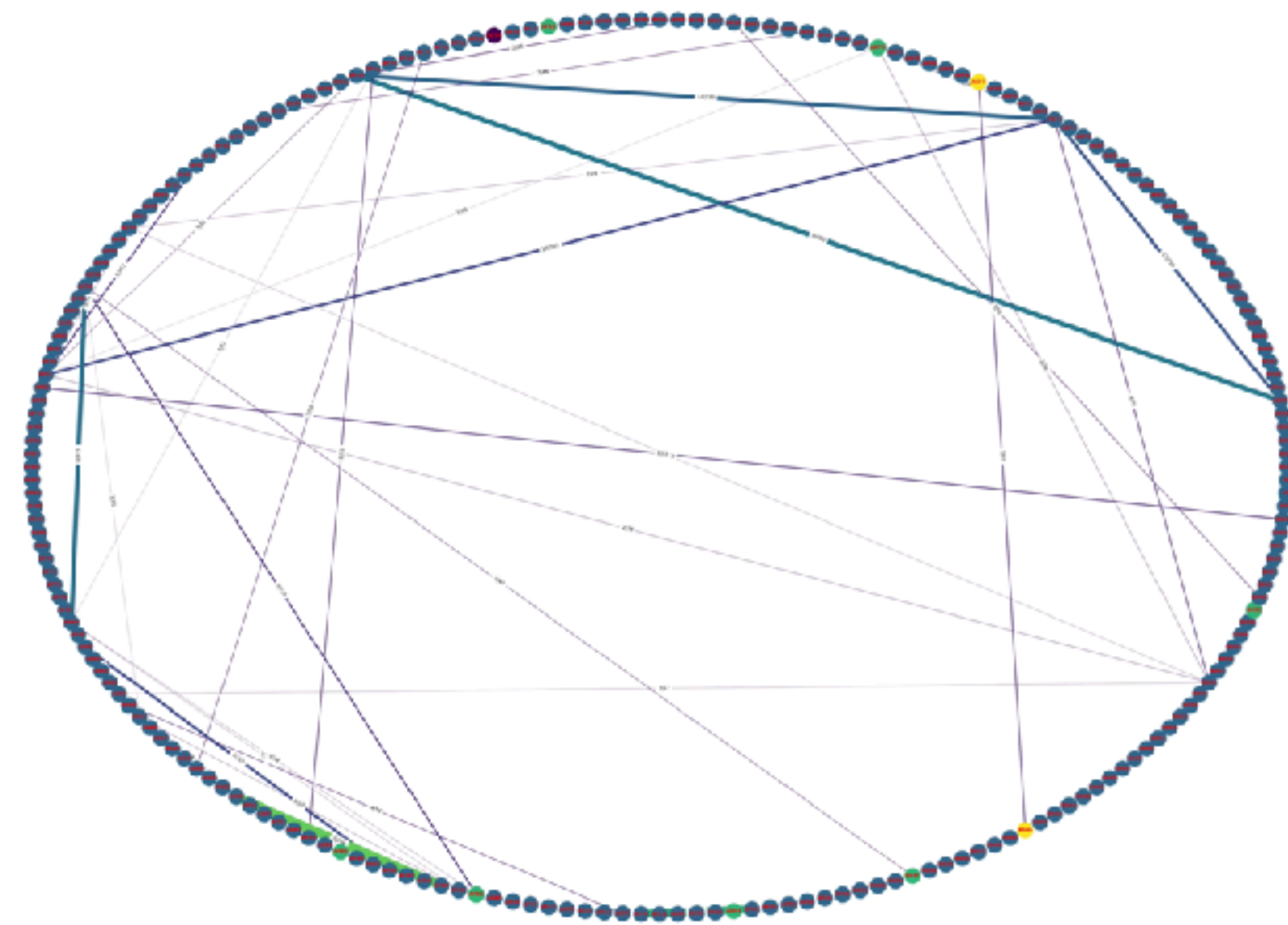
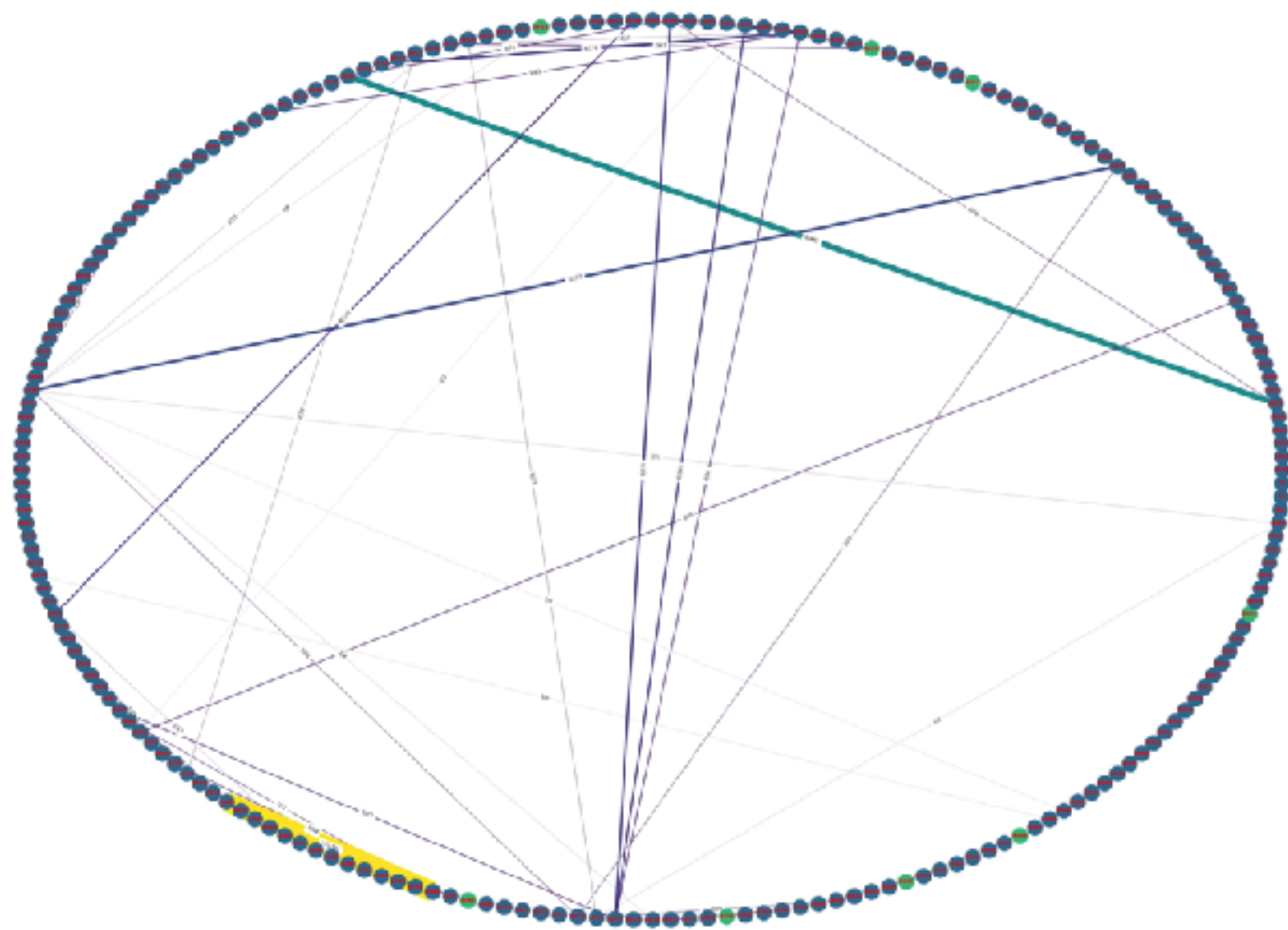
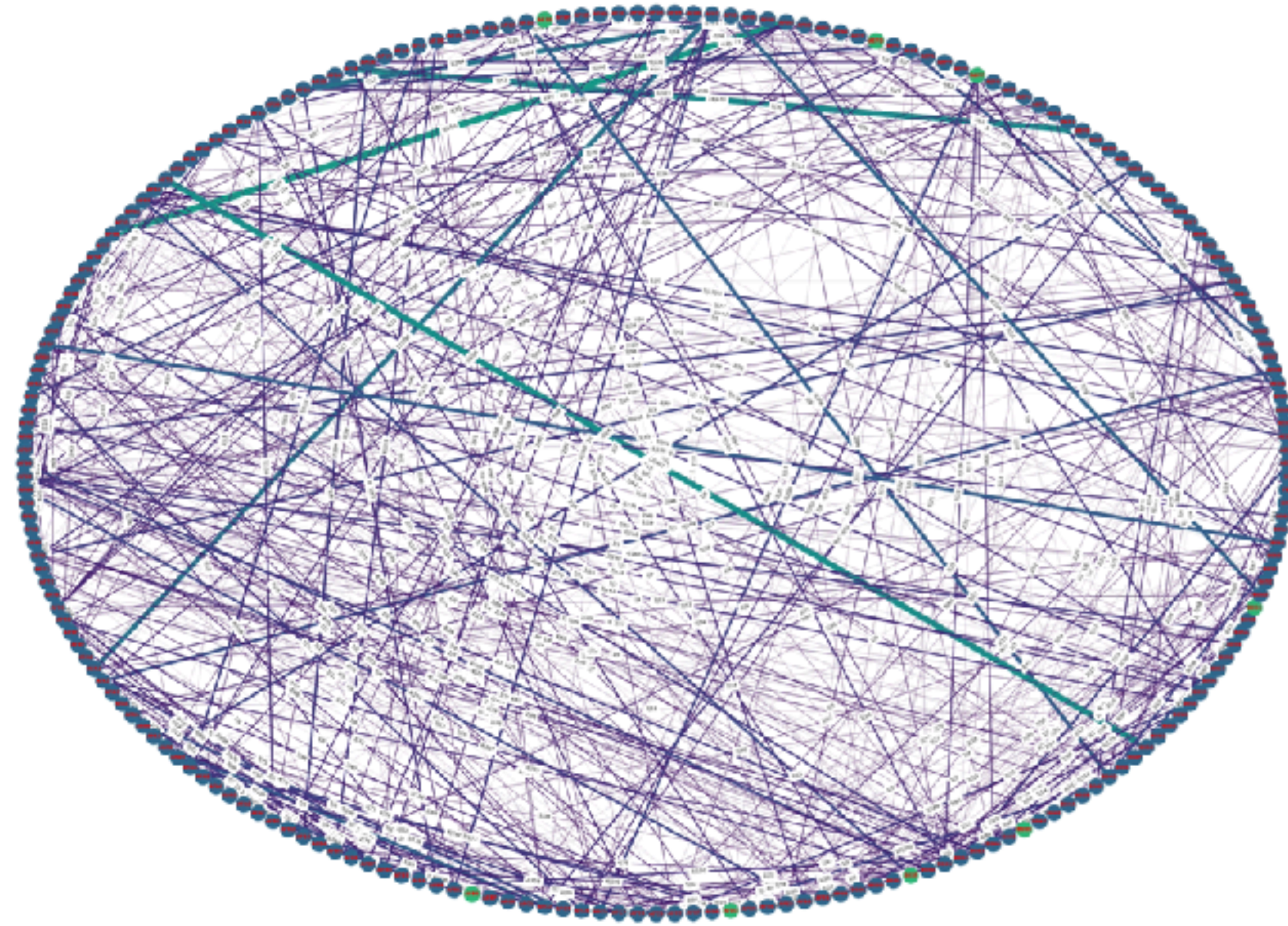
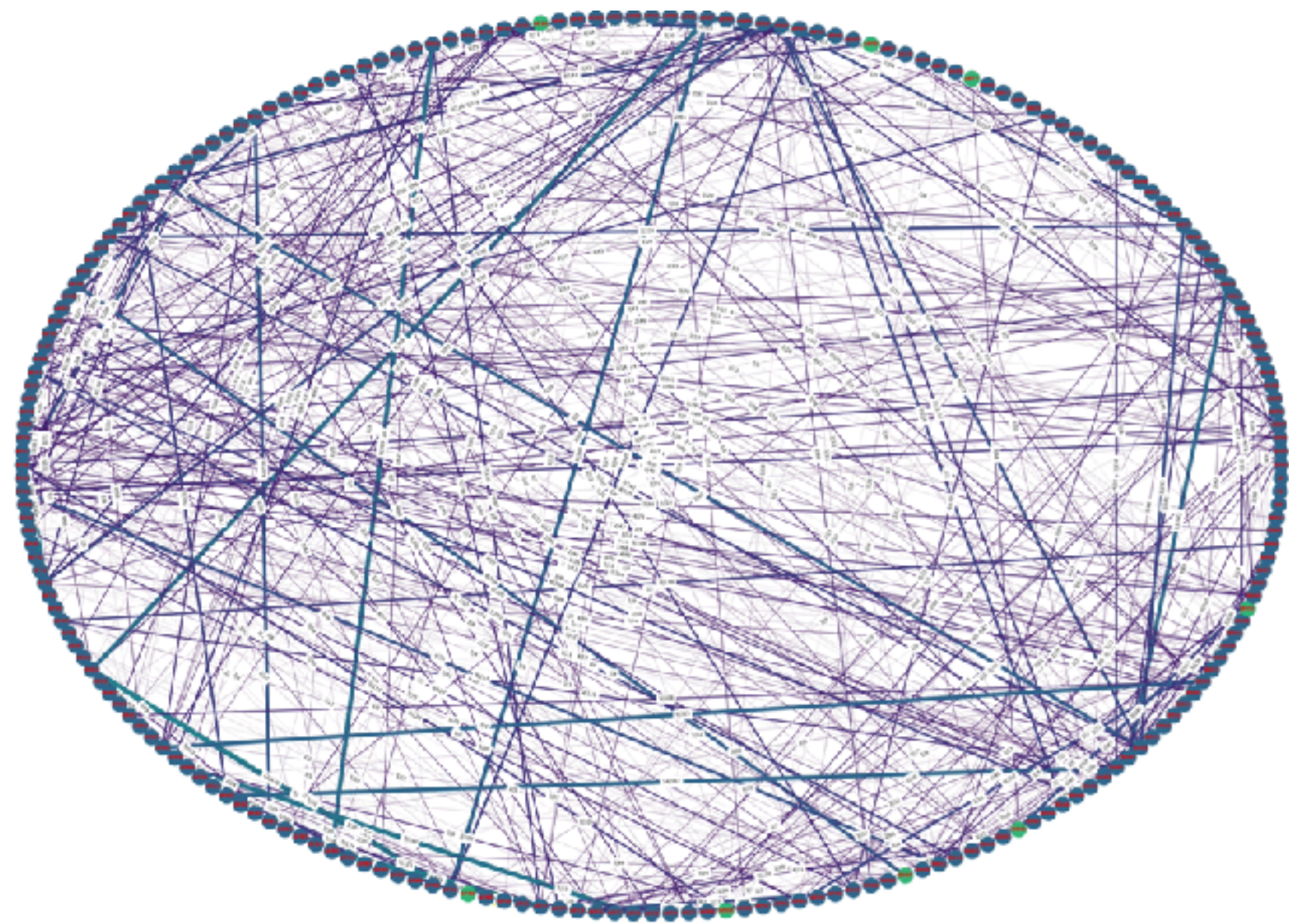


Durée des contacts









2021-10-21 08:00:00

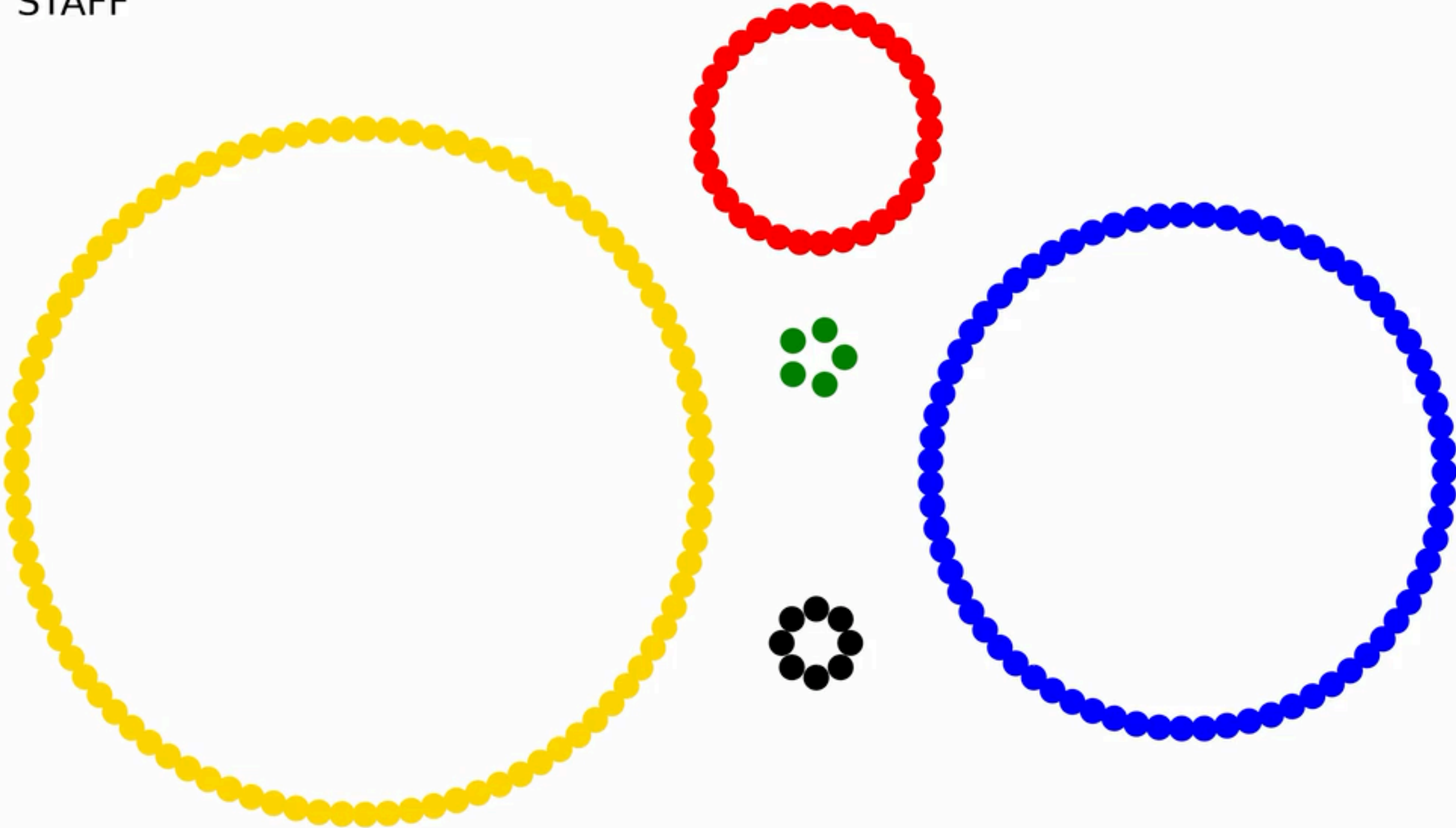
DFA1

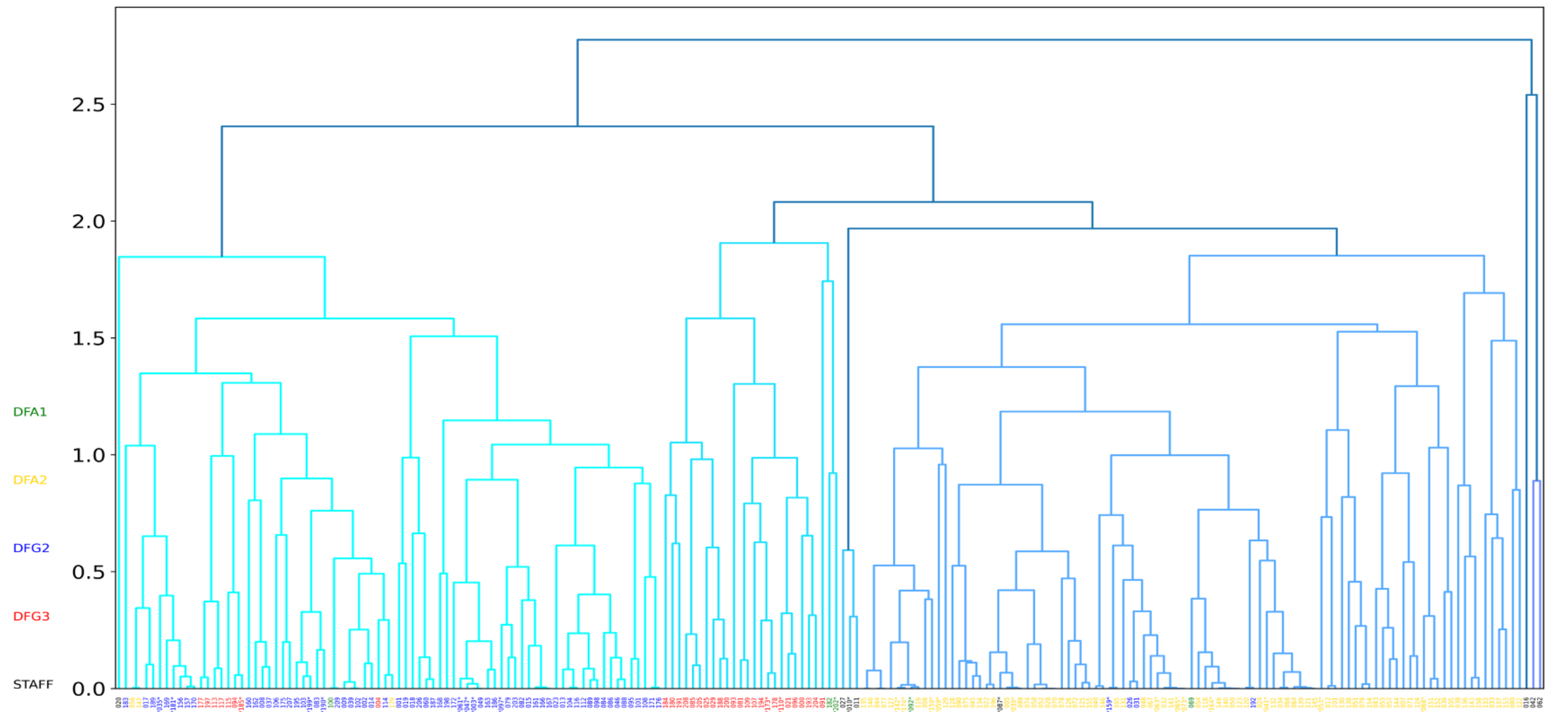
DFA2

DFG2

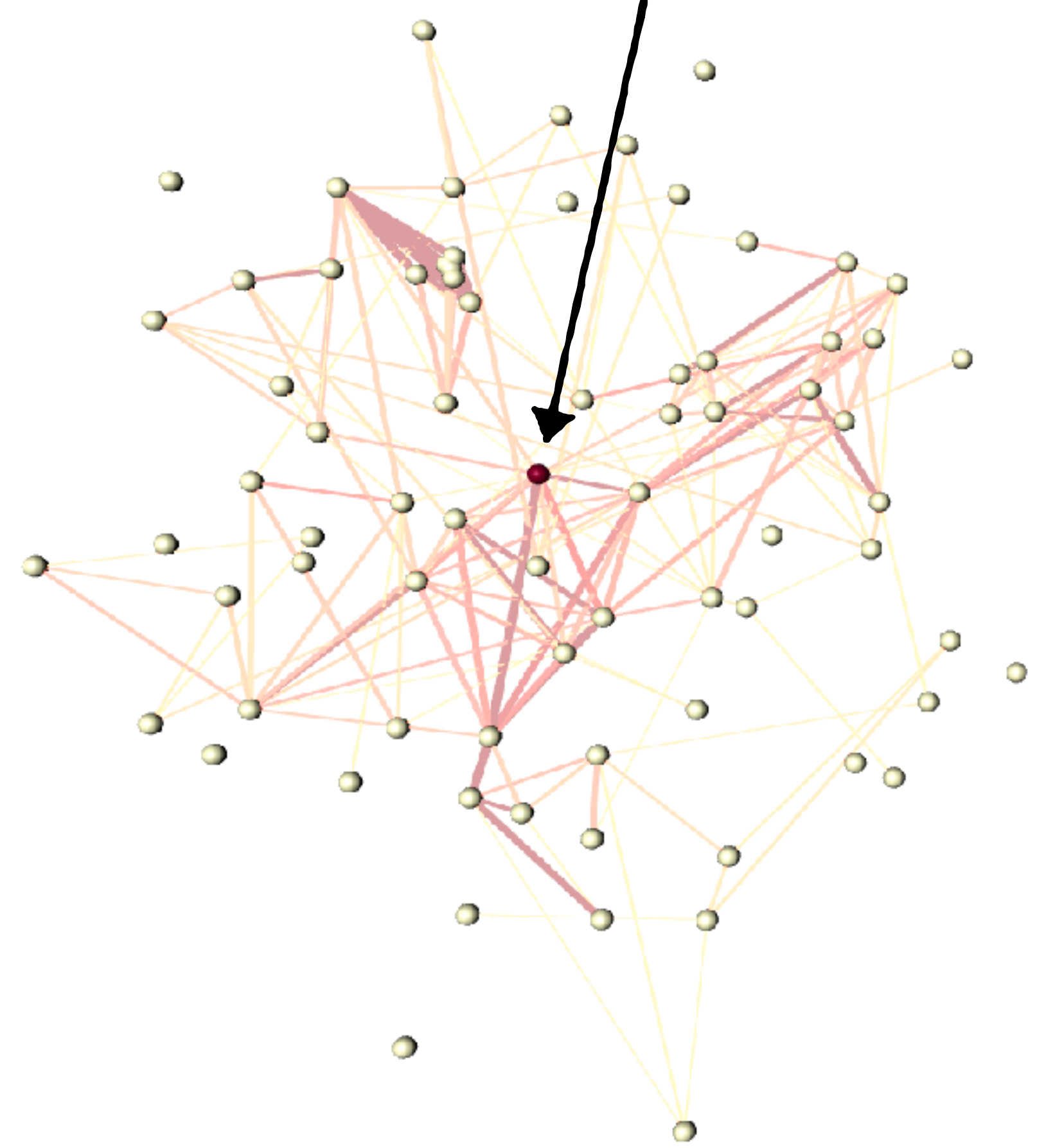
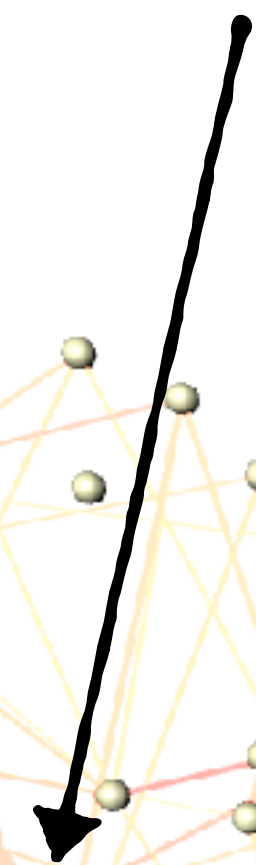
DFG3

STAFF

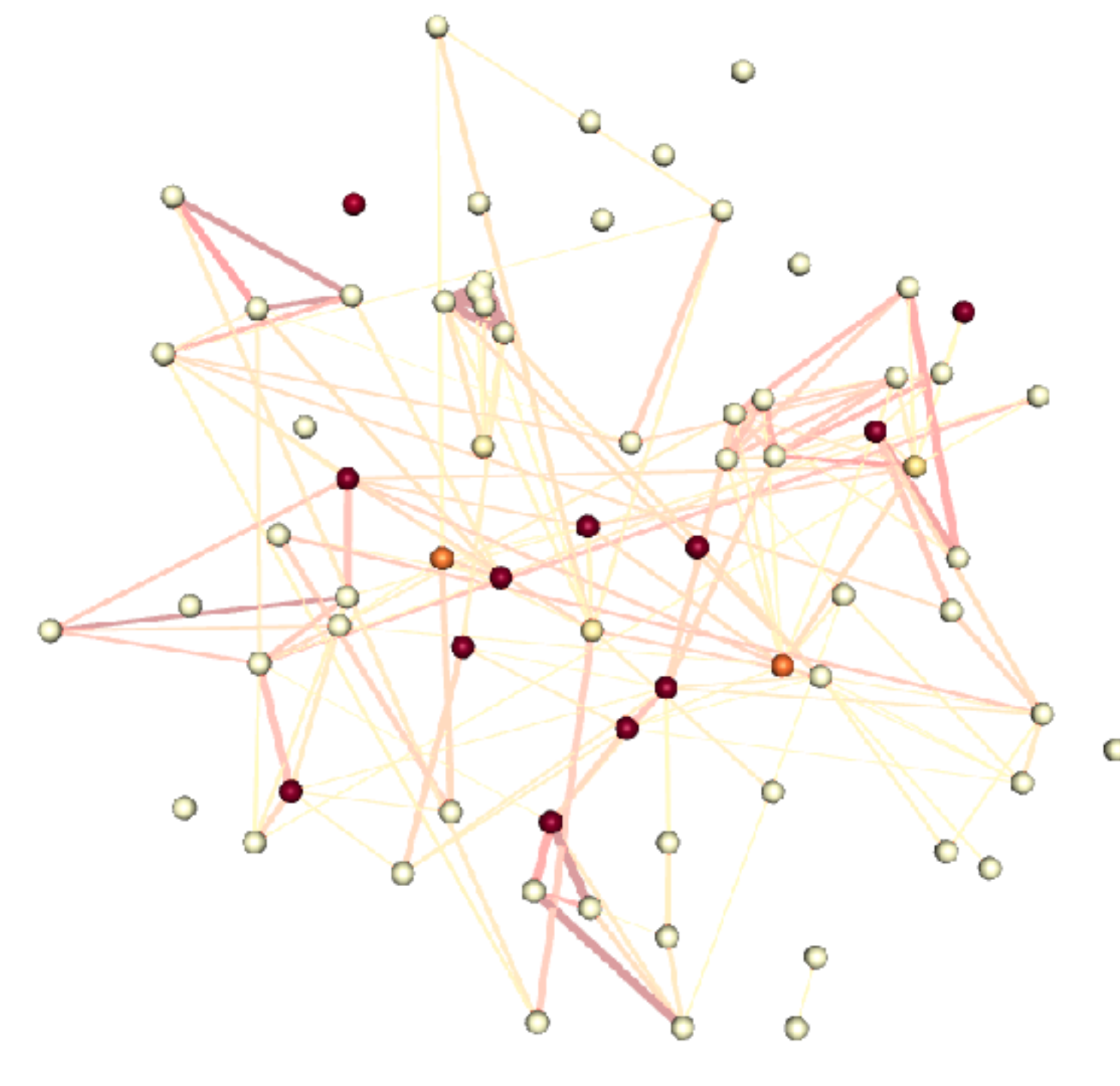




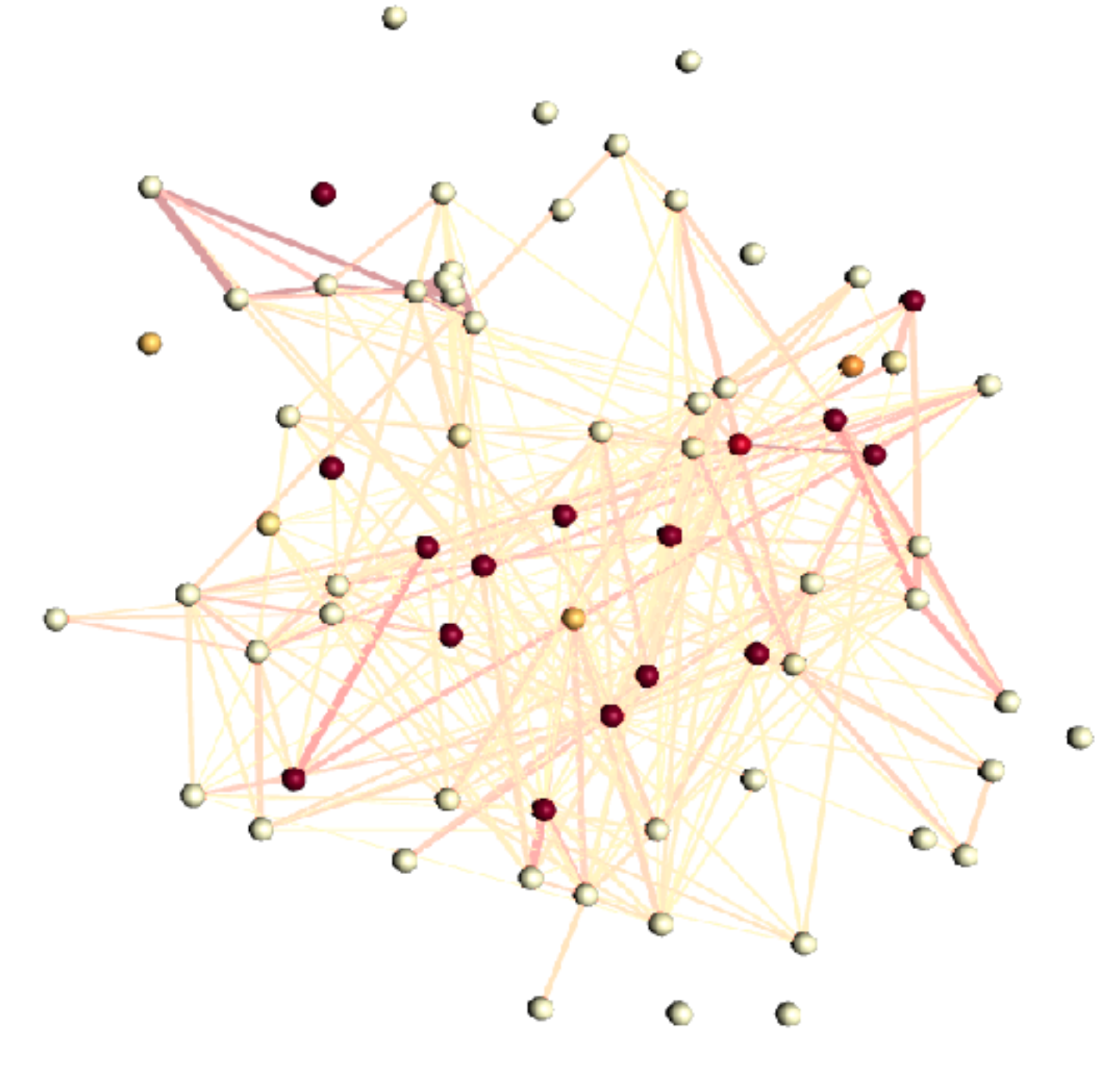
Patient 0



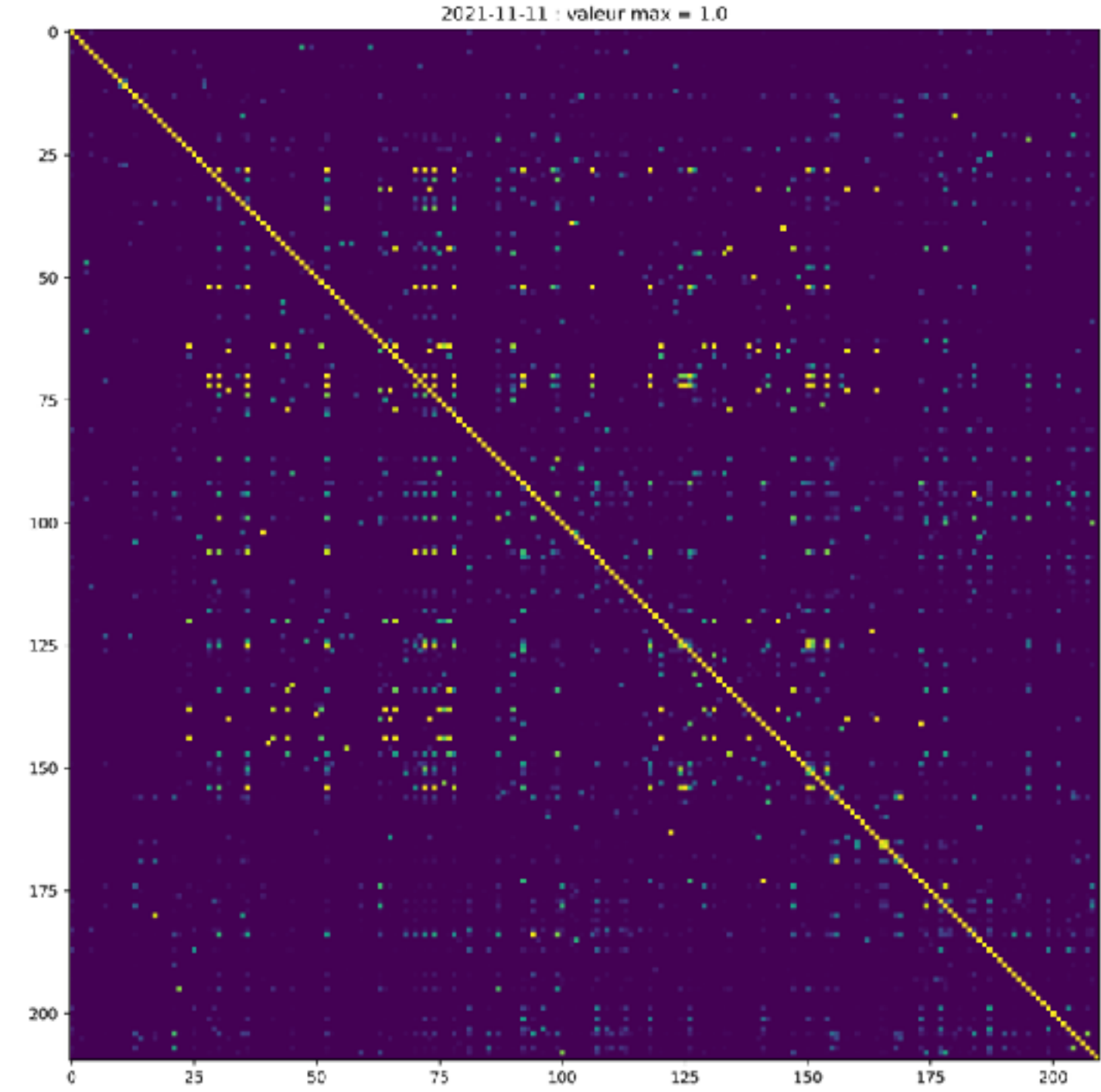
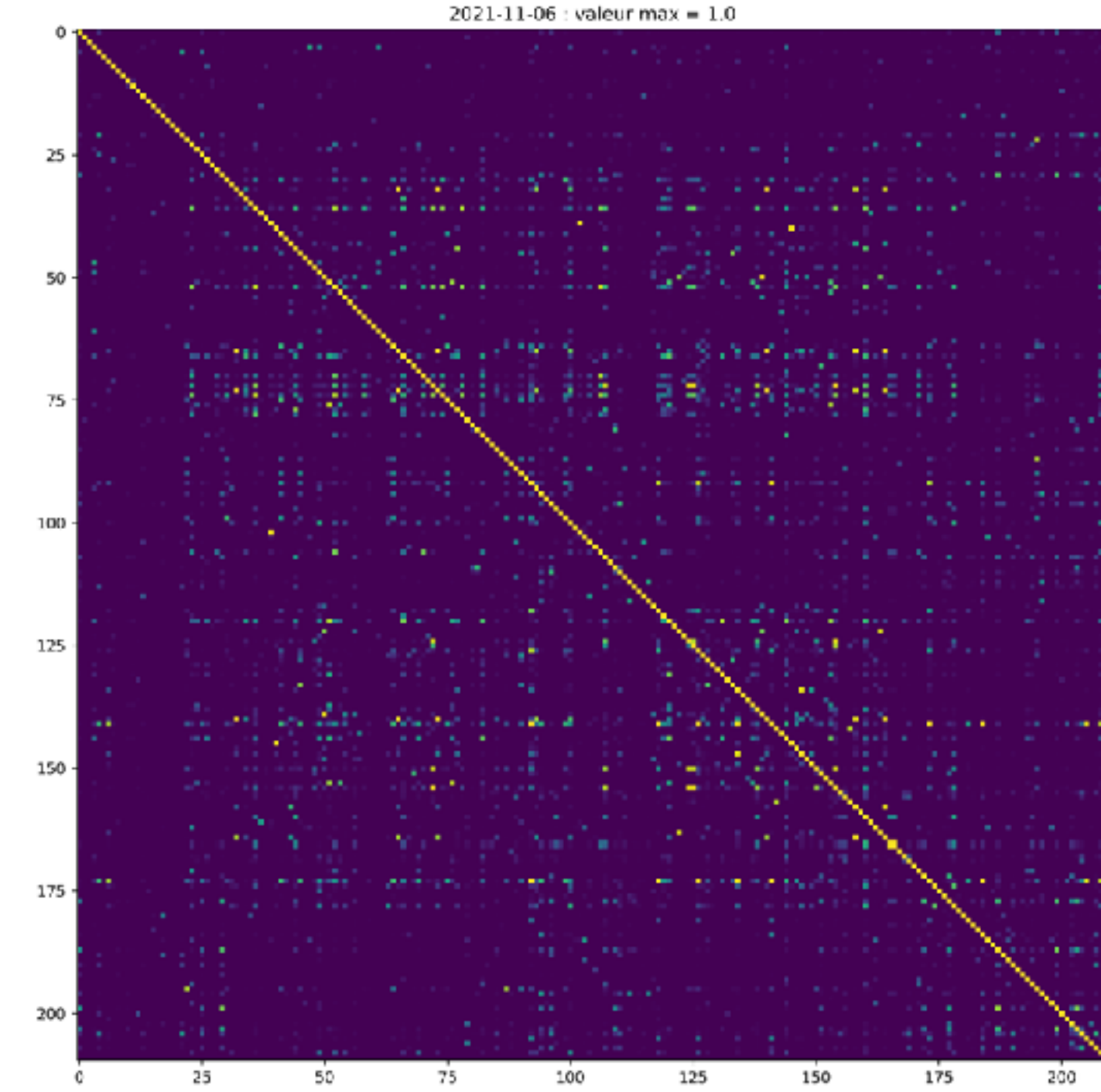
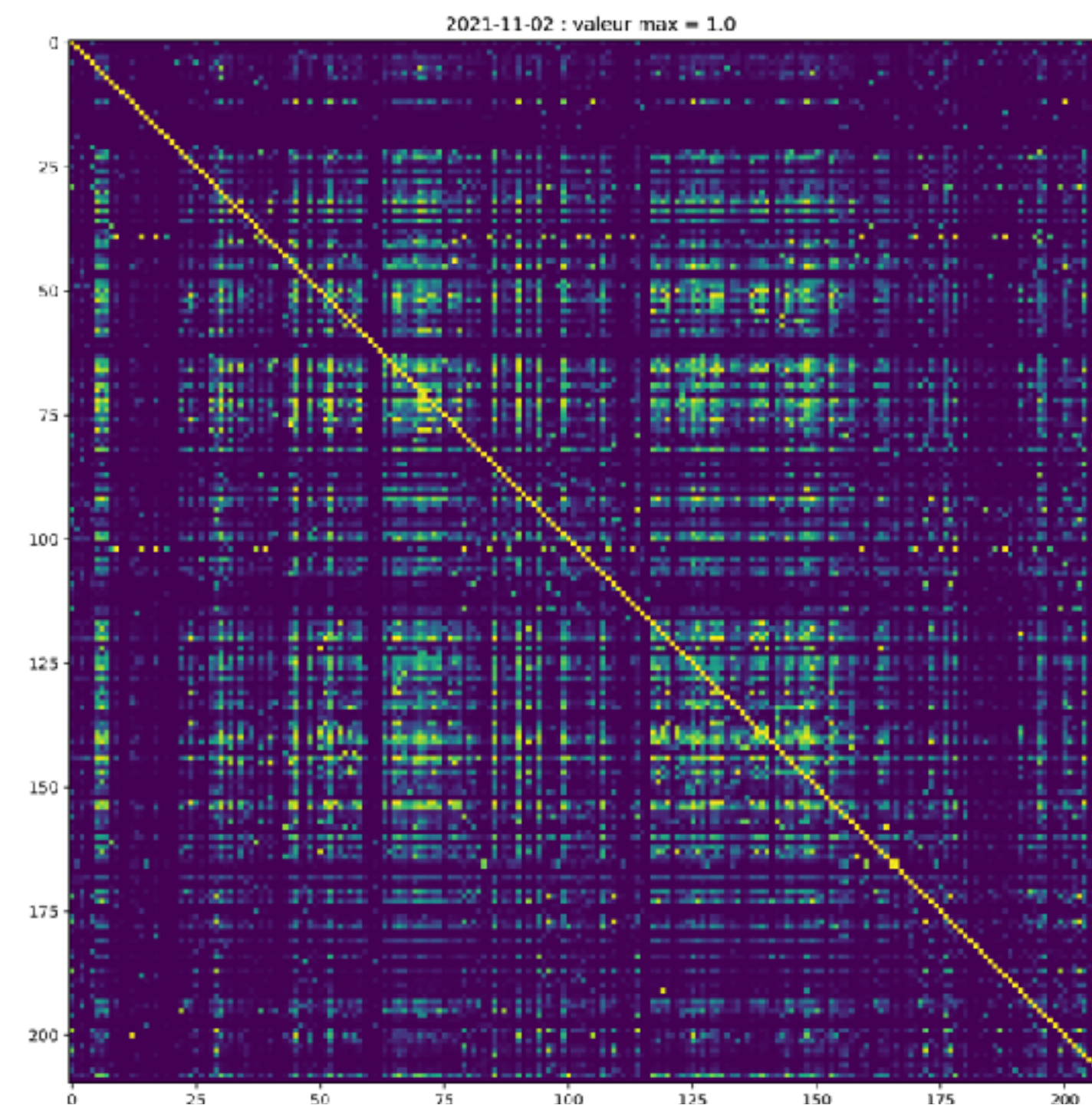
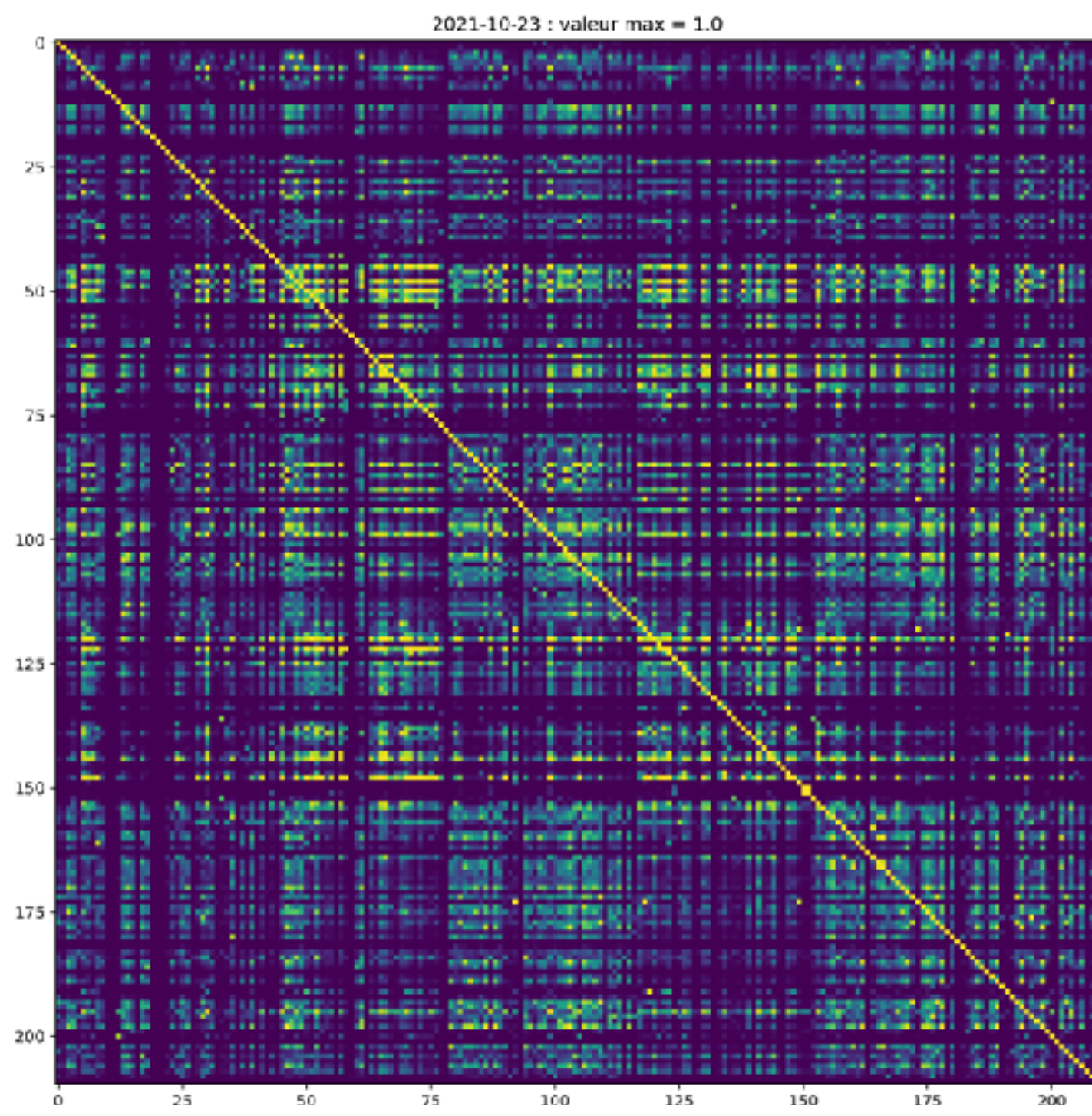
T



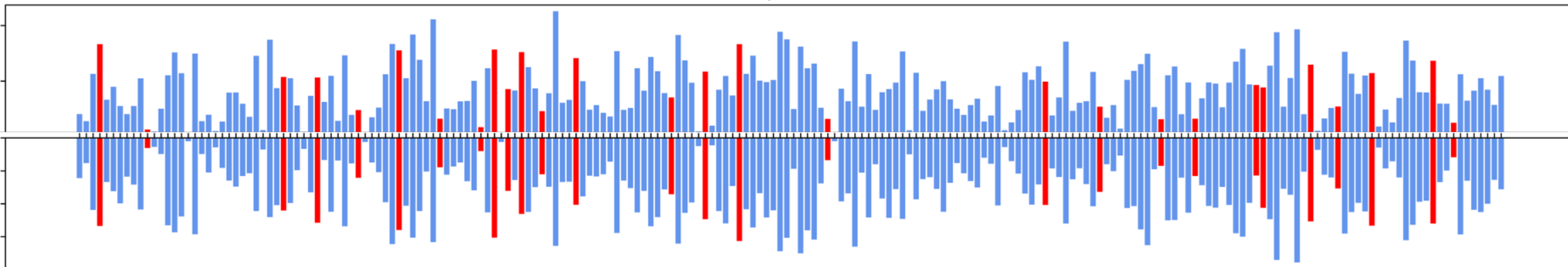
T + 1



T + 2



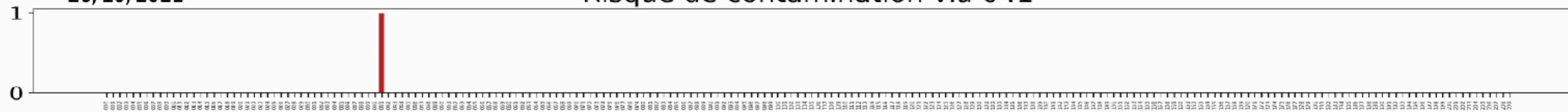
Exposition à la maladie



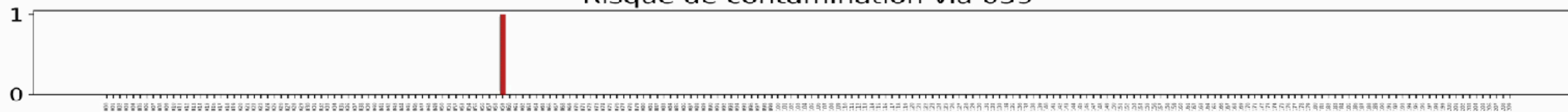
Dangerosité (contamination d'autrui)

20/10/2021

Risque de contamination via 041



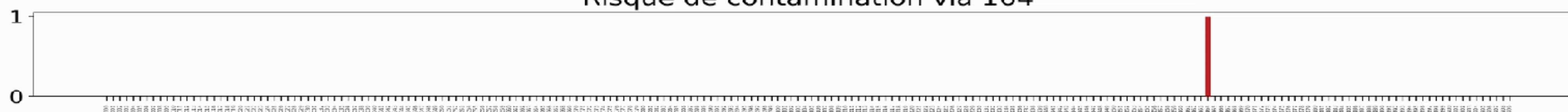
Risque de contamination via 059



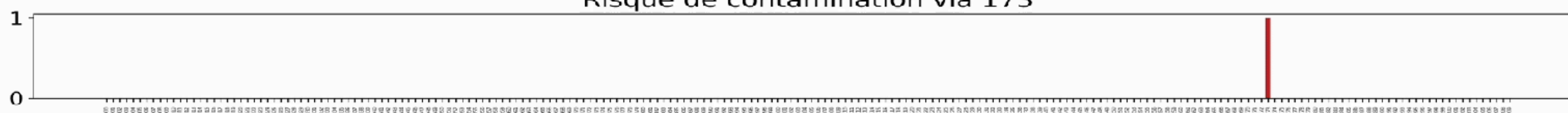
Risque de contamination via 150



Risque de contamination via 164



Risque de contamination via 173



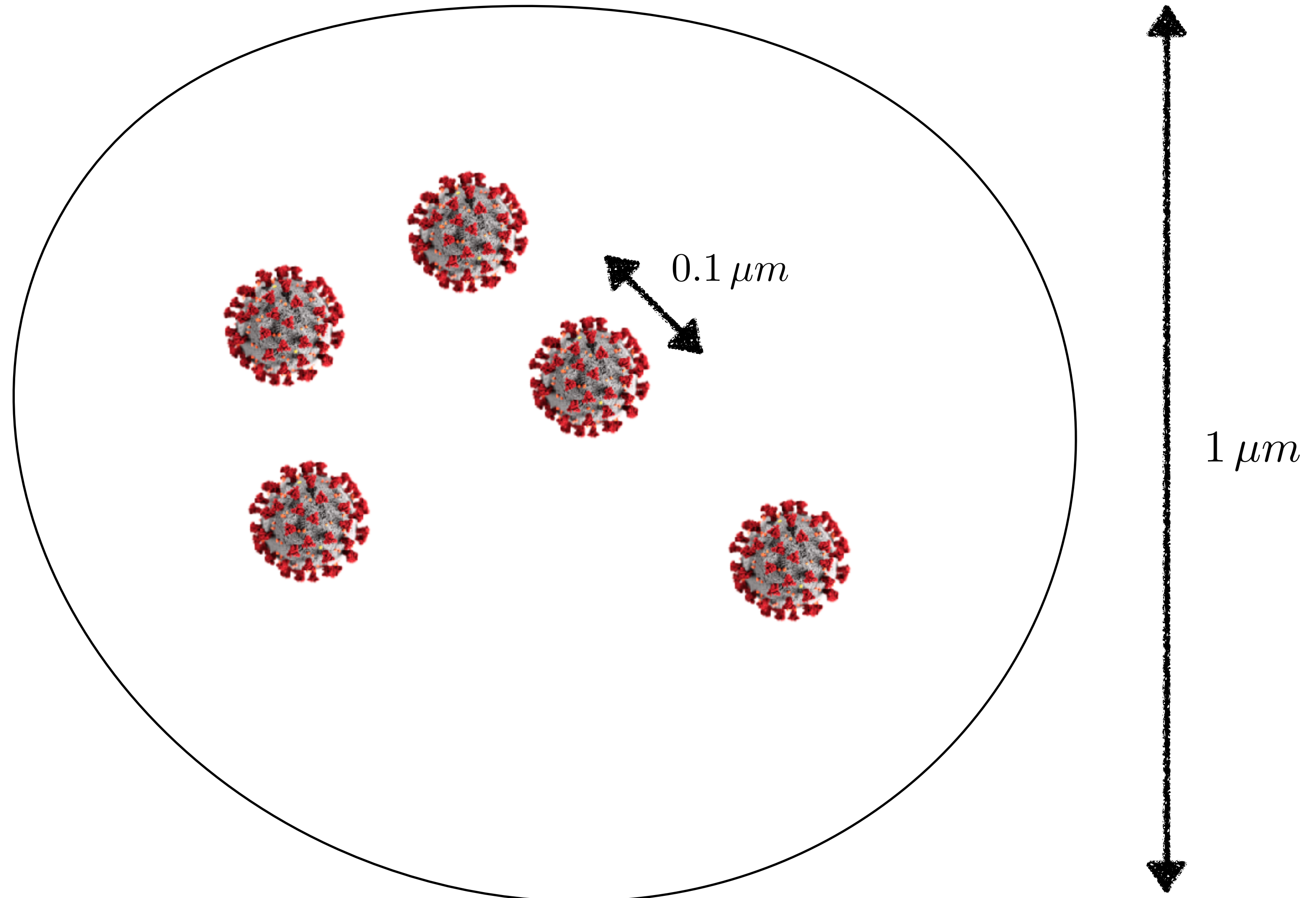
Risque de contamination via 174

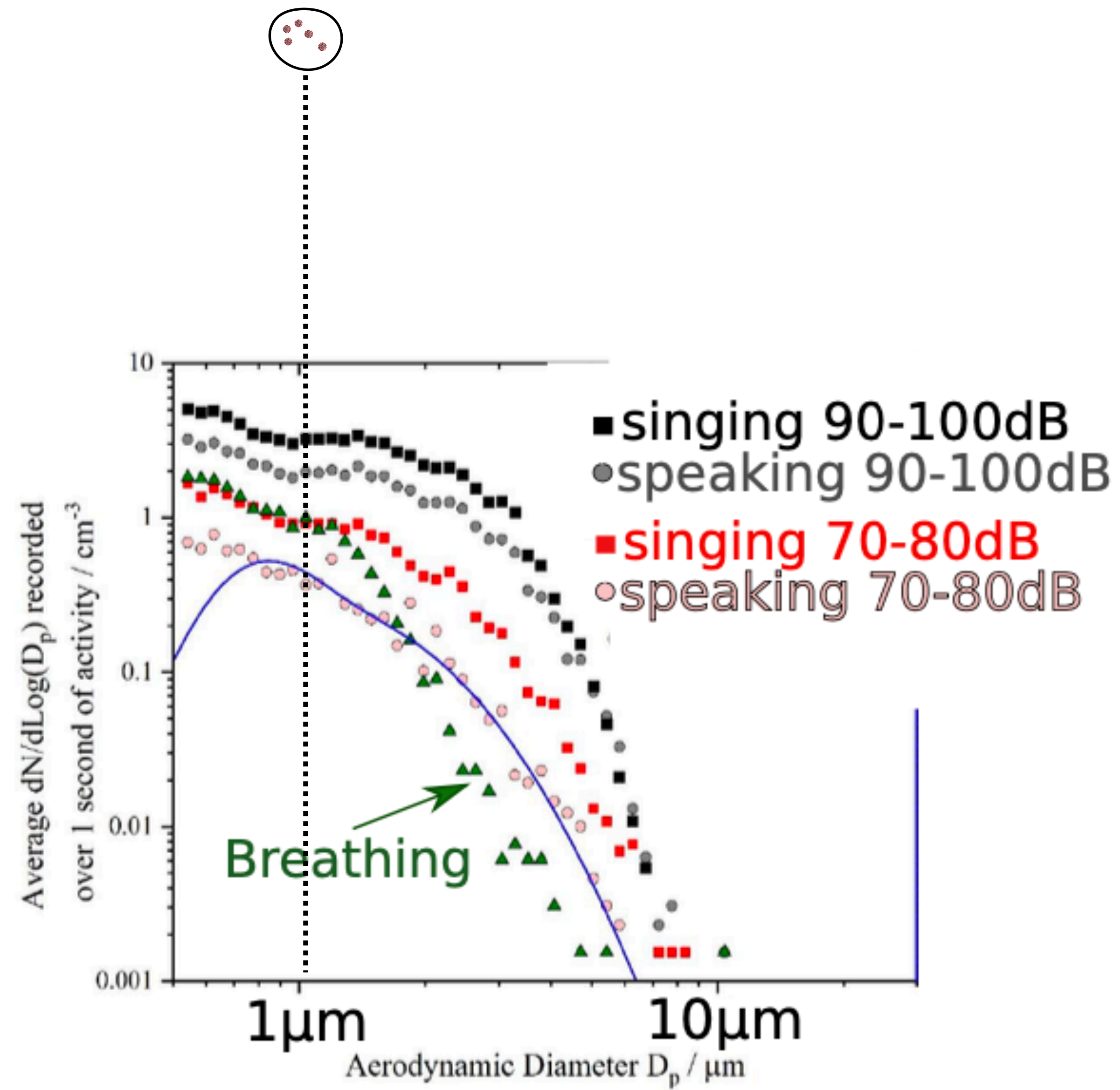


Risque de contamination via 202



Aérosol & mesures de CO₂

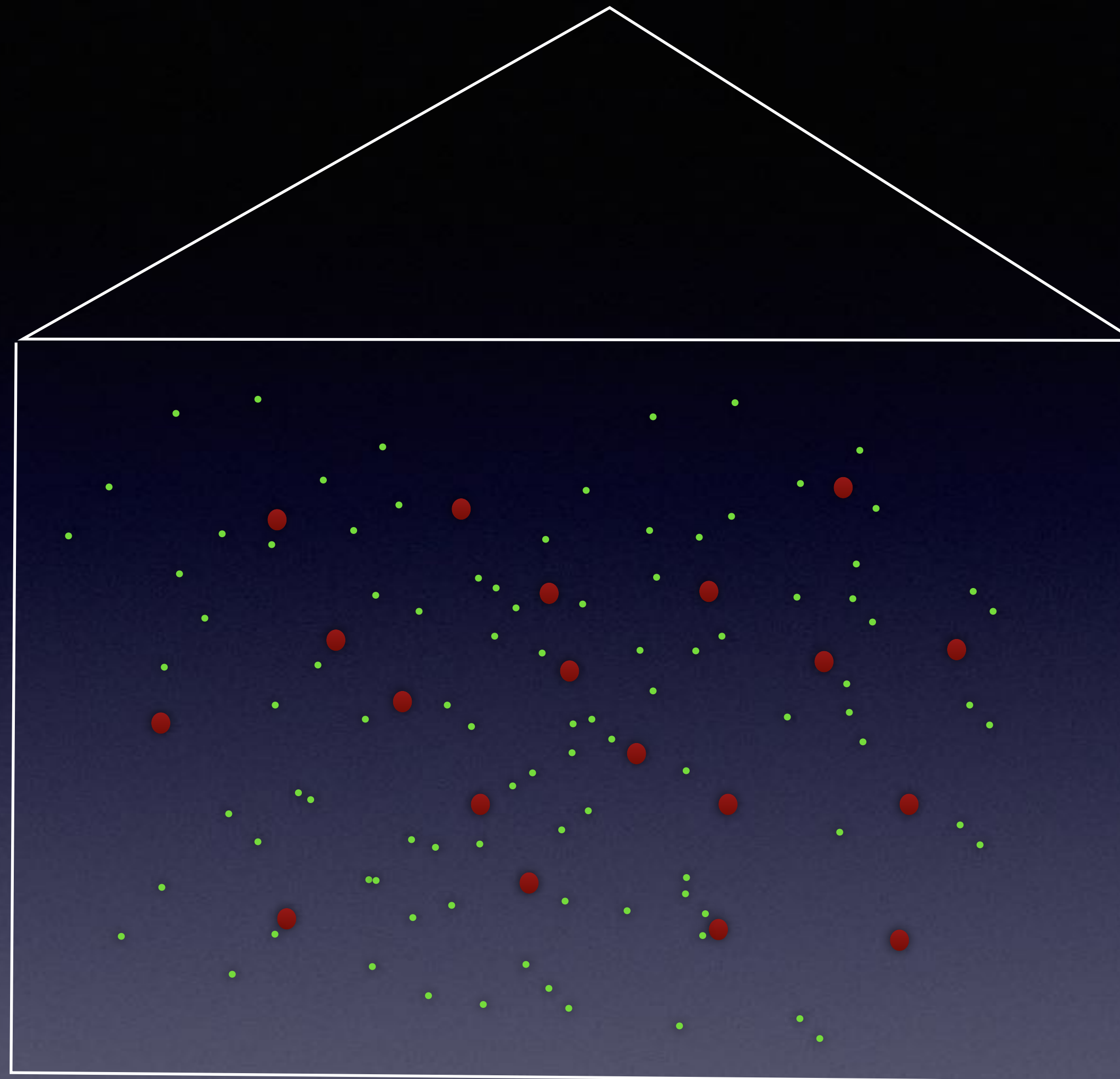




Comparing aerosol concentrations and particle size distributions generated by singing, speaking and breathing

[Aerosol Science and Technology](#),

Volume 55, 2021 - Issue 6



- Micro-gouttelettes (diamètre de l'ordre de $1\mu m$)
- Molécule de CO₂ (« diamètre » de l'ordre de 0.2 nm)

Qu'est-ce qui permet d'affirmer que les concentrations sont liées ?

Animation : Hugo Leclerc (CNRS)

Reconstruction tomographique d'un poumon de rat
(ESRF, Synchrotron de Grenoble, S. Bayat, **H. Leclerc**, S. Martin, B. Maury, B. Semin)



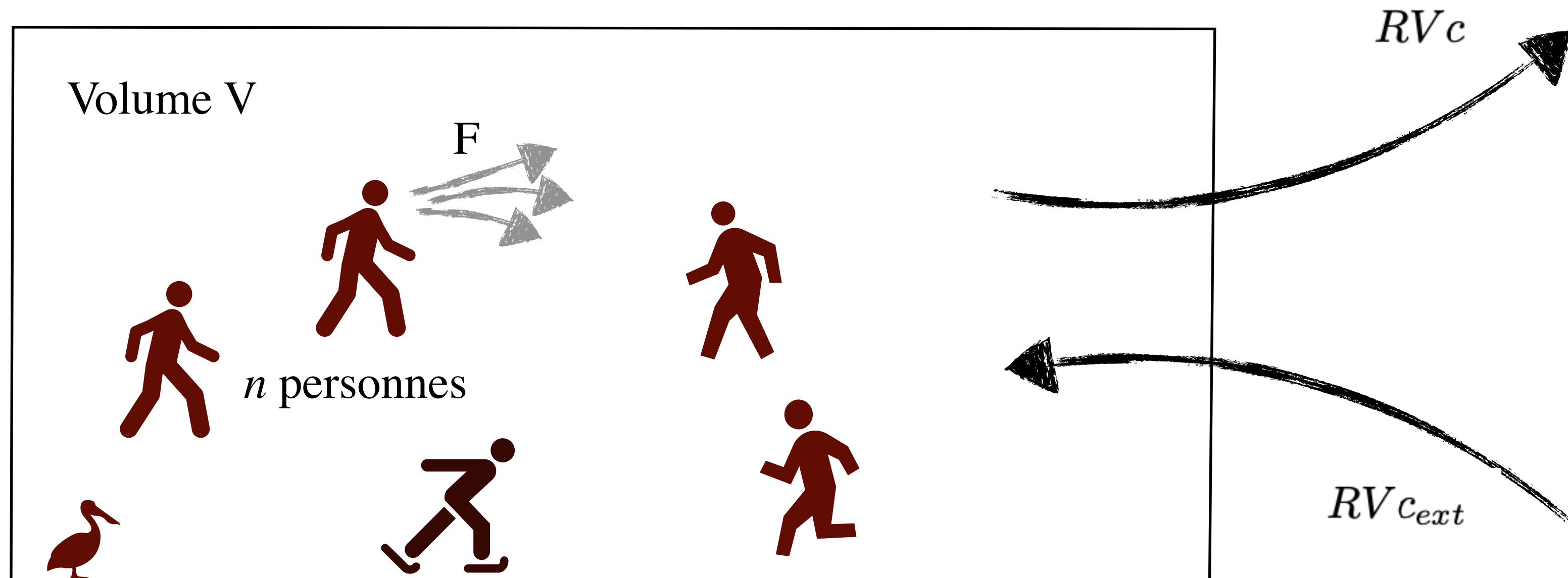
Modélisation de la concentration de CO₂ dans un espace

Concentration c (en fraction, c 'est-à-dire en ppm / 1 000 000)

Quantité de CO₂ (en m³) : cV

Volume d'air échangé avec l'extérieur : RV (en m³ h⁻¹)

Production de CO₂ par personne : $F \sim 20 \text{ L h}^{-1}$



$$\frac{d(Vc)}{dt} = RV(c_{ext} - c) + nF$$

$$\frac{dc}{dt} = R(c_{ext} - c) = \frac{nF}{V}$$

$$\frac{dc}{dt} + R(c - c^{ext}) = \frac{nF}{V}$$

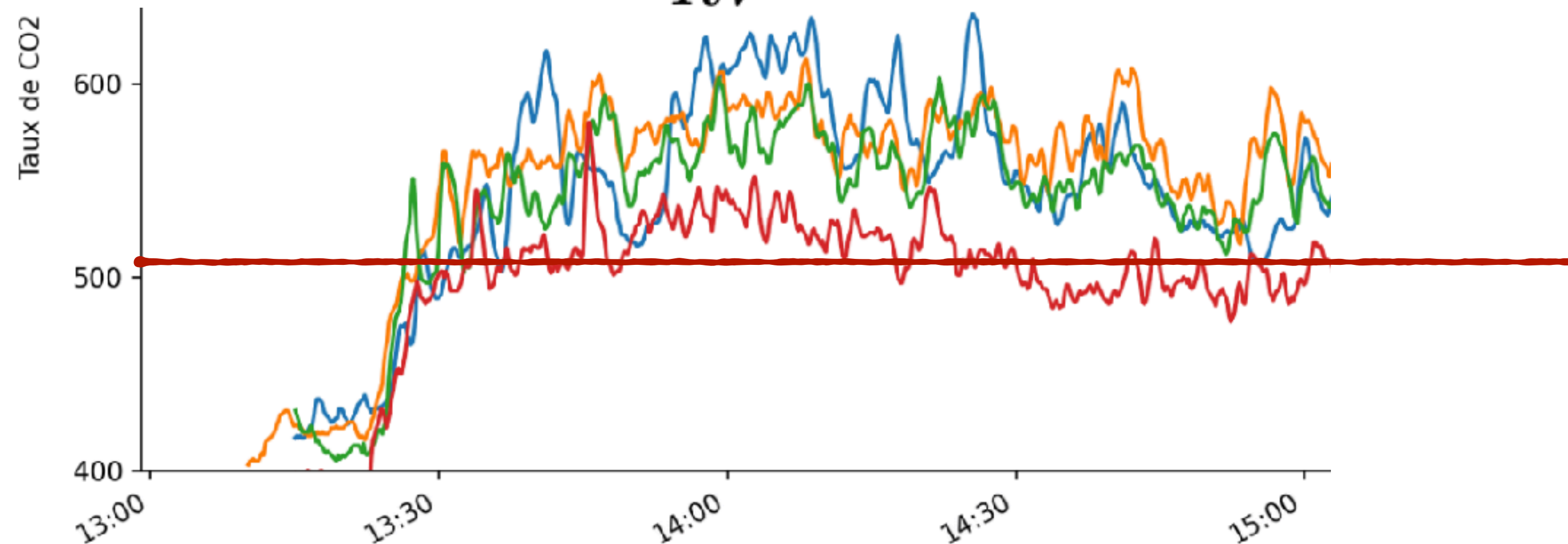
R : taux de renouvellement horaire

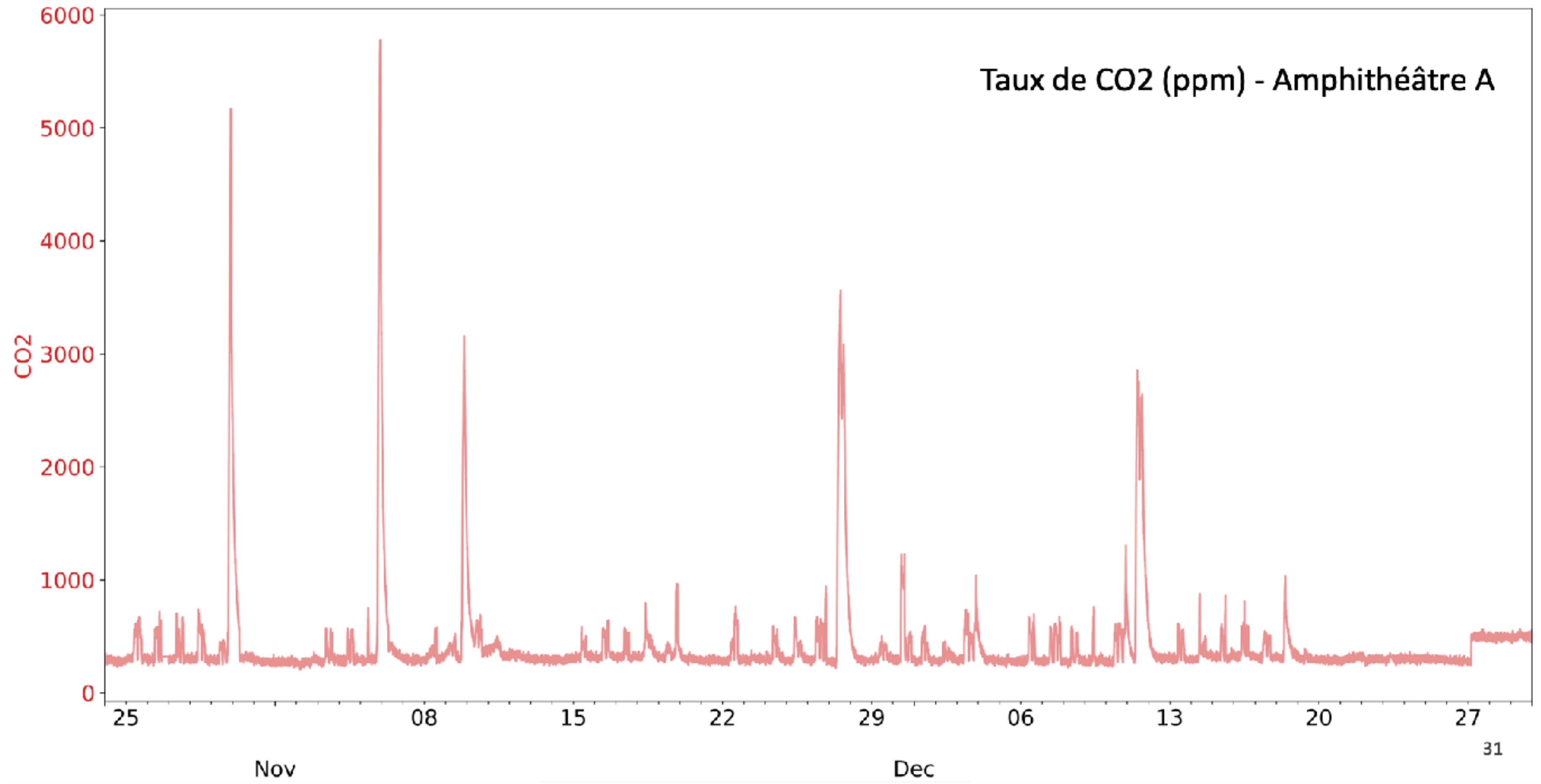
Par exemple $R = 3 \text{ h}^{-1}$ pour une salle de 100 m^3 signifie que 300 m^3 d'air extérieur rentre dans la pièce par heure.

La même quantité d'air intérieur est sortie de la pièce dans le même temps.

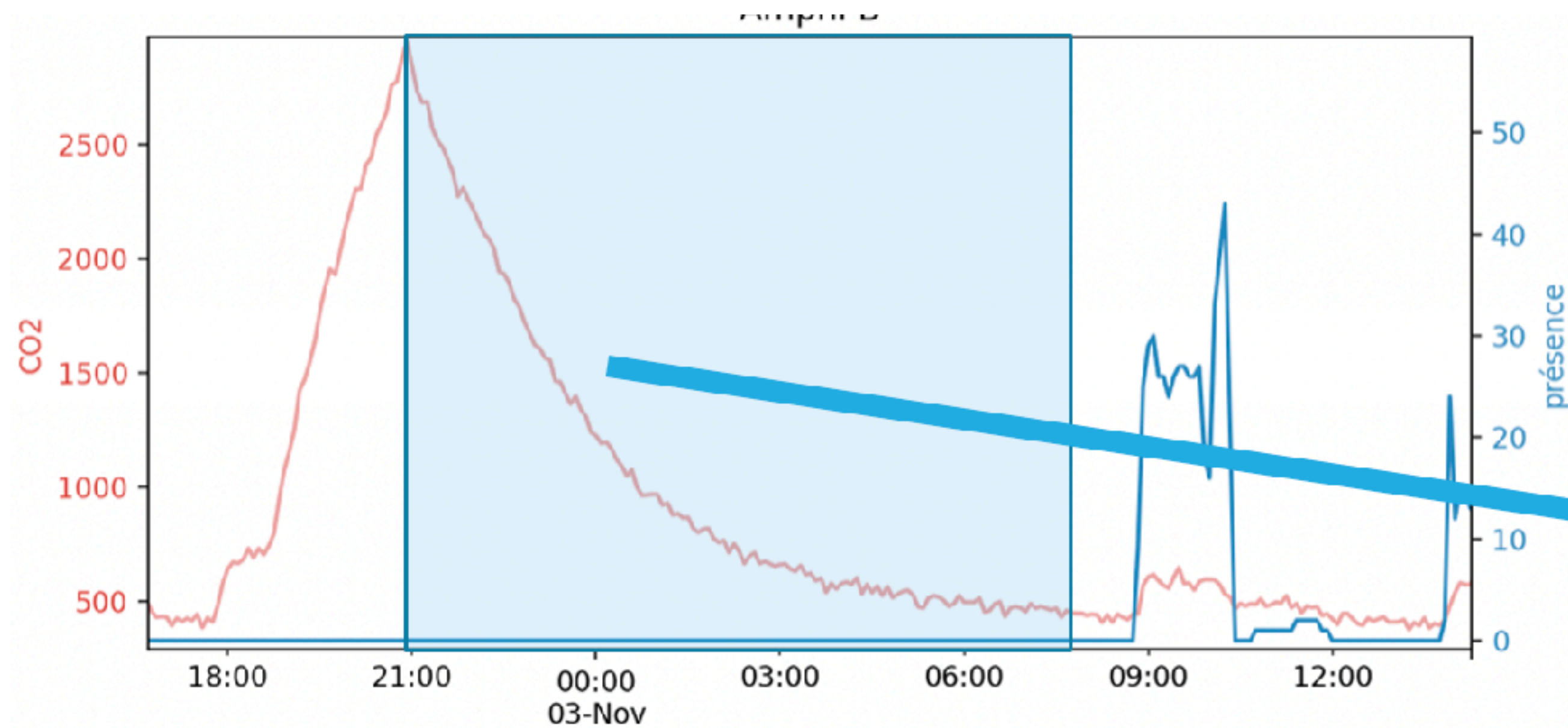
Approche « plateau » : dans des conditions d'utilisation données, pour un nombre de personnes donné, le taux de CO₂ finit par se stabiliser à une certaine valeur c_p . L'écart de c_p au taux extérieur c^{ext} est inversement proportionnel au taux de renouvellement R, plus précisément

$$c_p = c_{ext} + \frac{nF}{RV}$$





Estimation de R par ajustement exponentiel



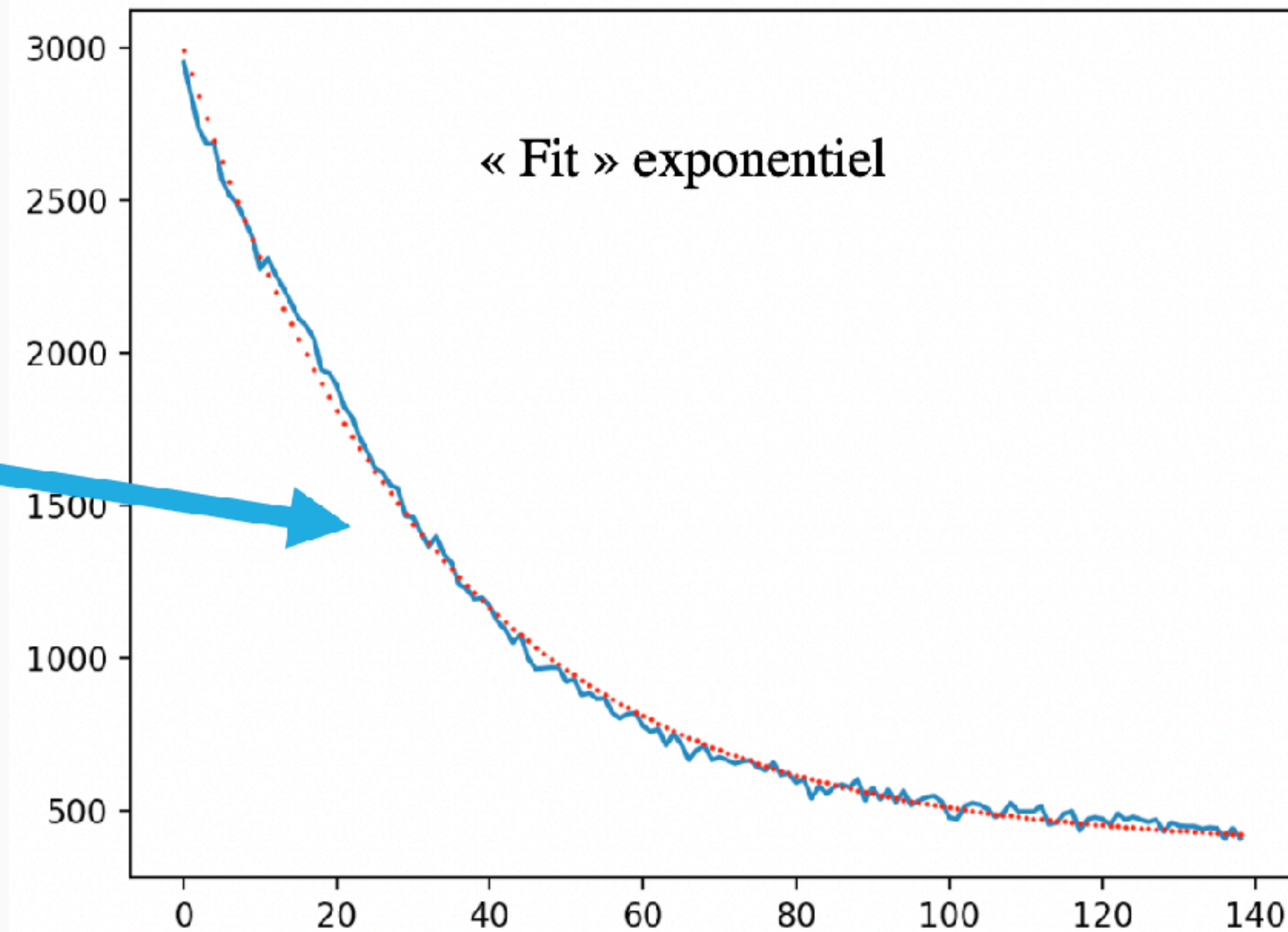
Décroissance exponentielle pendant la nuit

$$C_{\min} = 380,72$$

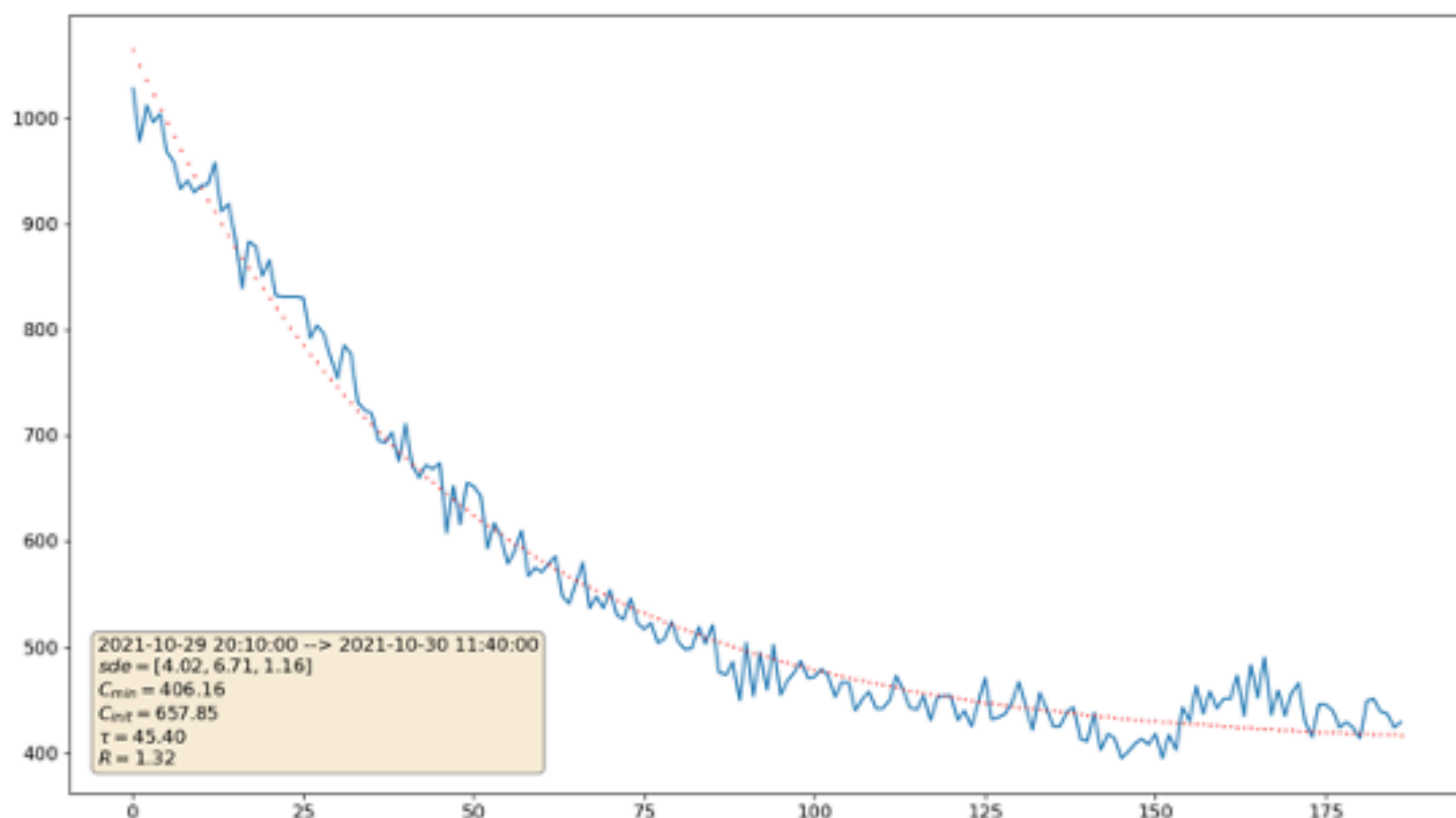
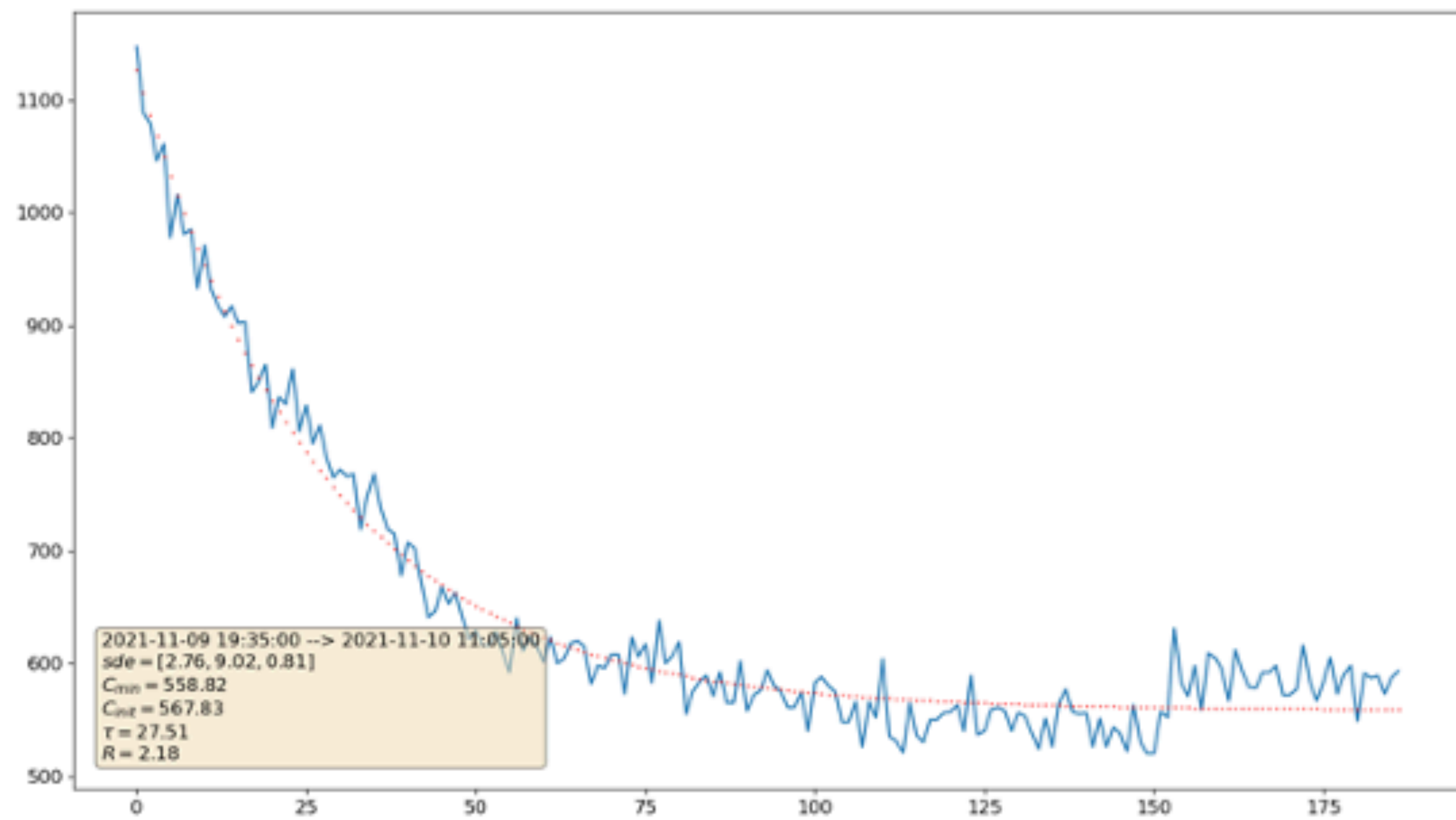
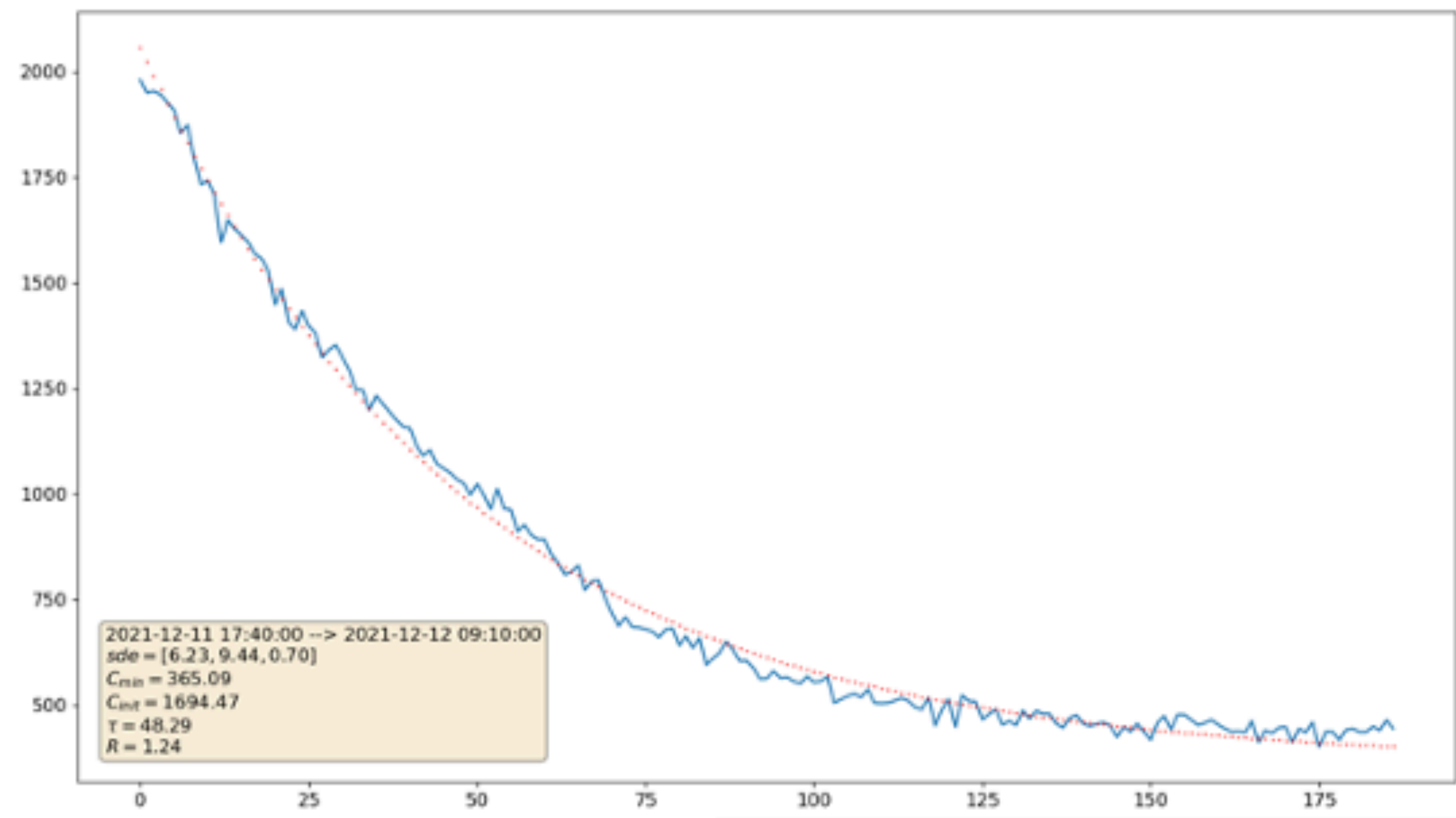
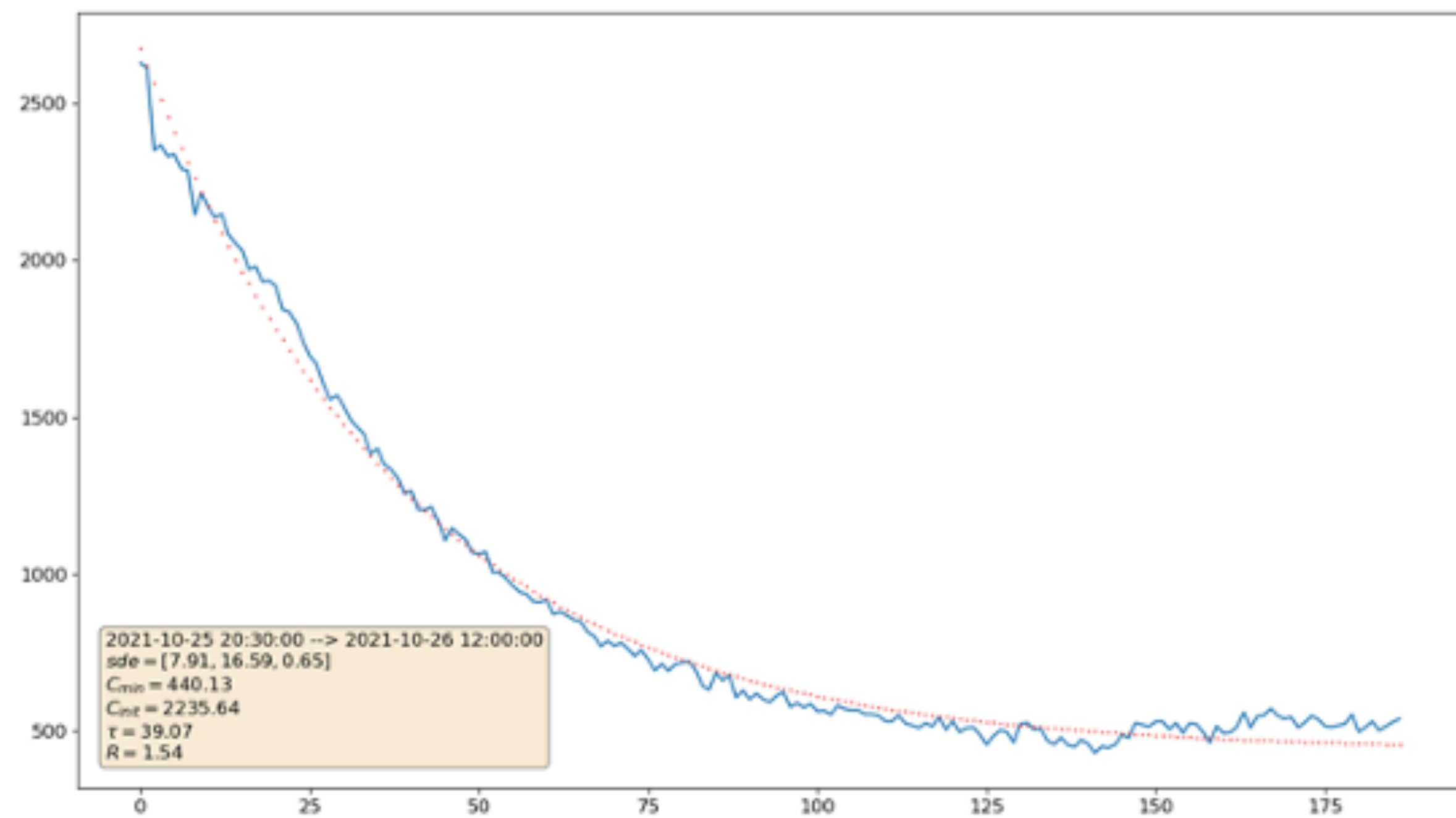
$$C_{\text{init}} = 2611$$

$$\text{Tau} = 166 \text{ mn}$$

$$R = 0.36$$



$$C(t) = C_{\text{init}} + (C_{\min} - C_{\text{init}}) * (1 - \exp(-t/\text{Tau}))$$



Exemples d'applications

1) Si on connaît R (et V), on peut estimer la jauge d'une salle assurant le maintien sous un seuil donné

Exemple : salle de TD de 165 m³

R estimé à 3 h⁻¹

Pour une valeur visée de $c_{seuil} = 800$ ppm, on trouve une jauge de

$$n = \frac{RV(c_{seuil} - c_{ext})}{F} = \frac{3 \times 165 \times 400 \times 10^{-6}}{0.02} \approx 10.$$

2) Estimation du coût énergétique marginal de l'aération

Débit d'air nécessaire, par personne, pour maintenir un taux en dessous de la valeur c_p : $RV = \frac{F}{c_p - c_{ext}}$

Coût énergétique pour chauffer l'air de 10 °C à 20 °C, pour une valeur visée de 1000 ppm :

$$\mathcal{P} = C_a \times \frac{F}{c_p - c_{ext}} \Delta T = 1.25 \text{ kJm}^{-3}\text{K}^{-1} \frac{0.02 \times 3600^{-1} \text{ Ls}^{-1}}{600 \times 10^{-6}} \times 10\text{K} \approx 115 \text{ W.}$$

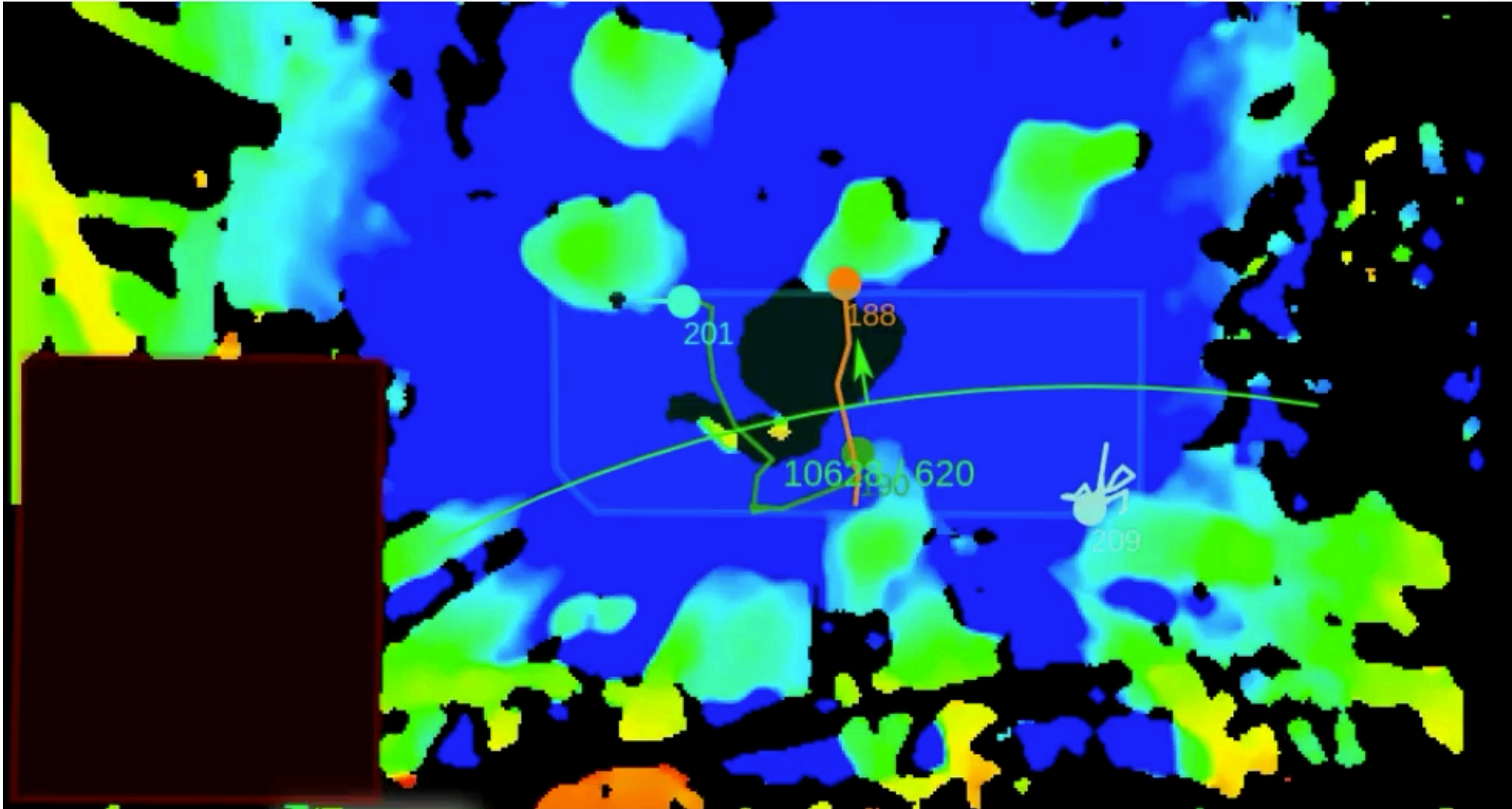
qui est approximativement la chaleur dégagée par une personne...

Carbon dioxide

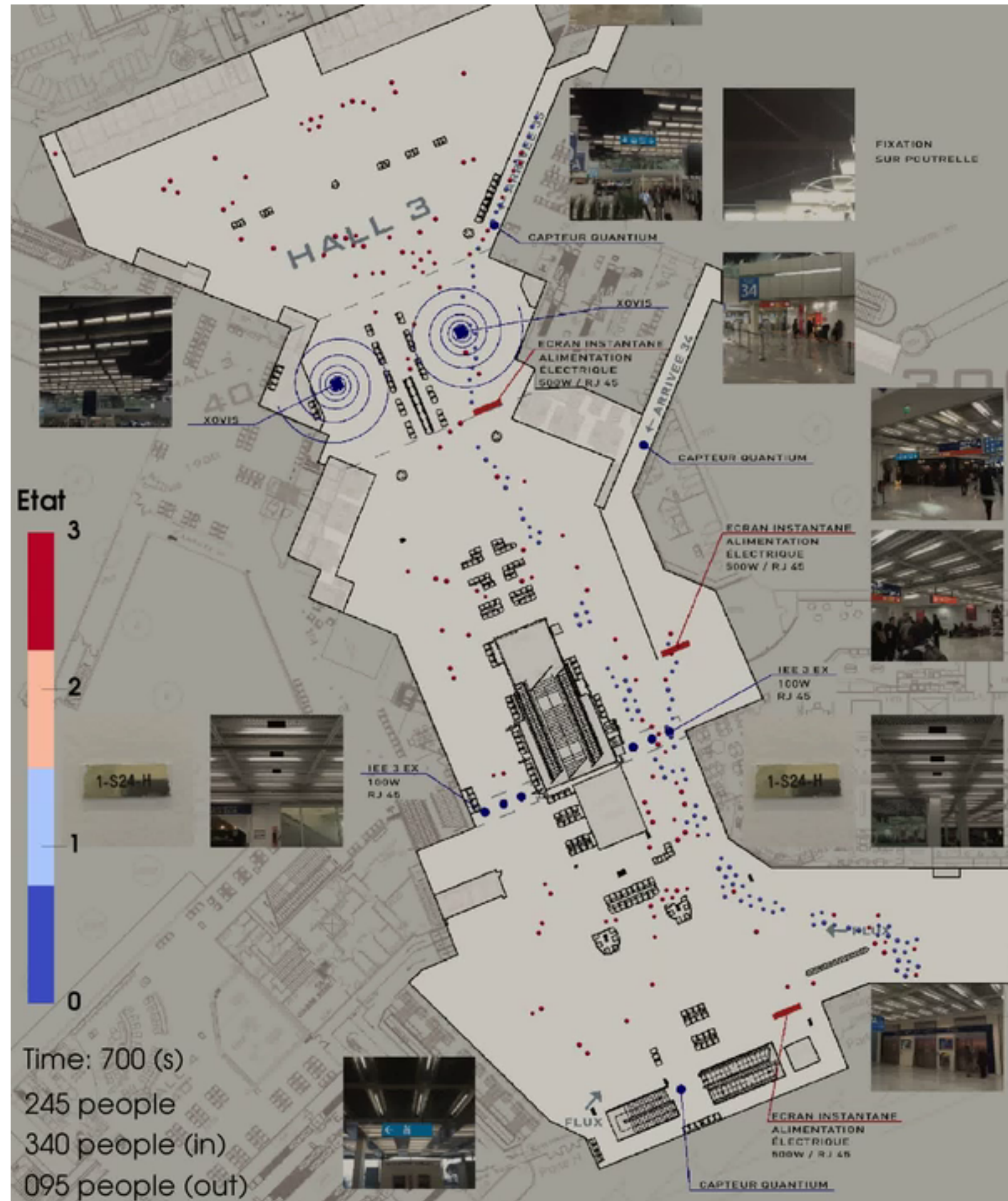
Today Yesterday 7 days



Flux piétonniers (Signactif - Eurecam)



Redirection dans les aéroports



CANTINE EDF

SORTIE DECHETS

PRODUITS D'ENTRETIEN

LOCAL E.D.C.

PRODUITS D'ENTRETIEN

CHÂTIÈRE

SALLE DE REUNION 8 Pers

Itinéraire de sortie

Salle de détente

RESERVE 1

RESERVE 2

RANGEMENT

Accès

BOISSONS
CAFES
LÉGUMES
ENTRÉES
PLAT DU JOUR N°1
PLAT DU JOUR N°2

BUREAU DU CHEF

BUREAU

BUREAU 3 postes

Salle repas n°2

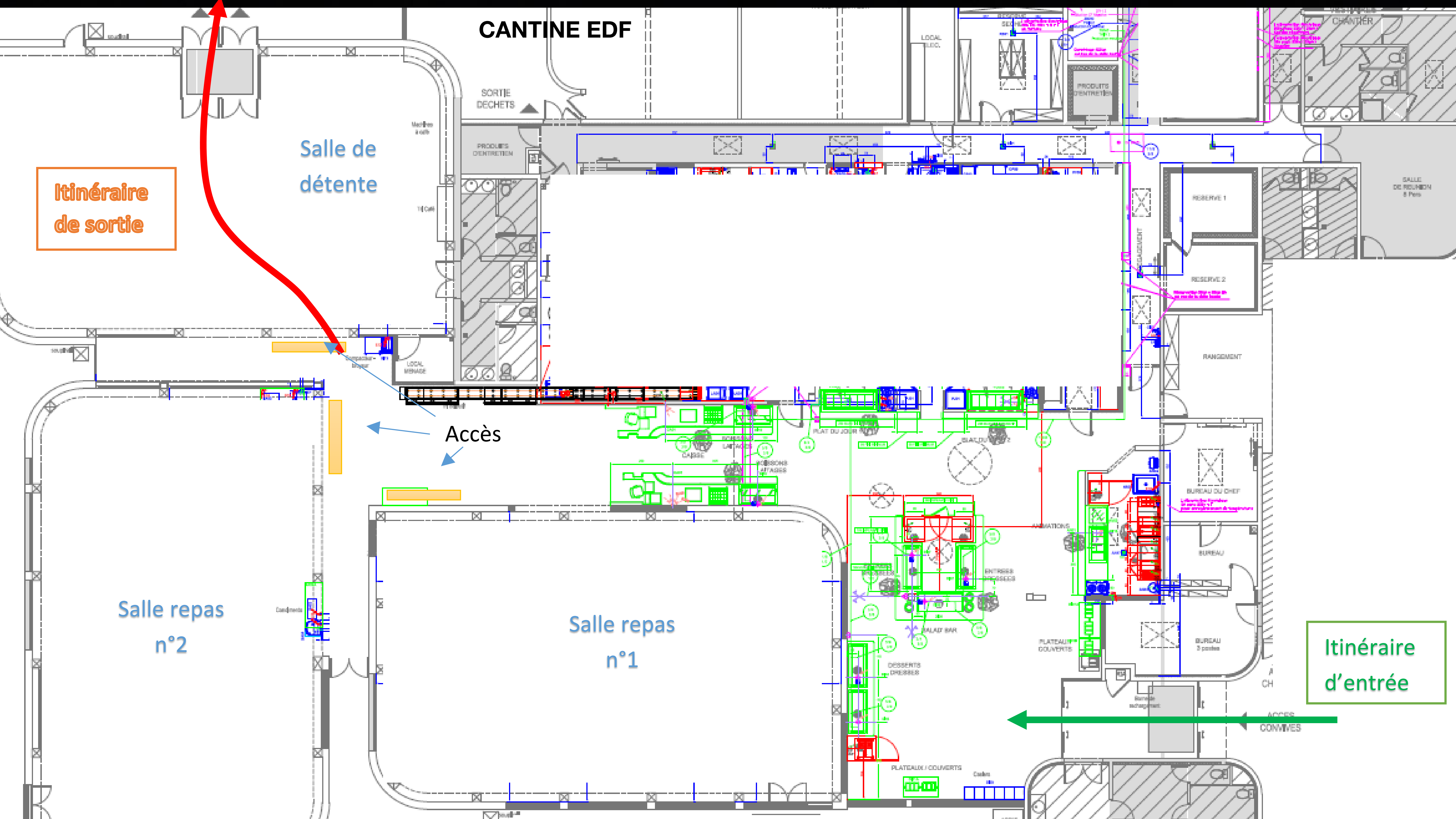
Salle repas n°1

Itinéraire d'entrée

ACCES CONVIVES

PLATEAUX COUVERTS

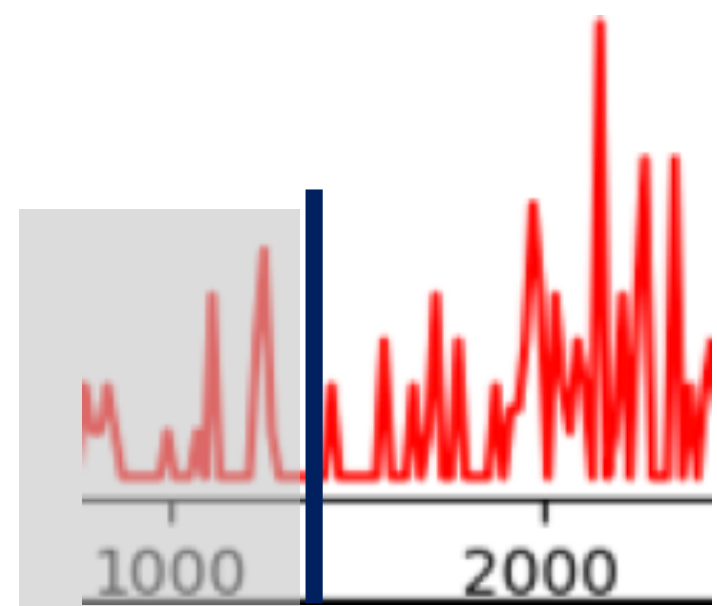
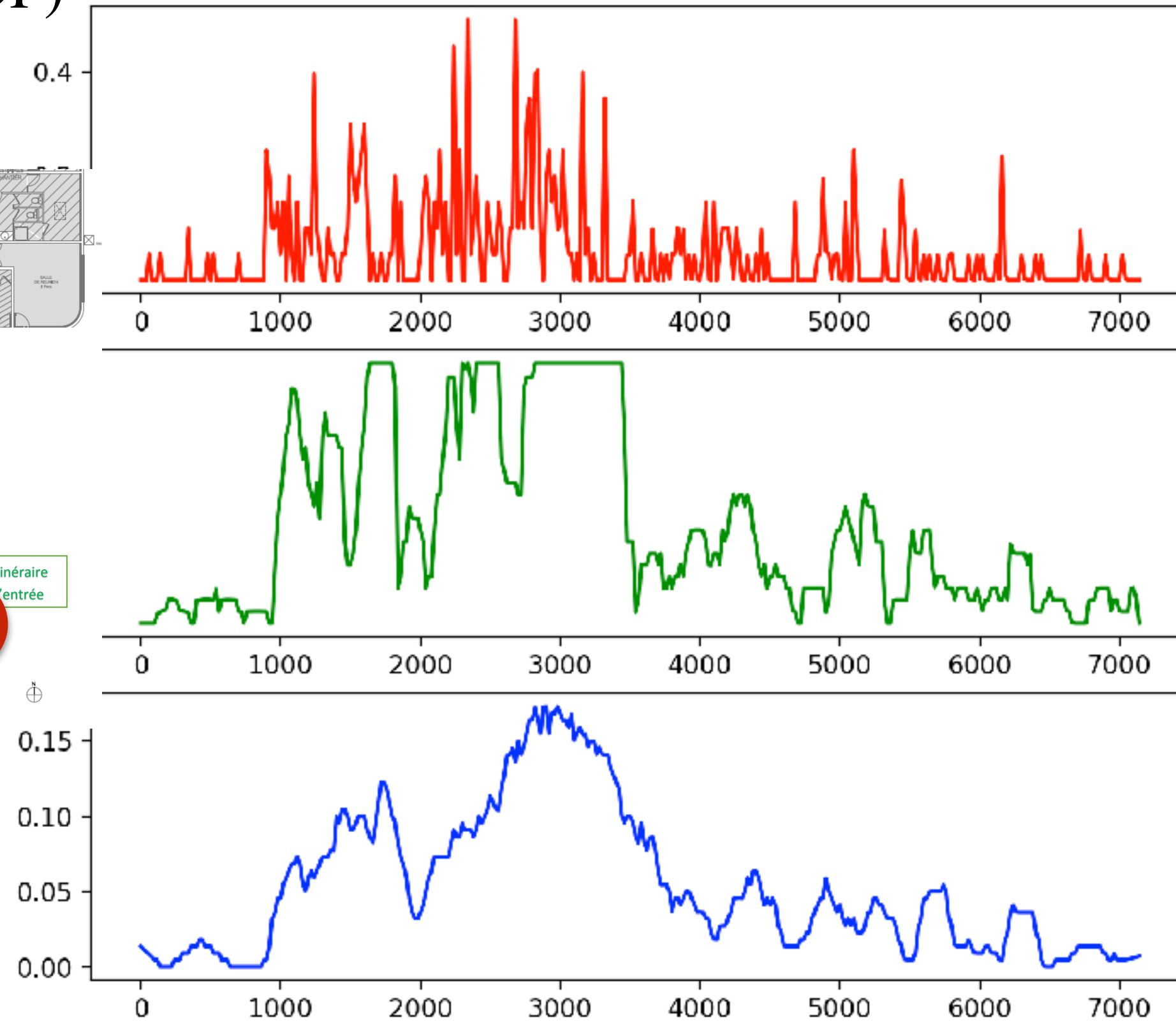
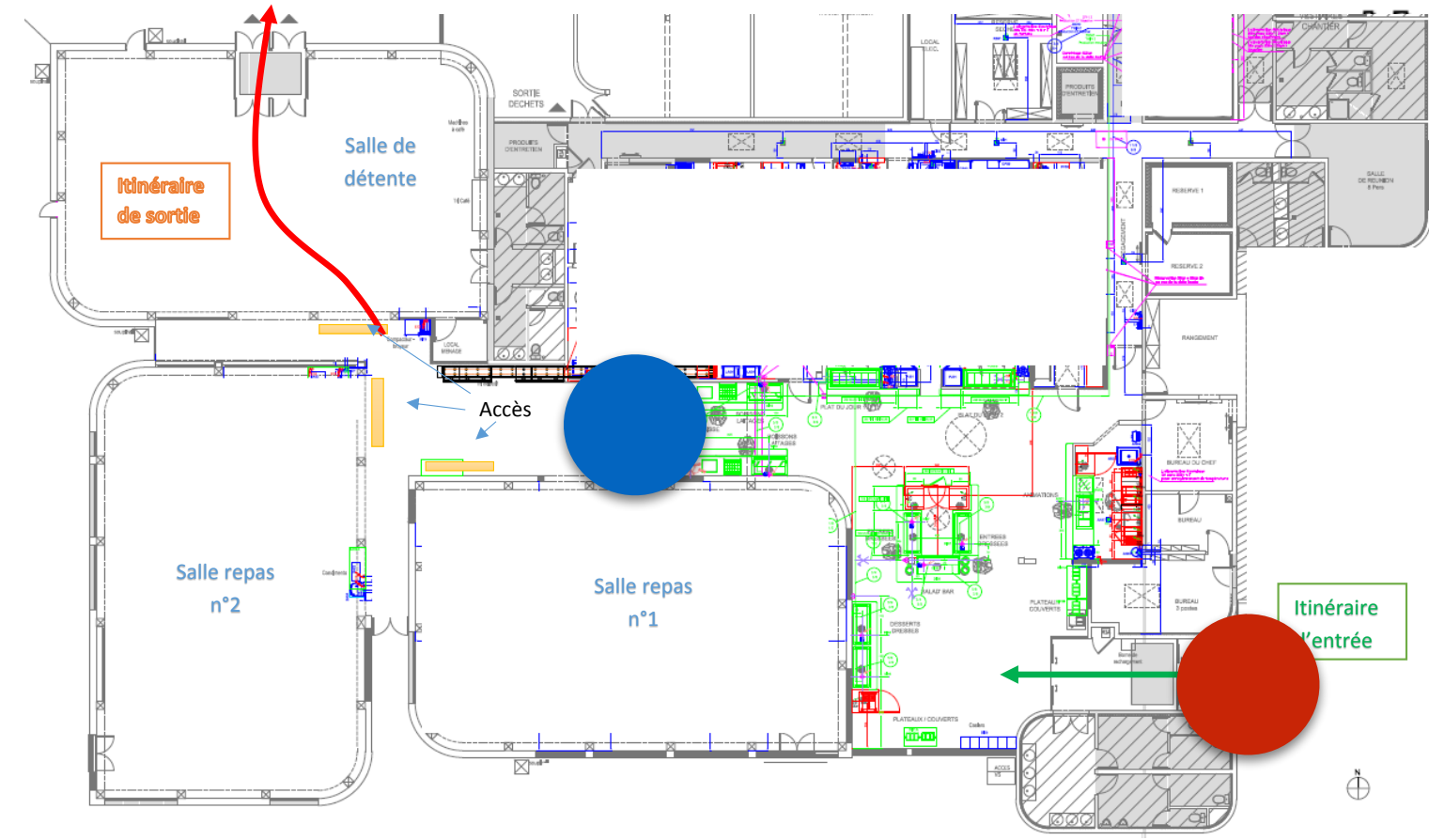
CASHIER



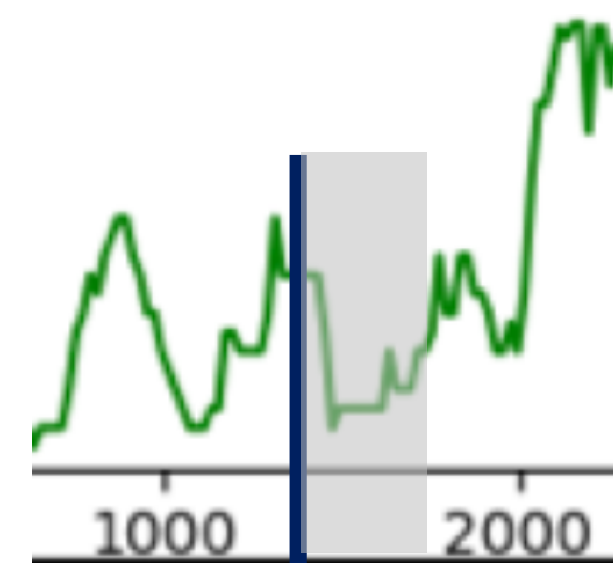
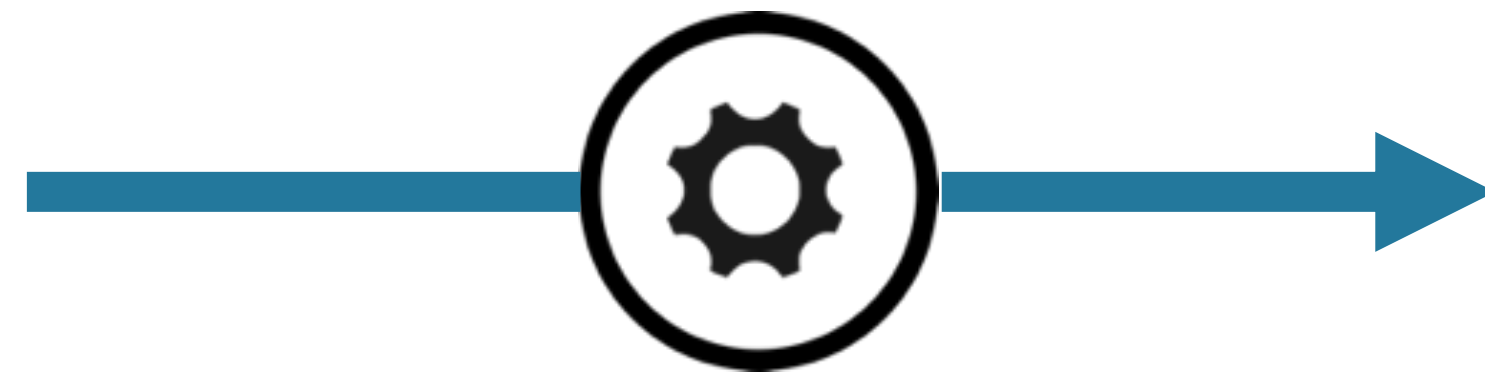
Contexte industriel : cafeteria (EDF)

From 2018-09-11 11:30:00 to 2018-09-11 13:30:00
Ntot = 371.99999999999994

Plan général du restaurant et accès entrée sortie

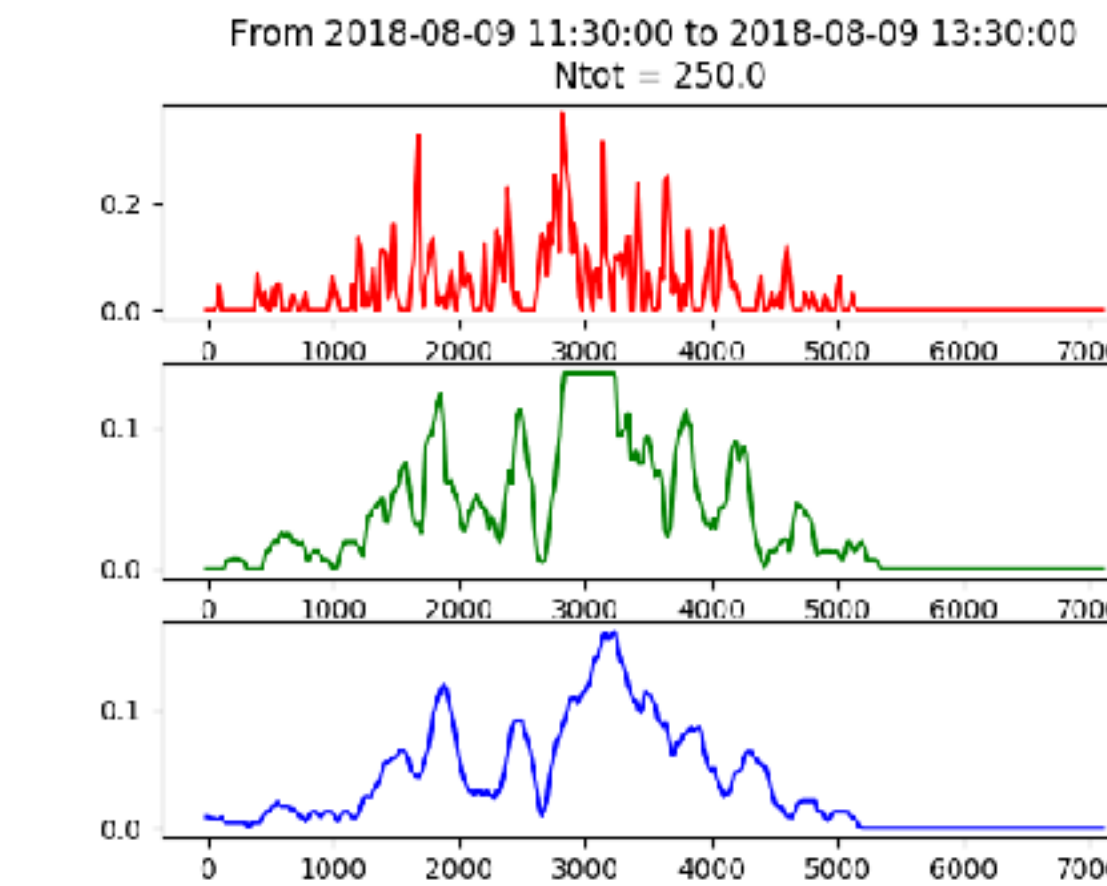
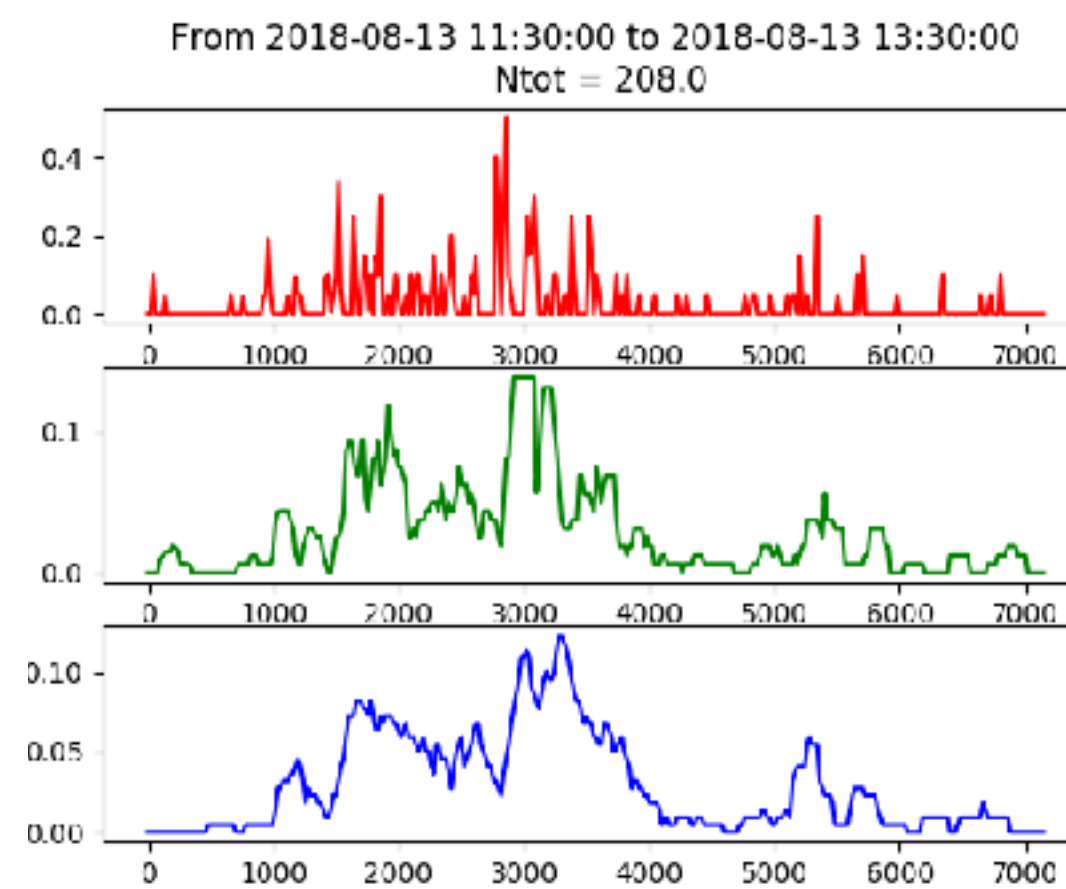
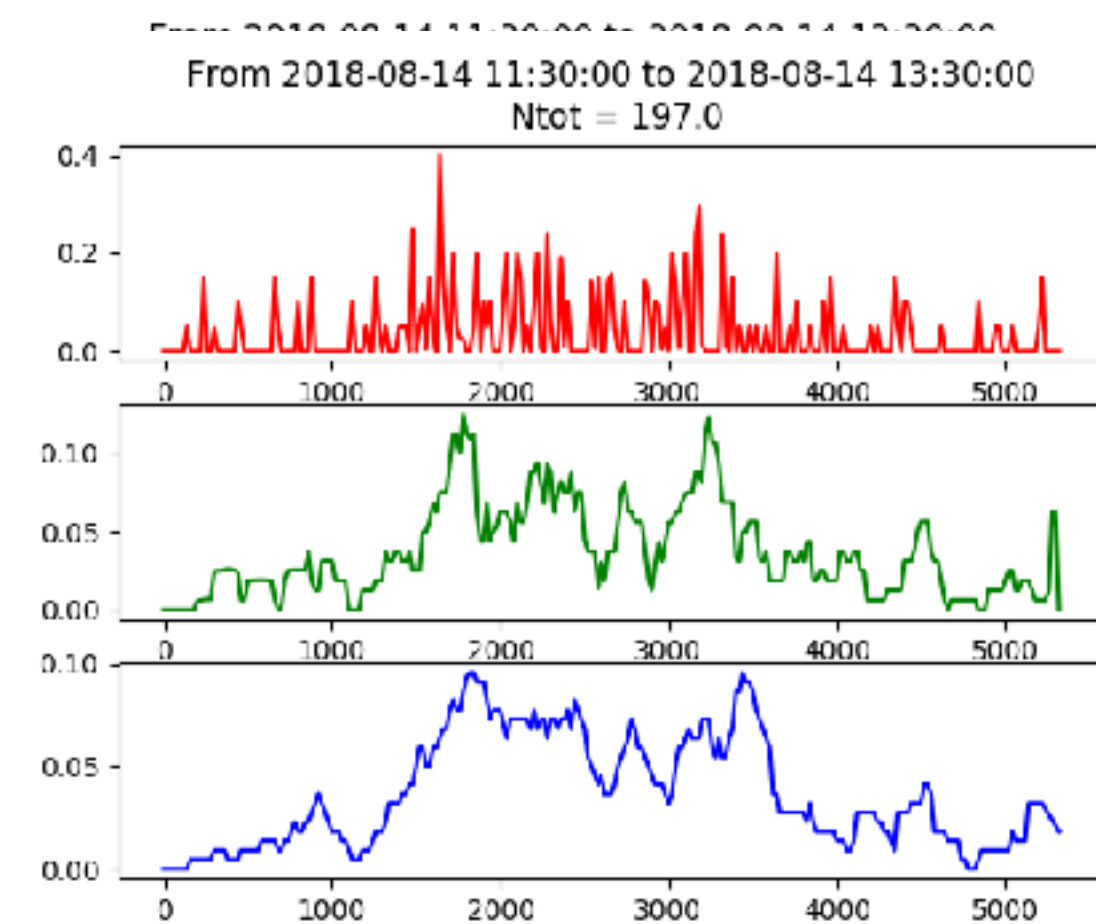
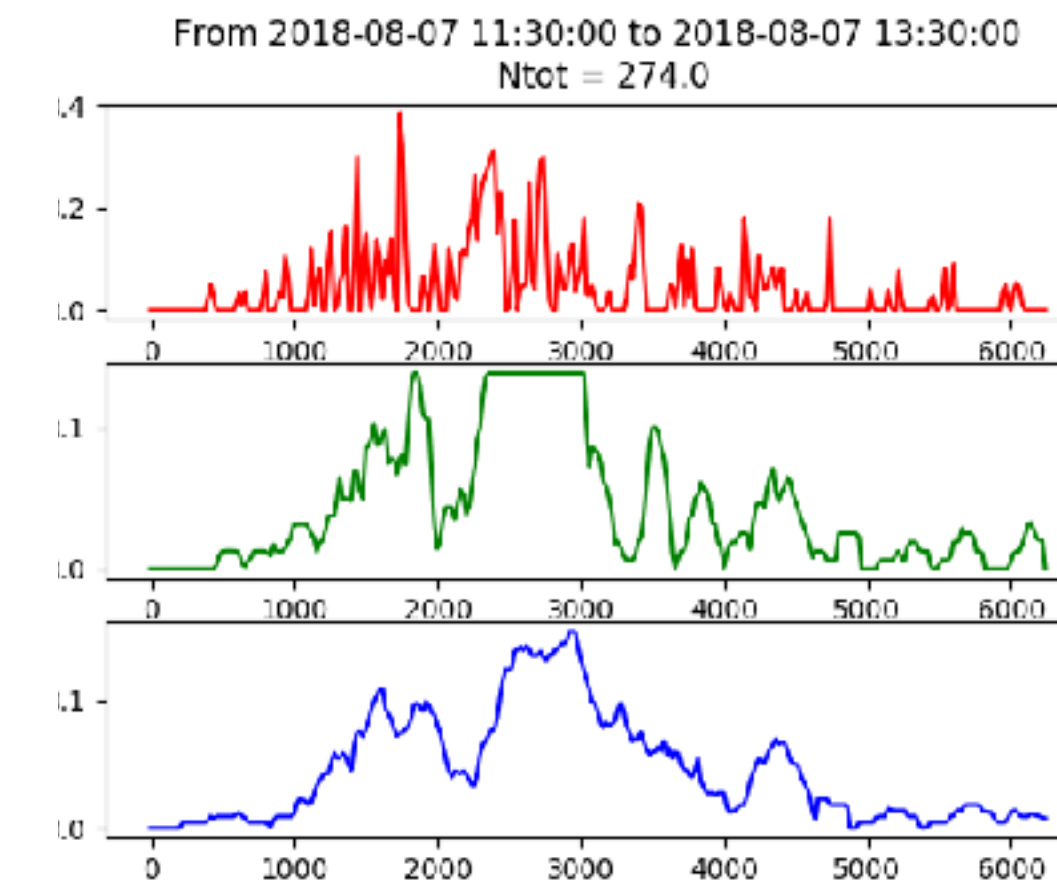
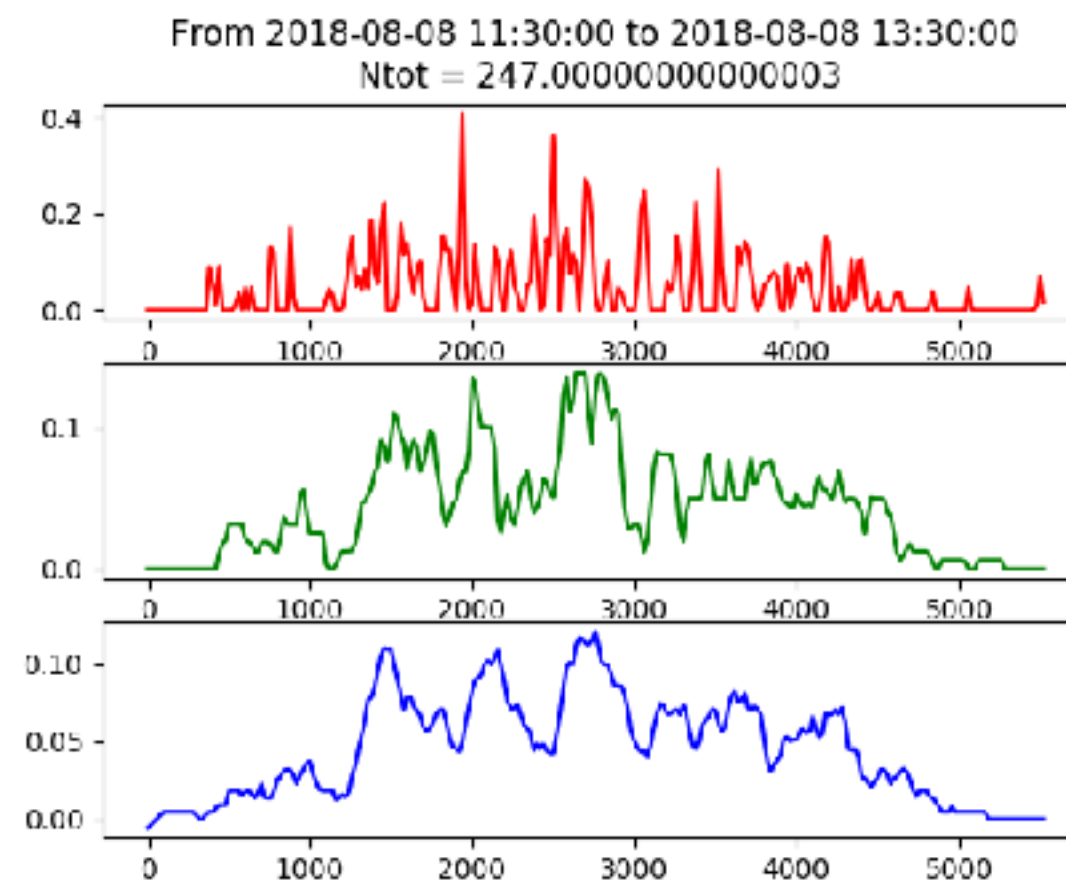
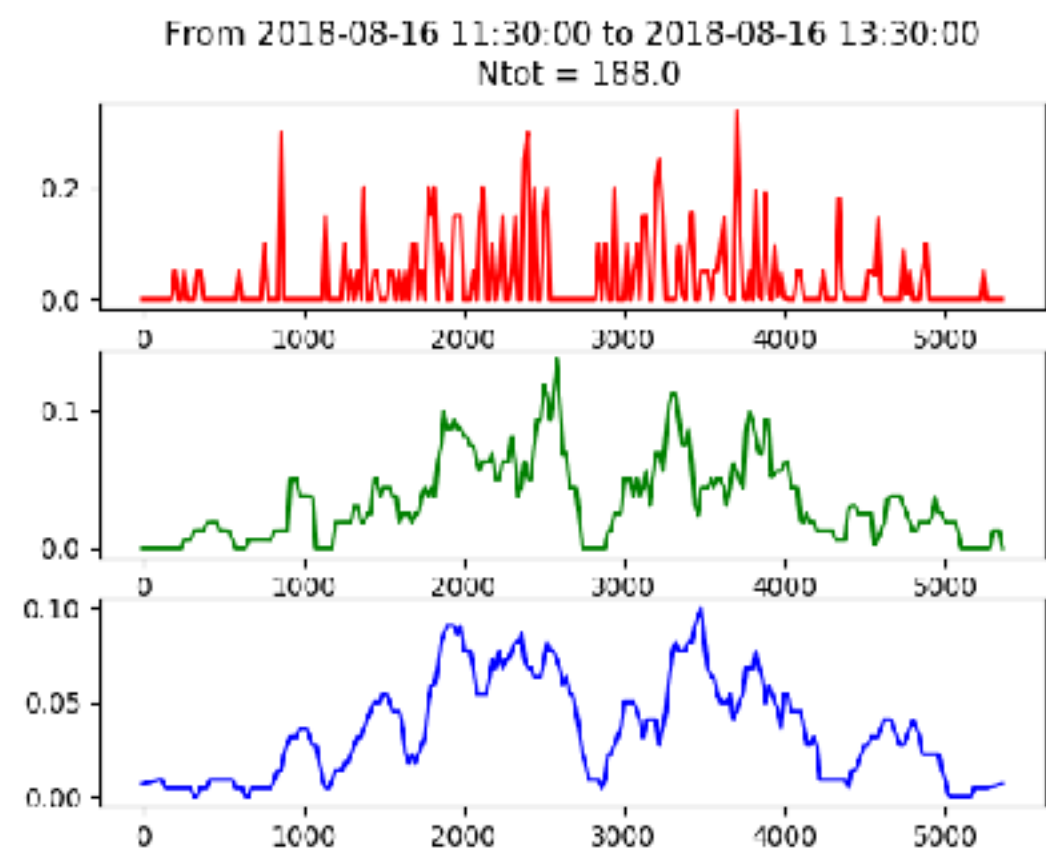


Mesuré

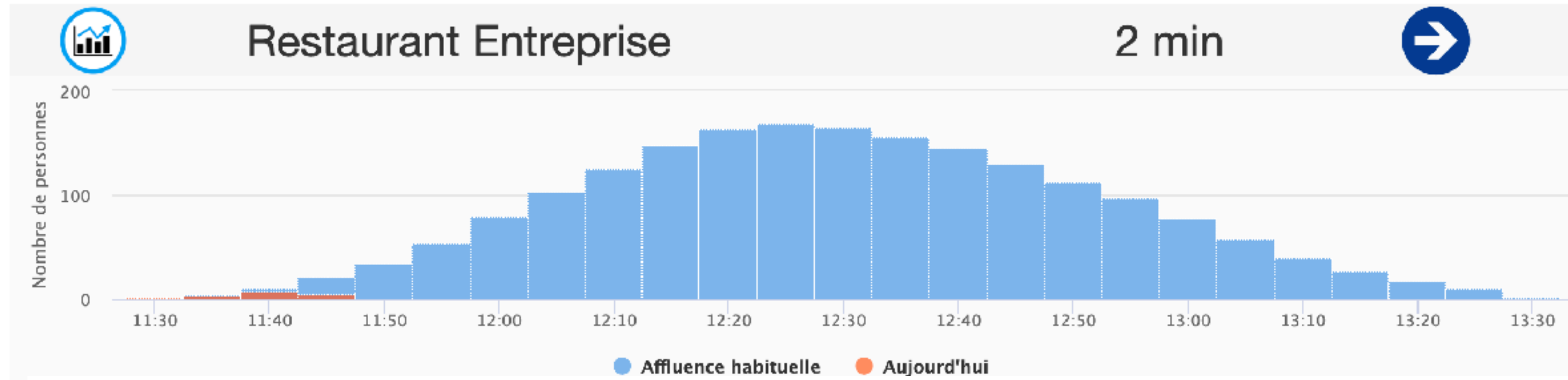


Prédit

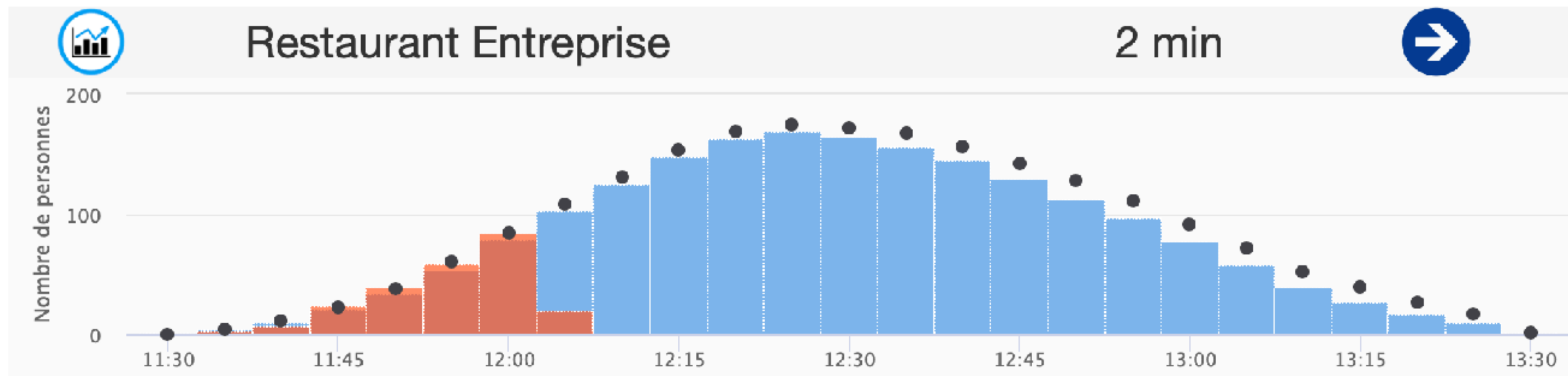
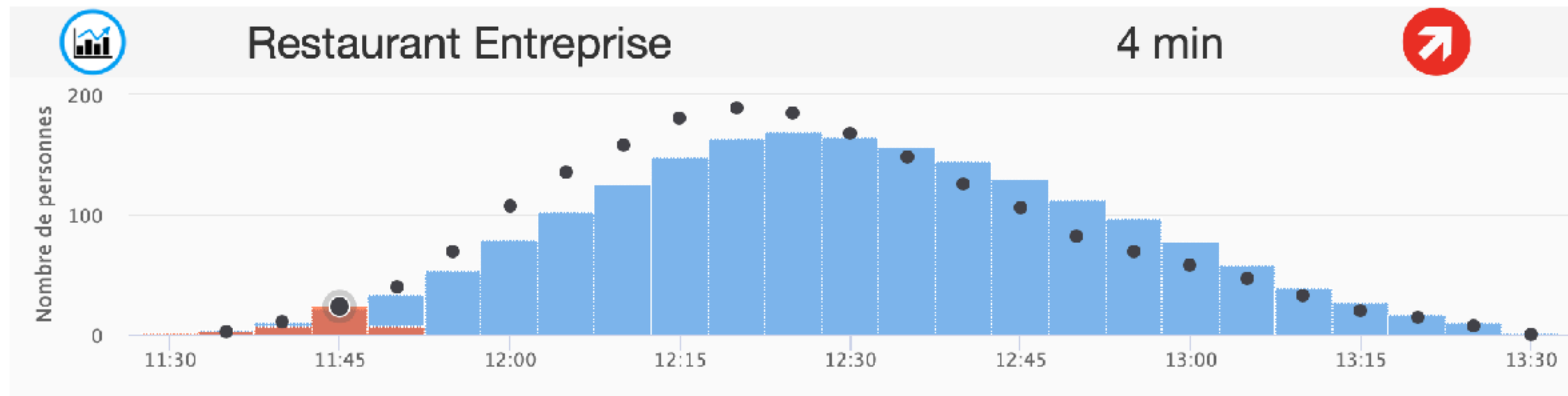
Contexte industriel : cafeteria (EDF)



Attente estimée le jeudi 7 février 2019 à 11h47



Attente estimée le jeudi 7 février 2019 à 11h51





Prediction (based on accumulated data)



Flux piétonnier (Signactif - Eurecam)

