

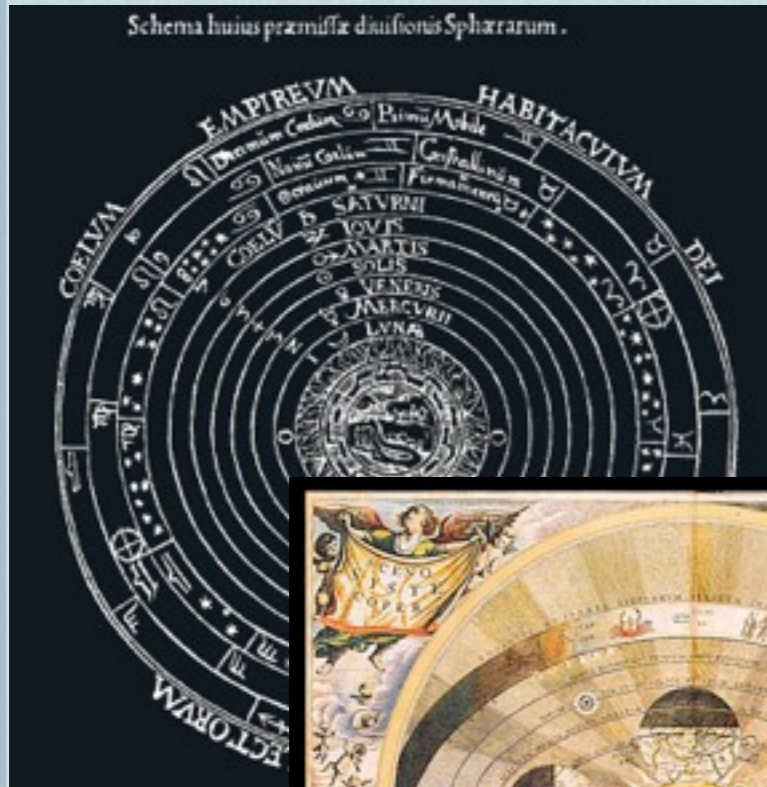
Université Européenne de Bretagne - UBO - Brest

L'informatique au coeur des sciences

Application à la biologie

Pascal BALLET
pascal.ballet@univ-brest.fr

Qu'est-ce que la science ?



Géo-centré
Aristote (-384, -322)
Ptolémé (90-168)



Hélio-centré
(Copernic 1473-1543)

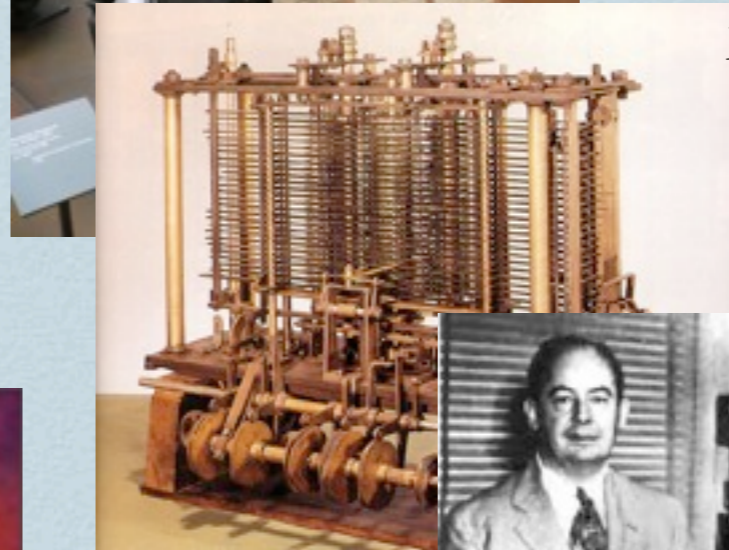
Big-Bang
Friedmann (1888-1925)



Explique comment fonctionne le monde

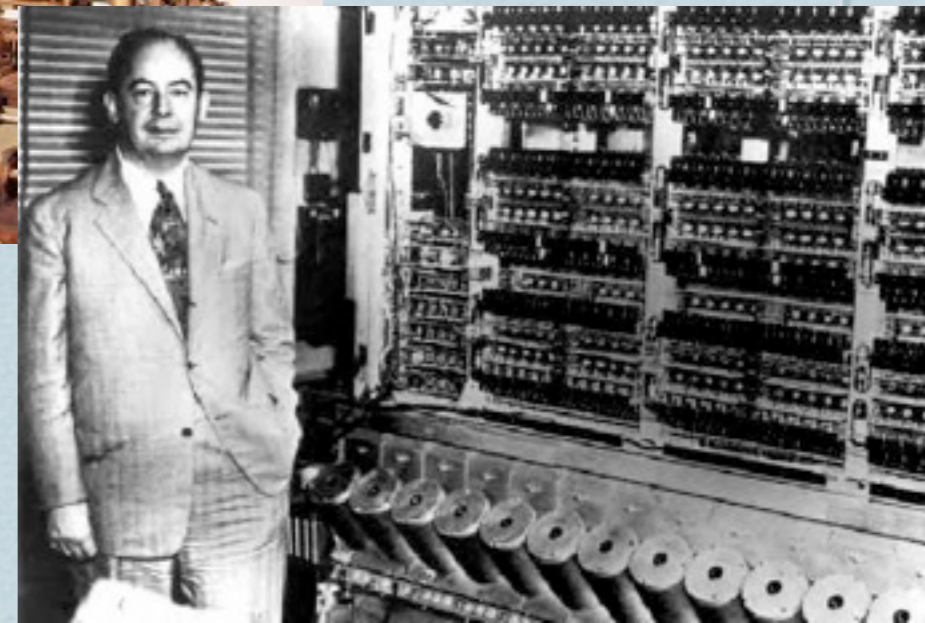


Métier à tisser Jacquard (1801)



Machine de Babagge (1821)

L'ENIAC (1946)



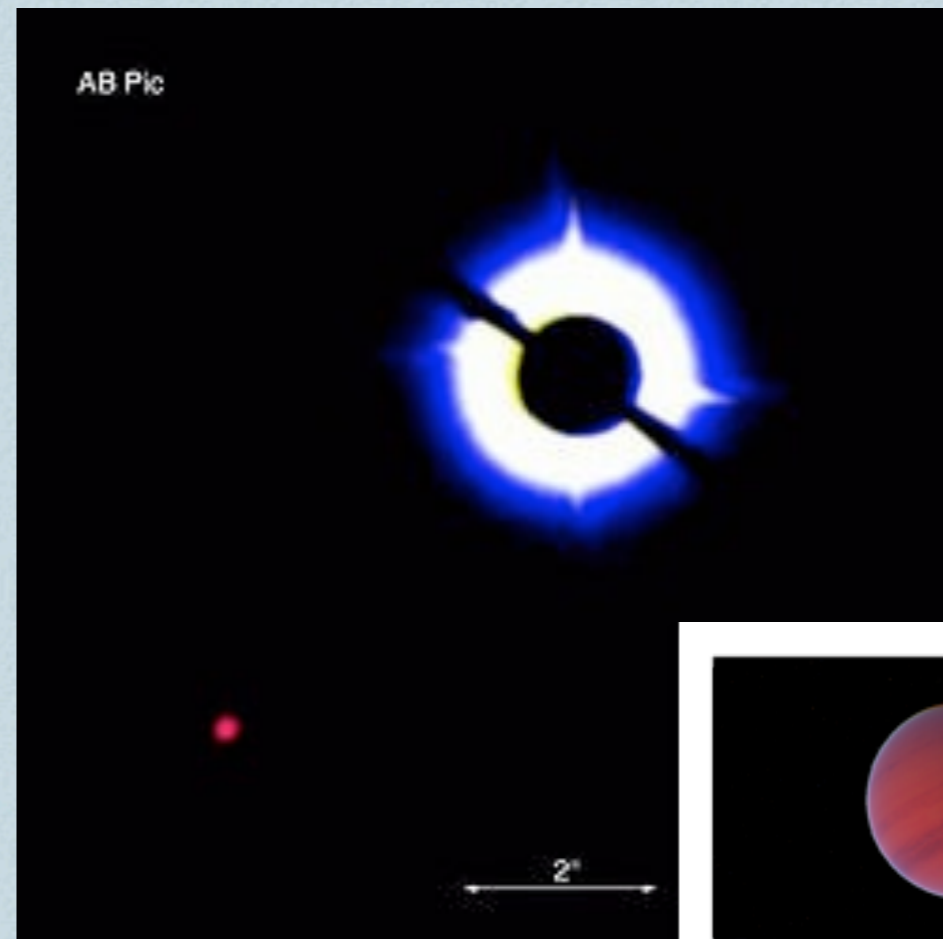
Explique comment faire des objets qui fonctionnent

Introduction

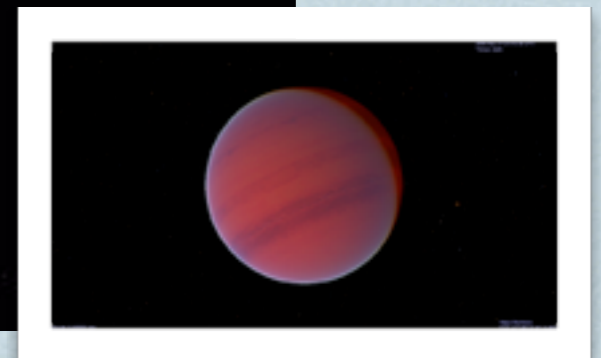
- ❖ Quelques défis actuels dans les sciences
- ❖ Cosmologie et astrophysique : matière sombre, exoplanètes



85% de la matière de l'univers est de nature inconnue (non baryonique)



Etoile AB-pictoris et une planète

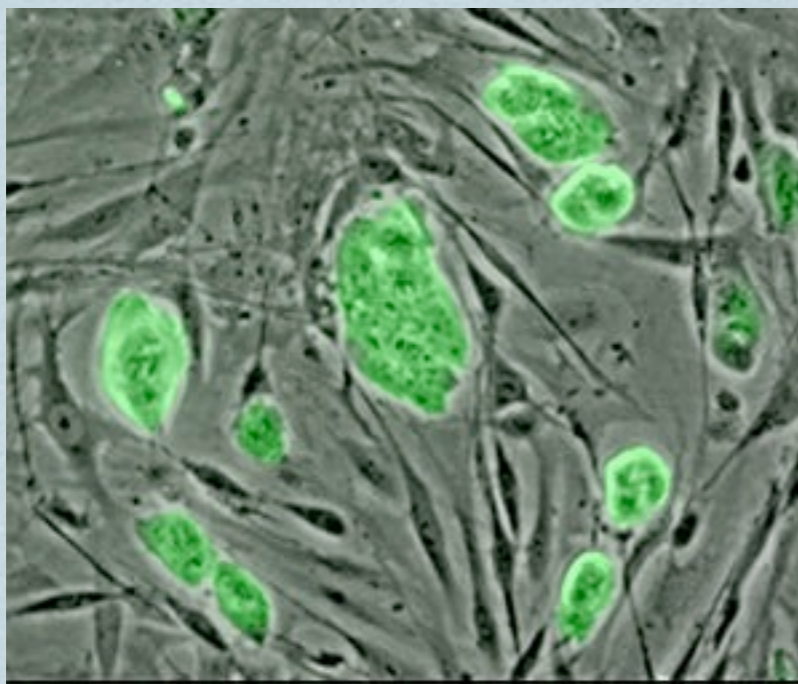


Vue d'artiste (modèle)

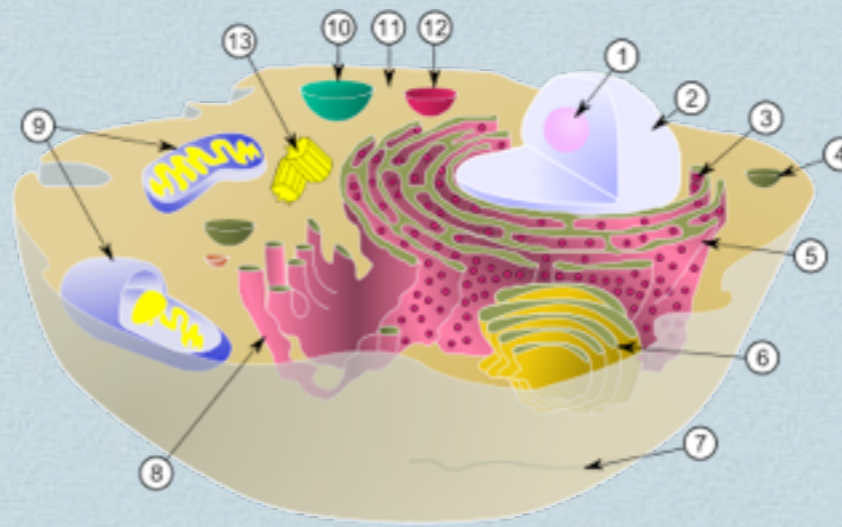
Traitement d'images + traitement des données

Introduction

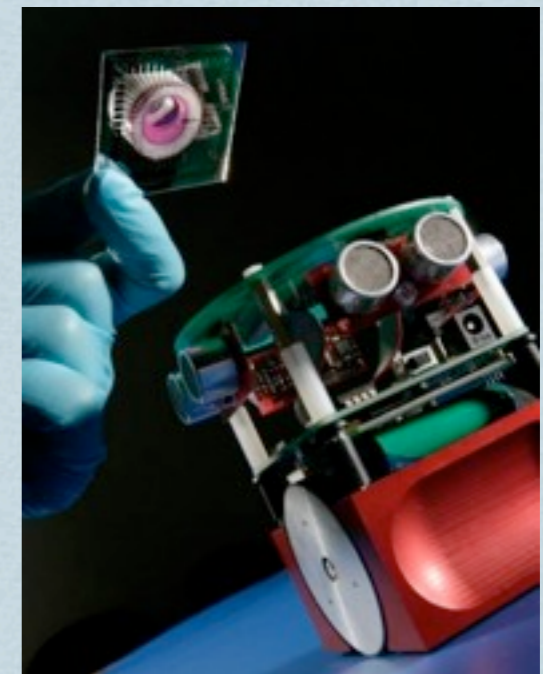
- ❖ Quelques défis actuels dans les sciences
- ❖ Biologie et médical : cellules souches, création de cellules et d'organismes



Cellules souches de souris



Comprendre la cellule pour
la construire de toutes
pièces

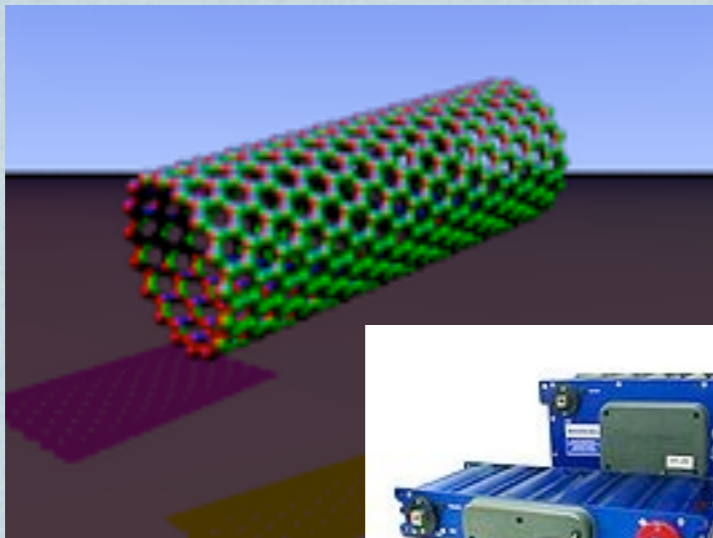


Robot guidé par des
neurones de rat

Bio-informatique + biologie computationnelle

Introduction

- ❖ Quelques défis actuels dans les sciences
- ❖ Nanotechnologie : nano-batteries, médicaments, nanorobots



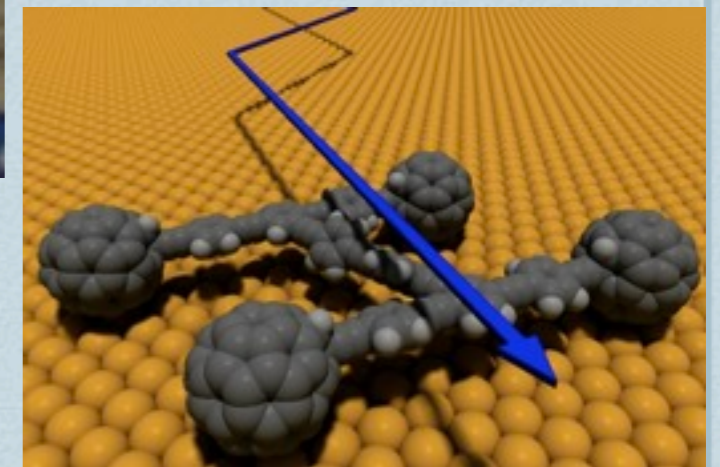
Batteries et nano tubes de carbone :
10 fois plus performantes



Nano particules
magnétiques pour le
traitement des cancers



Nano Engrenage



Nano Voiture

Simulation de la matière

Introduction

- ❖ Quelques défis actuels dans les sciences
- ❖ Robotique : médical, renforcement, domestique



Azimo, un robot humanoïde



Un exosquelette



Un robot tondeuse

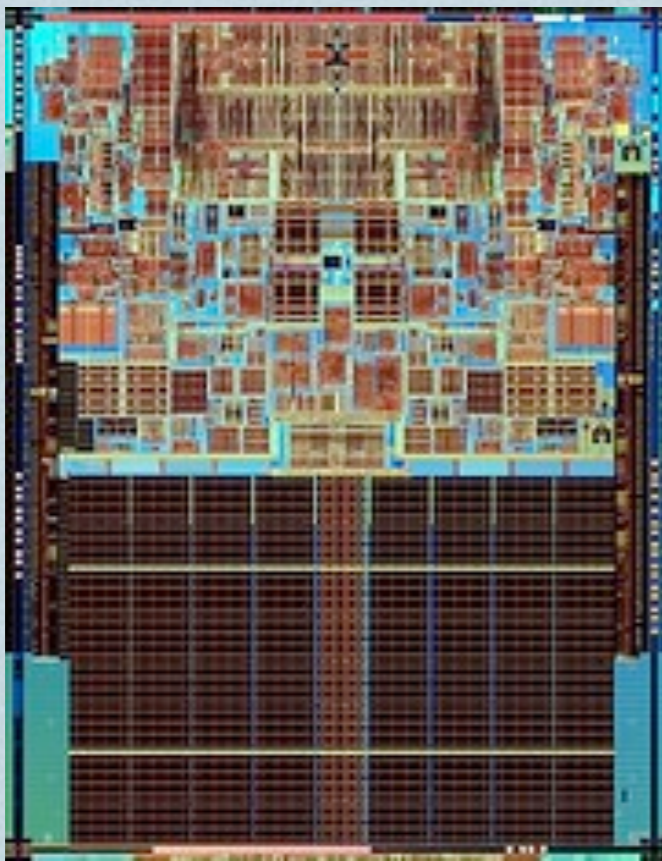


Opportunity, un robot explorateur

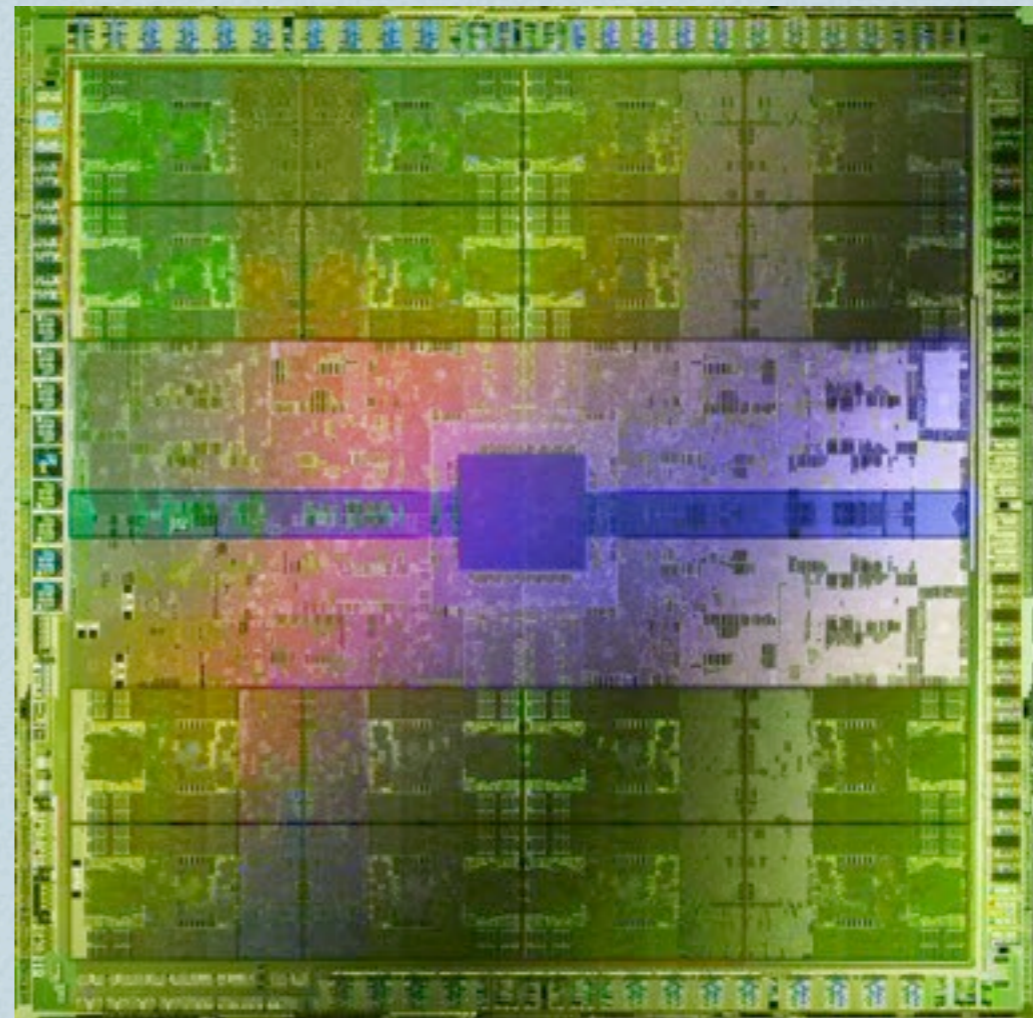
Control des moteurs + IA

Introduction

- ❖ Quelques défis actuels dans les sciences
- ❖ Electronique : microprocesseurs multi-coeurs



Intel dual core, 2 coeurs

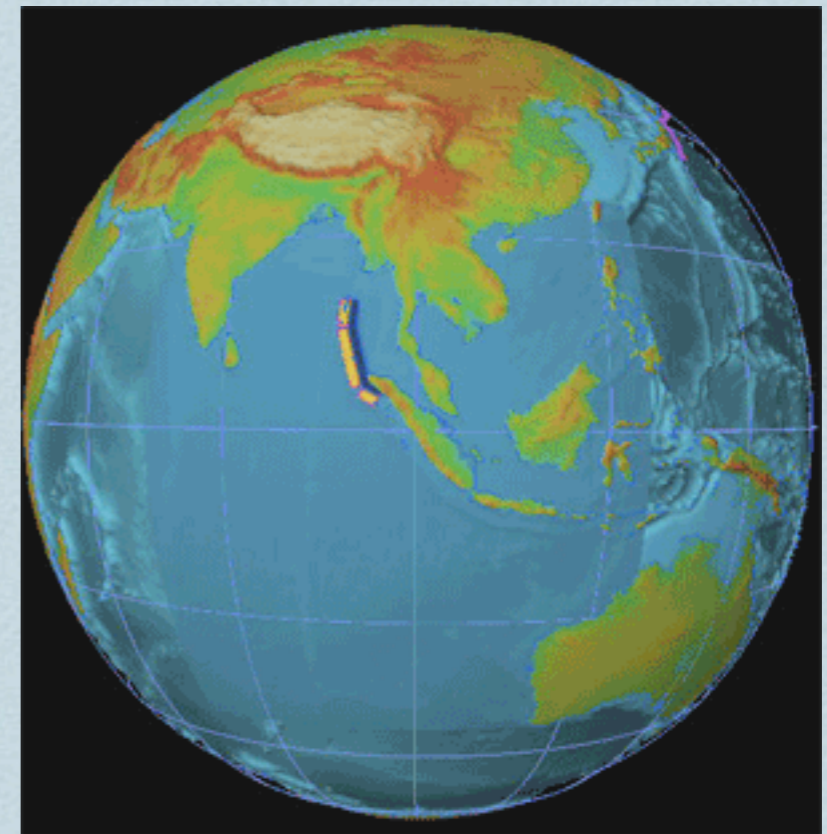


nVidia, carte Fermi, 1000 coeurs

Programmation parallèle

Introduction

- ❖ Quelques défis actuels dans les sciences
- ❖ Informatique : sécurité, simulations de systèmes complexes

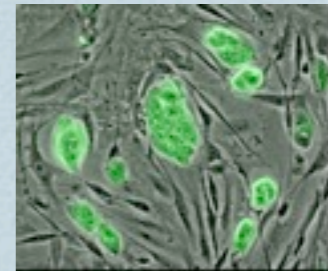


Comprendre et prévoir le complexe:
météo, tsunamis, réseaux de
transport, épidémies...

Réalisation de programmes fiables

Introduction

- ❖ 2 grandes approches en sciences
 - ❖ Etudier l'existant pour le comprendre et le contrôler
 - ❖ Créer de toutes pièces des objets pour réaliser des tâches
-
- ❖ Dans les faits, ces 2 approches sont souvent imbriquées



L'informatique est présente dans les deux

Démarche de compréhension

- ❖ Comment comprenons-nous le monde qui nous entoure ?

Démarche de compréhension

- ❖ Comment comprenons-nous le monde qui nous entoure ?



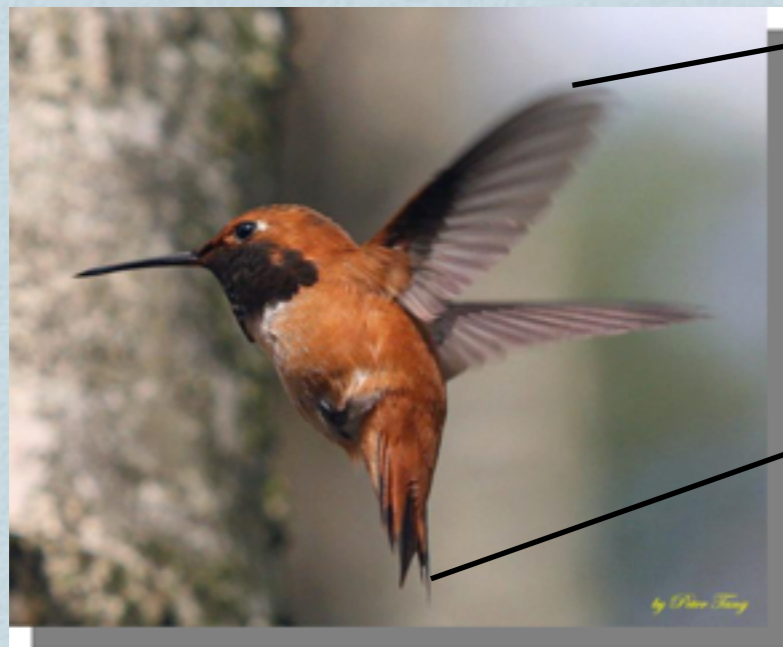
Démarche de compréhension

- ❖ Comment comprenons-nous le monde qui nous entoure ?



Démarche de compréhension

- ❖ Comment comprenons-nous le monde qui nous entoure ?



Création de modèles

- ❖ Comment partageons-nous avec les autres ce que l'on a compris ?

- ❖ Pour bien partager, il faut un langage commun, si possible simple et avec peu d'ambiguïté (par ex. mathématique ou informatique).

Création de modèles

- ❖ Comment partageons-nous avec les autres ce que l'on a compris ?



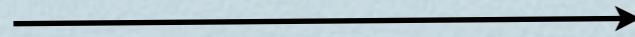
- ❖ Pour bien partager, il faut un langage commun, si possible simple et avec peu d'ambiguïté (par ex. mathématique ou informatique).

Création de modèles

- ❖ Comment partageons-nous avec les autres ce que l'on a compris ?



Dessin, schéma,
maquette, équation,
algorithme, histoire, etc



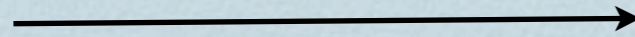
- ❖ Pour bien partager, il faut un langage commun, si possible simple et avec peu d'ambiguïté (par ex. mathématique ou informatique).

Création de modèles

- ❖ Comment partageons-nous avec les autres ce que l'on a compris ?



Dessin, schéma,
maquette, équation,
algorithme, histoire, etc



Description schématique

- ❖ Pour bien partager, il faut un langage commun, si possible simple et avec peu d'ambiguïté (par ex. mathématique ou informatique).

Citations

Citations



« La réalité est trop complexe,
nous ne pouvons en voir qu'une
approximation »

John Von Neumann

Citations

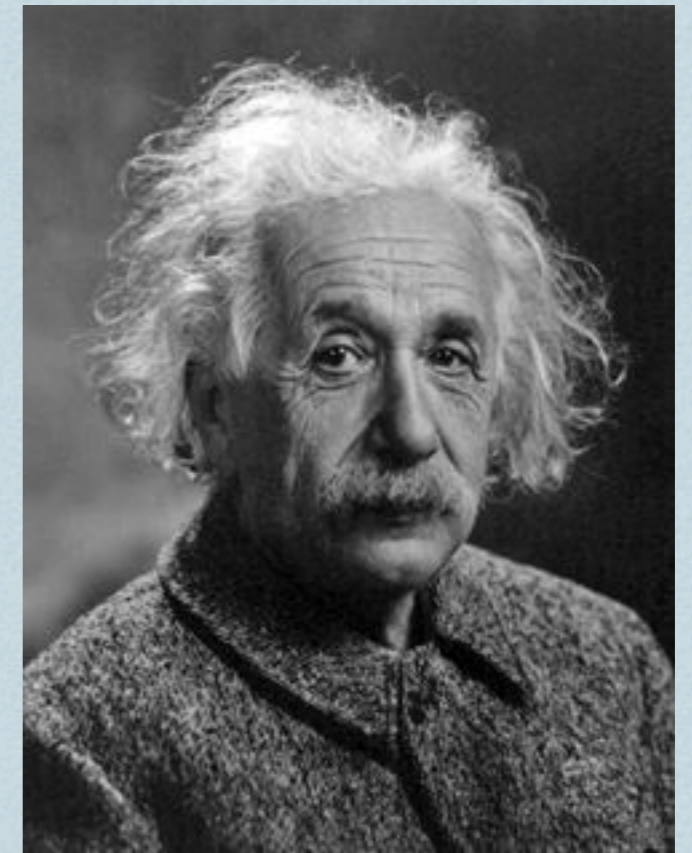


« La réalité est trop complexe,
nous ne pouvons en voir qu'une
approximation »

John Von Neumann

« L'imagination est plus importante
que la connaissance. La connaissance
est limitée alors que l'imagination
englobe le monde »

Albert Einstein



Citations

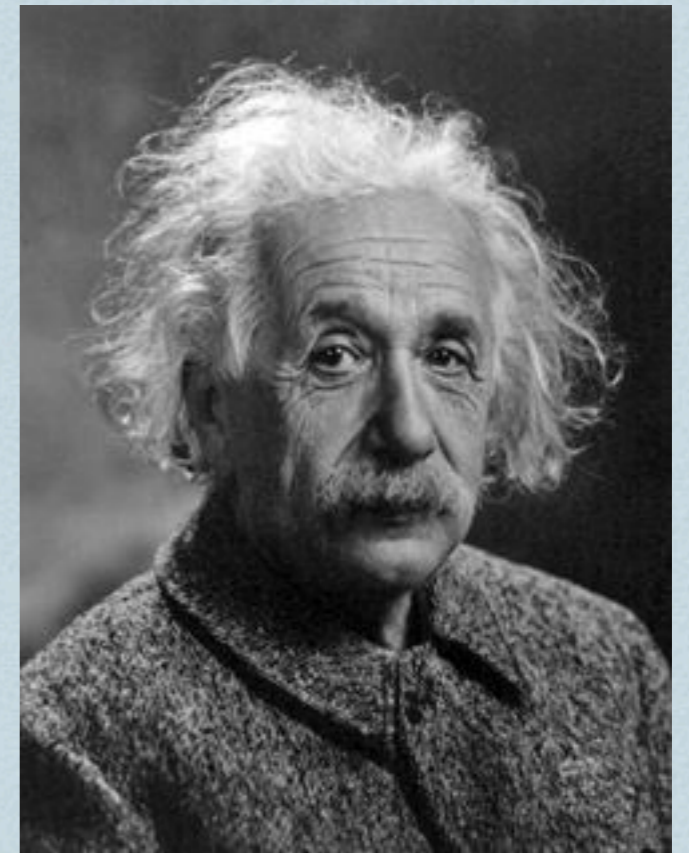


« La réalité est trop complexe,
nous ne pouvons en voir qu'une
approximation »

John Von Neumann

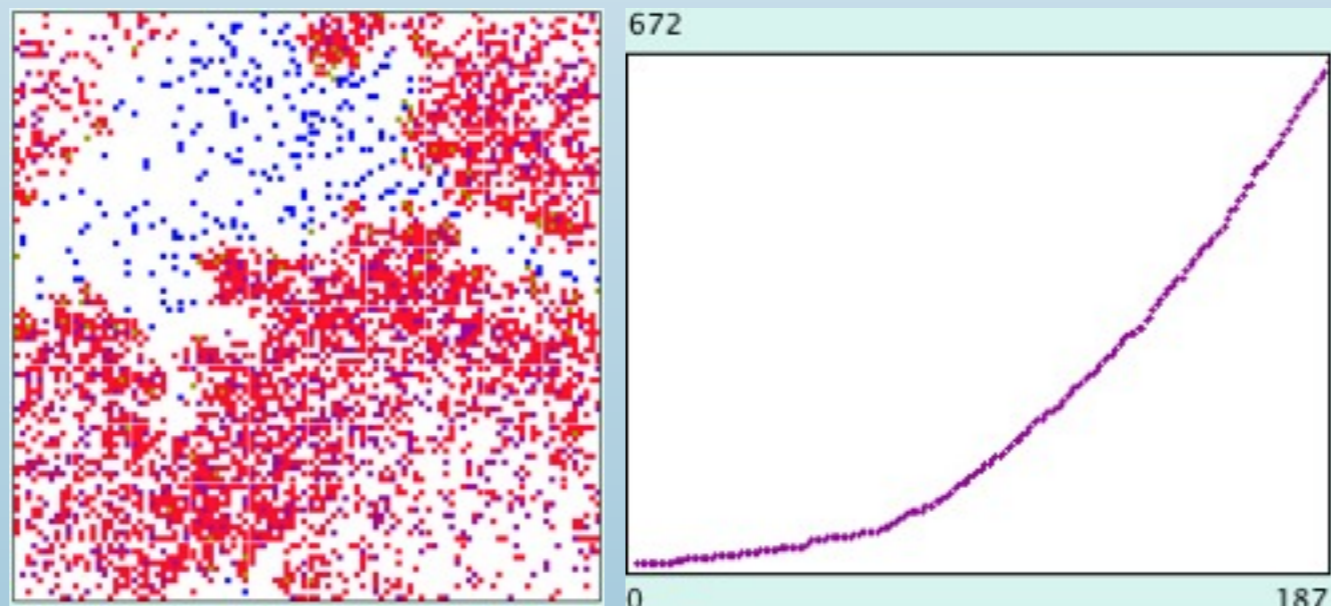
« L'imagination est plus importante
que la connaissance. La connaissance
est limitée alors que l'imagination
englobe le monde »

Albert Einstein



Pour comprendre la réalité, en science on imagine et on
construit des modèles ressemblant à la réalité.


Modélisation et simulation d'une épidémie virale




Entités

- ❖ On souhaite modéliser la propagation d'un virus au sein d'une population.
- ❖ Quels sont les éléments (entités) dont nous avons besoin ?
 - ❖ des personnes (normales, malades, immunisées)
 - ❖ des virus


Entités

- ❖ On souhaite modéliser la propagation d'un virus au sein d'une population.
- ❖ Quels sont les éléments (entités) dont nous avons besoin ?
 - ❖ des personnes (normales, malades, immunisées)

 - ❖ des virus



Entités

- ❖ On souhaite modéliser la propagation d'un virus au sein d'une population.
- ❖ Quels sont les éléments (entités) dont nous avons besoin ?
 - ❖ des personnes (normales, malades, immunisées)

 - ❖ des virus

Entités

- ❖ On souhaite modéliser la propagation d'un virus au sein d'une population.
- ❖ Quels sont les éléments (entités) dont nous avons besoin ?
 - ❖ des personnes (normales, malades, immunisées)

 - ❖ des virus

Entités

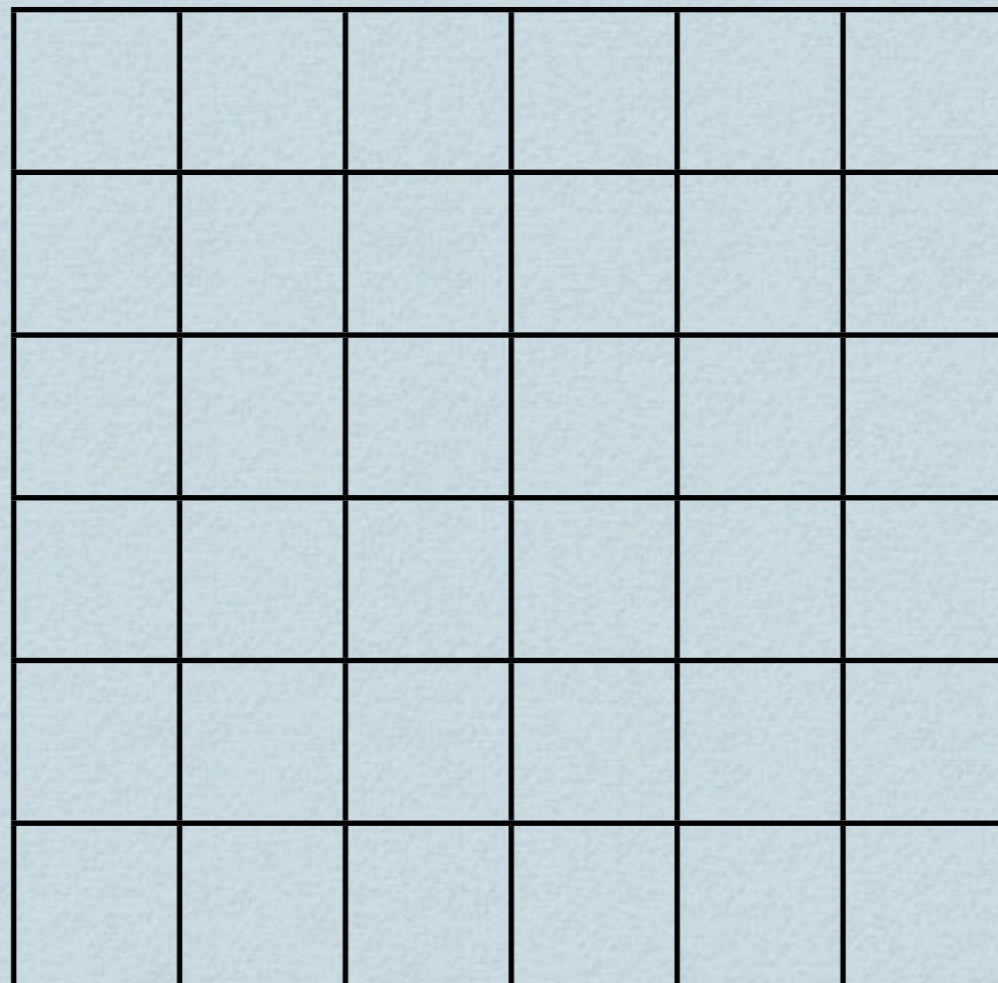
- ❖ On souhaite modéliser la propagation d'un virus au sein d'une population.
- ❖ Quels sont les éléments (entités) dont nous avons besoin ?
 - ❖ des personnes (normales, malades, immunisées)

 - ❖ des virus


Environnement

- ❖ Quels sont les éléments dont nous avons encore besoin ?
- ❖ un environnement où placer les personnes et les virus

Environnement

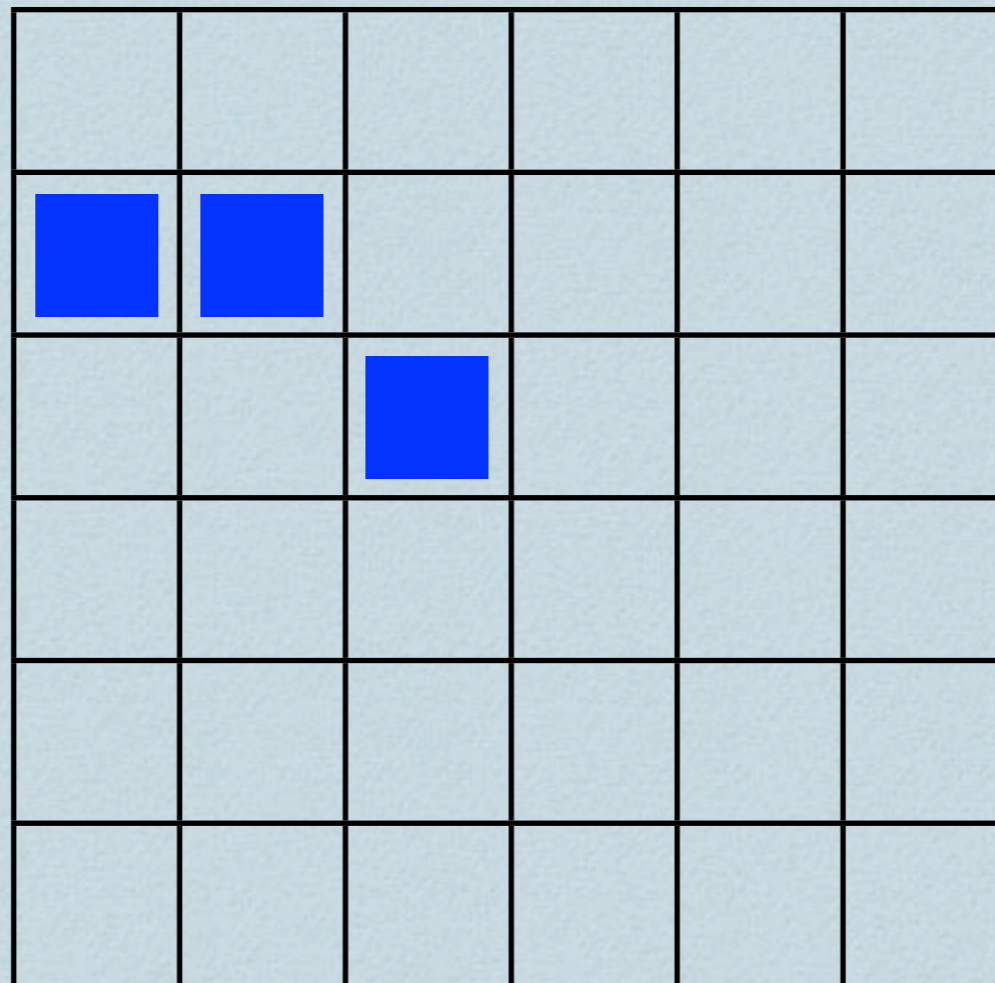
- ❖ Quels sont les éléments dont nous avons encore besoin ?
- ❖ un environnement où placer les personnes et les virus



Une grille

Environnement

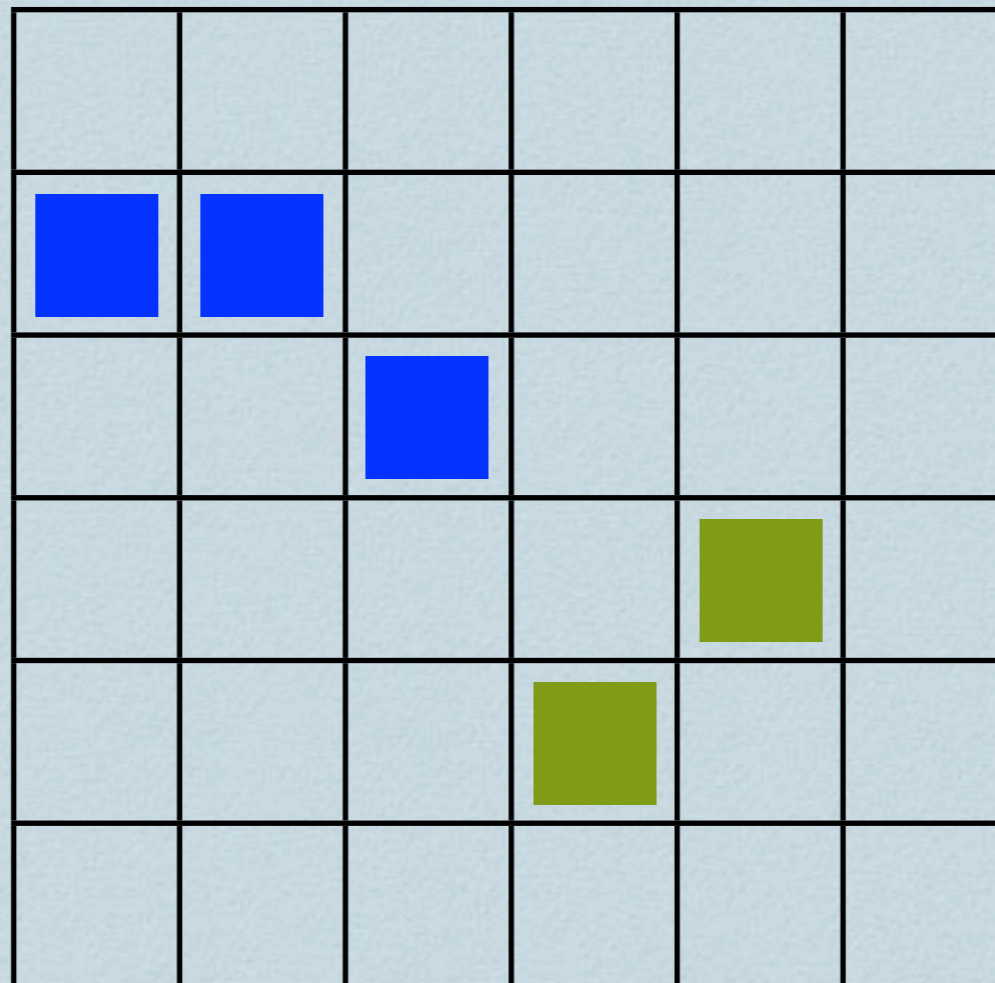
- ❖ Quels sont les éléments dont nous avons encore besoin ?
- ❖ un environnement où placer les personnes et les virus



Une grille

Environnement

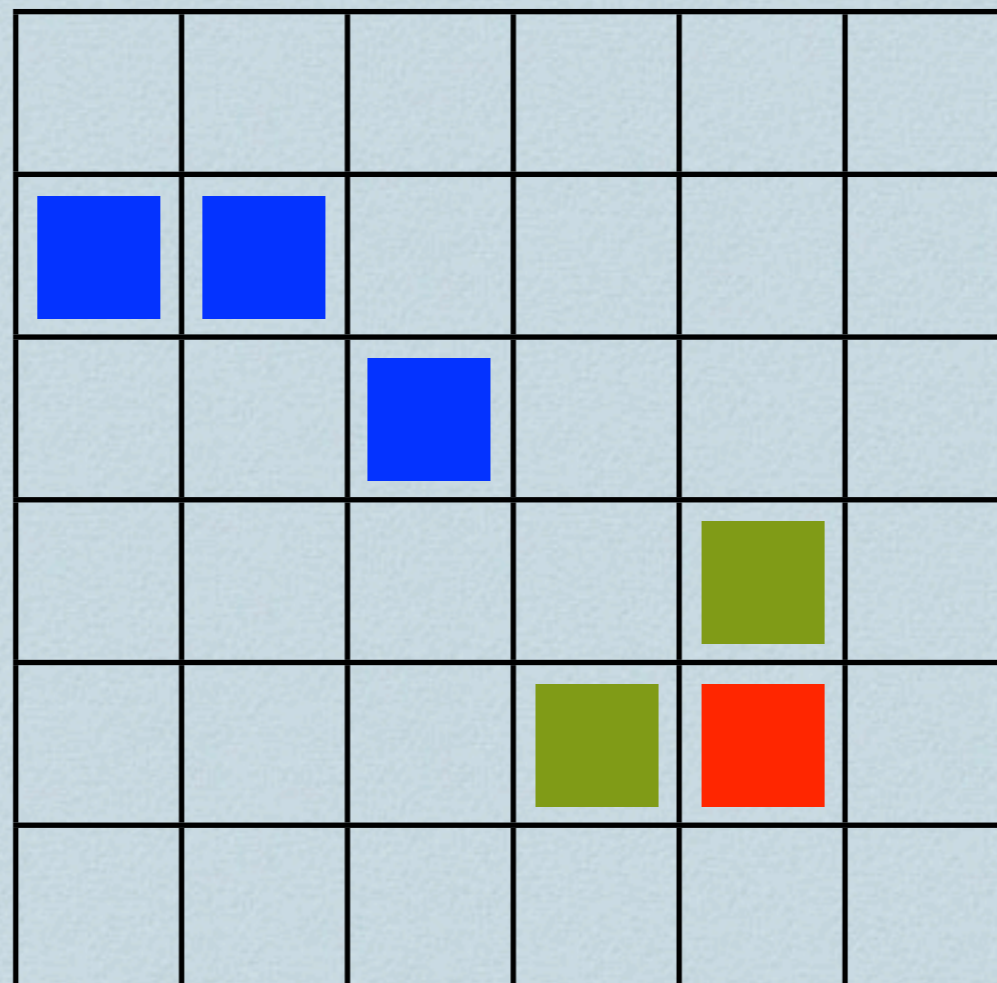
- ❖ Quels sont les éléments dont nous avons encore besoin ?
- ❖ un environnement où placer les personnes et les virus



Une grille

Environnement

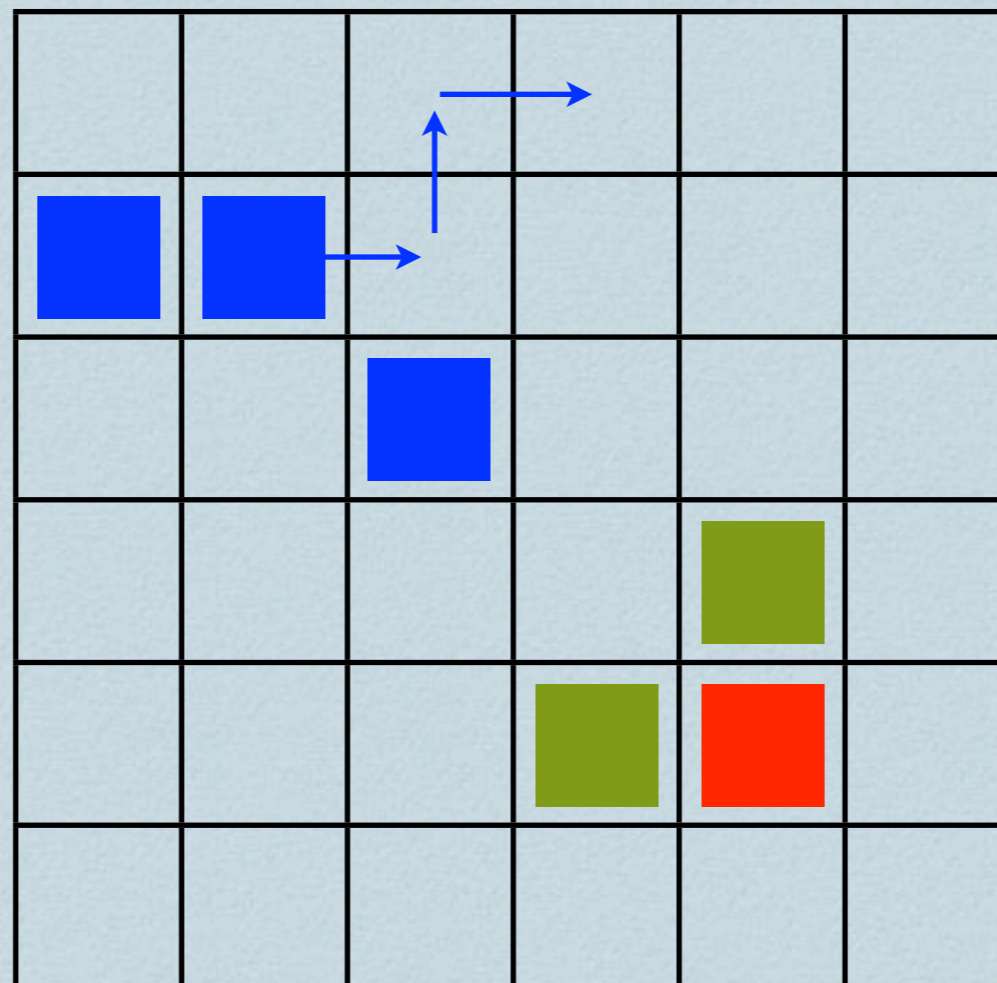
- ❖ Quels sont les éléments dont nous avons encore besoin ?
- ❖ un environnement où placer les personnes et les virus



Une grille

Environnement

- ❖ Quels sont les éléments dont nous avons encore besoin ?
- ❖ un environnement où placer les personnes et les virus




Une grille


Comportements

- ❖ Quels sont les mécanismes (comportements) dont nous avons besoin ?
- ❖ Infection : une personne peut devenir malade avec le virus
- ❖ Guérison : une personne malade peut guérir
- ❖ Mort : une personne malade et le virus peuvent mourir
- ❖ Transmission : une personne malade tousse des virus

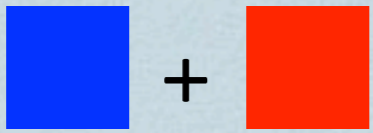
Comportements

- ❖ Quels sont les mécanismes (comportements) dont nous avons besoin ?
- ❖ Infection : une personne peut devenir malade avec le virus

- ❖ Guérison : une personne malade peut guérir
- ❖ Mort : une personne malade et le virus peuvent mourir
- ❖ Transmission : une personne malade tousse des virus

Comportements

- ❖ Quels sont les mécanismes (comportements) dont nous avons besoin ?
- ❖ Infection : une personne peut devenir malade avec le virus

- ❖ Guérison : une personne malade peut guérir
- ❖ Mort : une personne malade et le virus peuvent mourir
- ❖ Transmission : une personne malade tousse des virus

Comportements

- ❖ Quels sont les mécanismes (comportements) dont nous avons besoin ?
- ❖ Infection : une personne peut devenir malade avec le virus

- ❖ Guérison : une personne malade peut guérir
- ❖ Mort : une personne malade et le virus peuvent mourir
- ❖ Transmission : une personne malade tousse des virus

Comportements

❖ Quels sont les mécanismes (comportements) dont nous avons besoin ?

❖ Infection : une personne peut devenir malade avec le virus



❖ Guérison : une personne malade peut guérir

❖ Mort : une personne malade et le virus peuvent mourir

❖ Transmission : une personne malade tousse des virus

Comportements

❖ Quels sont les mécanismes (comportements) dont nous avons besoin ?

❖ Infection : une personne peut devenir malade avec le virus



❖ Guérison : une personne malade peut guérir

❖ Mort : une personne malade et le virus peuvent mourir

❖ Transmission : une personne malade tousse des virus

Comportements

❖ Quels sont les mécanismes (comportements) dont nous avons besoin ?

❖ Infection : une personne peut devenir malade avec le virus



❖ Guérison : une personne malade peut guérir



❖ Mort : une personne malade et le virus peuvent mourir

❖ Transmission : une personne malade tousse des virus

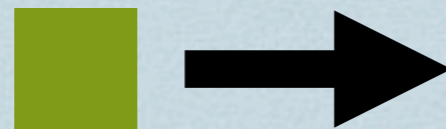
Comportements

❖ Quels sont les mécanismes (comportements) dont nous avons besoin ?

❖ Infection : une personne peut devenir malade avec le virus



❖ Guérison : une personne malade peut guérir



❖ Mort : une personne malade et le virus peuvent mourir

❖ Transmission : une personne malade tousse des virus

Comportements

❖ Quels sont les mécanismes (comportements) dont nous avons besoin ?

❖ Infection : une personne peut devenir malade avec le virus



❖ Guérison : une personne malade peut guérir



❖ Mort : une personne malade et le virus peuvent mourir

❖ Transmission : une personne malade tousse des virus

Comportements

❖ Quels sont les mécanismes (comportements) dont nous avons besoin ?

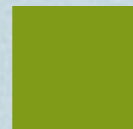
❖ Infection : une personne peut devenir malade avec le virus



❖ Guérison : une personne malade peut guérir



❖ Mort : une personne malade et le virus peuvent mourir



❖ Transmission : une personne malade tousse des virus

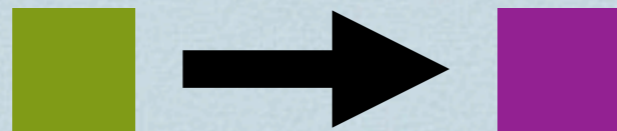
Comportements

❖ Quels sont les mécanismes (comportements) dont nous avons besoin ?

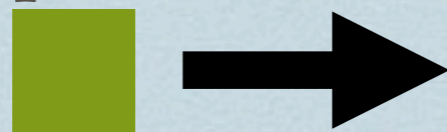
❖ Infection : une personne peut devenir malade avec le virus



❖ Guérison : une personne malade peut guérir



❖ Mort : une personne malade et le virus peuvent mourir



❖ Transmission : une personne malade tousse des virus

Comportements

❖ Quels sont les mécanismes (comportements) dont nous avons besoin ?

❖ Infection : une personne peut devenir malade avec le virus



❖ Guérison : une personne malade peut guérir



❖ Mort : une personne malade et le virus peuvent mourir



❖ Transmission : une personne malade tousse des virus

Comportements

❖ Quels sont les mécanismes (comportements) dont nous avons besoin ?

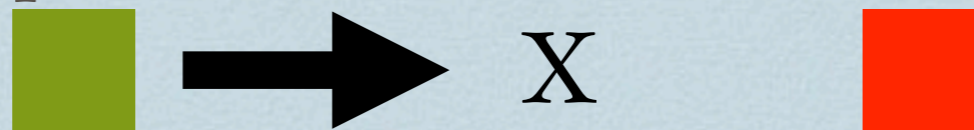
❖ Infection : une personne peut devenir malade avec le virus



❖ Guérison : une personne malade peut guérir



❖ Mort : une personne malade et le virus peuvent mourir



❖ Transmission : une personne malade tousse des virus

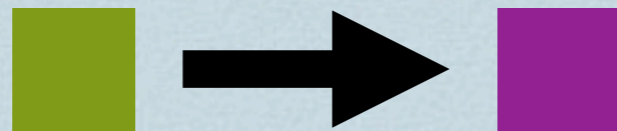
Comportements

❖ Quels sont les mécanismes (comportements) dont nous avons besoin ?

❖ Infection : une personne peut devenir malade avec le virus



❖ Guérison : une personne malade peut guérir



❖ Mort : une personne malade et le virus peuvent mourir



❖ Transmission : une personne malade tousse des virus

Comportements

❖ Quels sont les mécanismes (comportements) dont nous avons besoin ?

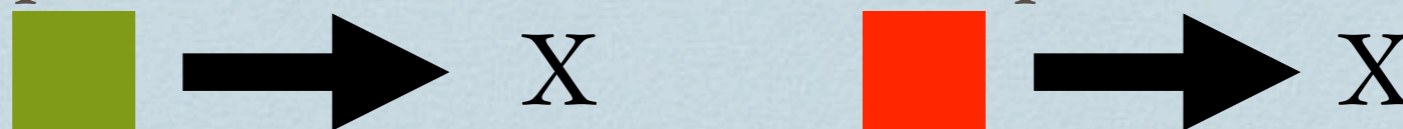
❖ Infection : une personne peut devenir malade avec le virus



❖ Guérison : une personne malade peut guérir



❖ Mort : une personne malade et le virus peuvent mourir



❖ Transmission : une personne malade tousse des virus

Comportements

❖ Quels sont les mécanismes (comportements) dont nous avons besoin ?

❖ Infection : une personne peut devenir malade avec le virus



❖ Guérison : une personne malade peut guérir



❖ Mort : une personne malade et le virus peuvent mourir



❖ Transmission : une personne malade tousse des virus



Comportements

❖ Quels sont les mécanismes (comportements) dont nous avons besoin ?

❖ Infection : une personne peut devenir malade avec le virus



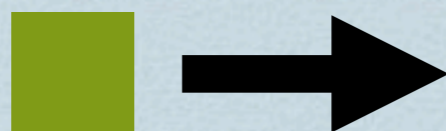
❖ Guérison : une personne malade peut guérir



❖ Mort : une personne malade et le virus peuvent mourir



❖ Transmission : une personne malade tousse des virus



Comportements

❖ Quels sont les mécanismes (comportements) dont nous avons besoin ?

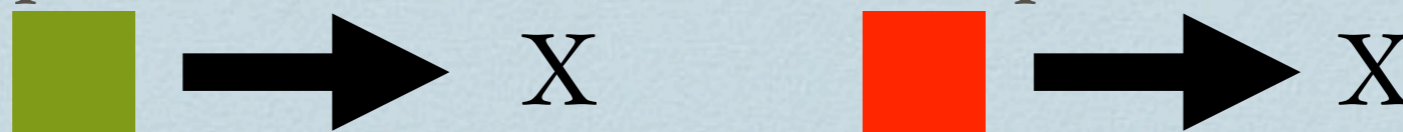
❖ Infection : une personne peut devenir malade avec le virus



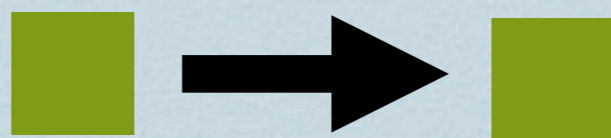
❖ Guérison : une personne malade peut guérir



❖ Mort : une personne malade et le virus peuvent mourir



❖ Transmission : une personne malade tousse des virus



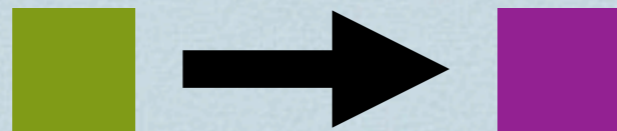
Comportements

❖ Quels sont les mécanismes (comportements) dont nous avons besoin ?

❖ Infection : une personne peut devenir malade avec le virus



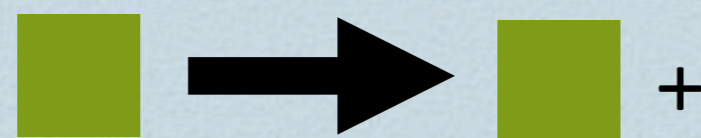
❖ Guérison : une personne malade peut guérir



❖ Mort : une personne malade et le virus peuvent mourir



❖ Transmission : une personne malade tousse des virus



Comportements

❖ Quels sont les mécanismes (comportements) dont nous avons besoin ?

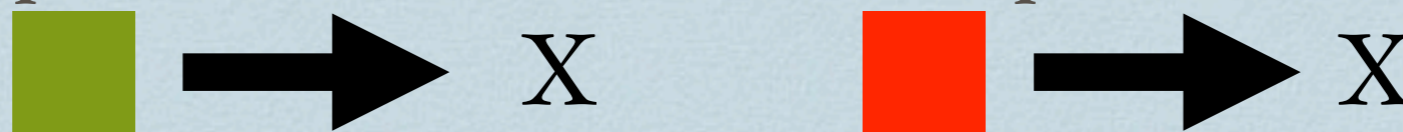
❖ Infection : une personne peut devenir malade avec le virus



❖ Guérison : une personne malade peut guérir



❖ Mort : une personne malade et le virus peuvent mourir



❖ Transmission : une personne malade tousse des virus



Programmation : lancement de netBioDyn

- ❖ Aller sur <http://google.fr>
- ❖ Rechercher netBioDyn
- ❖ Cliquer sur la réponse «Site»

- ❖ Cliquer sur le lien «version stable»
- ❖ Si besoin, autoriser l'applet

Programmation : lancement de netBioDyn

- ❖ Aller sur <http://google.fr>
- ❖ Rechercher netBioDyn
- ❖ Cliquer sur la réponse «Site»

- ❖ Cliquer sur le lien «version stable»
- ❖ Si besoin, autoriser l'applet



Programmation : lancement de netBioDyn

- ❖ Aller sur <http://google.fr>
- ❖ Rechercher netBioDyn
- ❖ Cliquer sur la réponse «Site»
- ❖ Cliquer sur le lien «version stable»
- ❖ Si besoin, autoriser l'applet

The image shows a Google search for 'netbiodyn'. The search results include a link to 'netbiodyn.tuxfamily.org/' with the text 'Site NetBioDyn. Système Multiagent pour les Systèmes Complexes. Open Source - Licence G...'. Below the search results, the netBioDyn application interface is displayed. It features a control panel with a play button, a stop button, a volume control, and a list of checkboxes for 'Entites', 'Comportements', 'Environnement', 'Filmer', 'Vue 3D', 'Charges', 'Coeurs', and 'Liens'. The interface also shows the version '25/02/2008' and a 'Vider' button.

Programmation : création des entités

❖ Cliquer sur le bouton «Entités» puis «Ajouter une entité»

❖ Ajouter l'entité Pn (Personne normale) de couleur bleue 

❖ Ajouter l'entité Pm (Personne malade) de couleur verdâtre 

❖ Ajouter l'entité Pi (Personne immunisée) de couleur violette 




❖ Ajouter l'entité V (Virus) de couleur rouge 

❖ Cliquer sur «Fermer»




Programmation : création des comportements



❖ Infection :  +  → 

❖ Guérison :  → 

❖ Mort Personne malade :  → X

❖ Mort Virus :  → X

❖ Transmission :  →  + 


Programmation : création des comportements



❖ Infection :  +  →  probabilité = 1.0

❖ Guérison :  → 

❖ Mort Personne malade :  → X

❖ Mort Virus :  → X

❖ Transmission :  →  + 


Programmation : création des comportements



❖ Infection :  +  →  probabilité = 1.0

❖ Guérison :  →  probabilité = 0.01











❖ Mort Personne malade :  → X

❖ Mort Virus :  → X

❖ Transmission :  →  + 











Programmation : création des comportements



- ❖ Infection :  +  →  probabilité = 1.0
- ❖ Guérison :  →  probabilité = 0.01
- ❖ Mort Personne malade :  → X probabilité = 0.001
- ❖ Mort Virus :  → X
- ❖ Transmission :  →  + 











Programmation : création des comportements



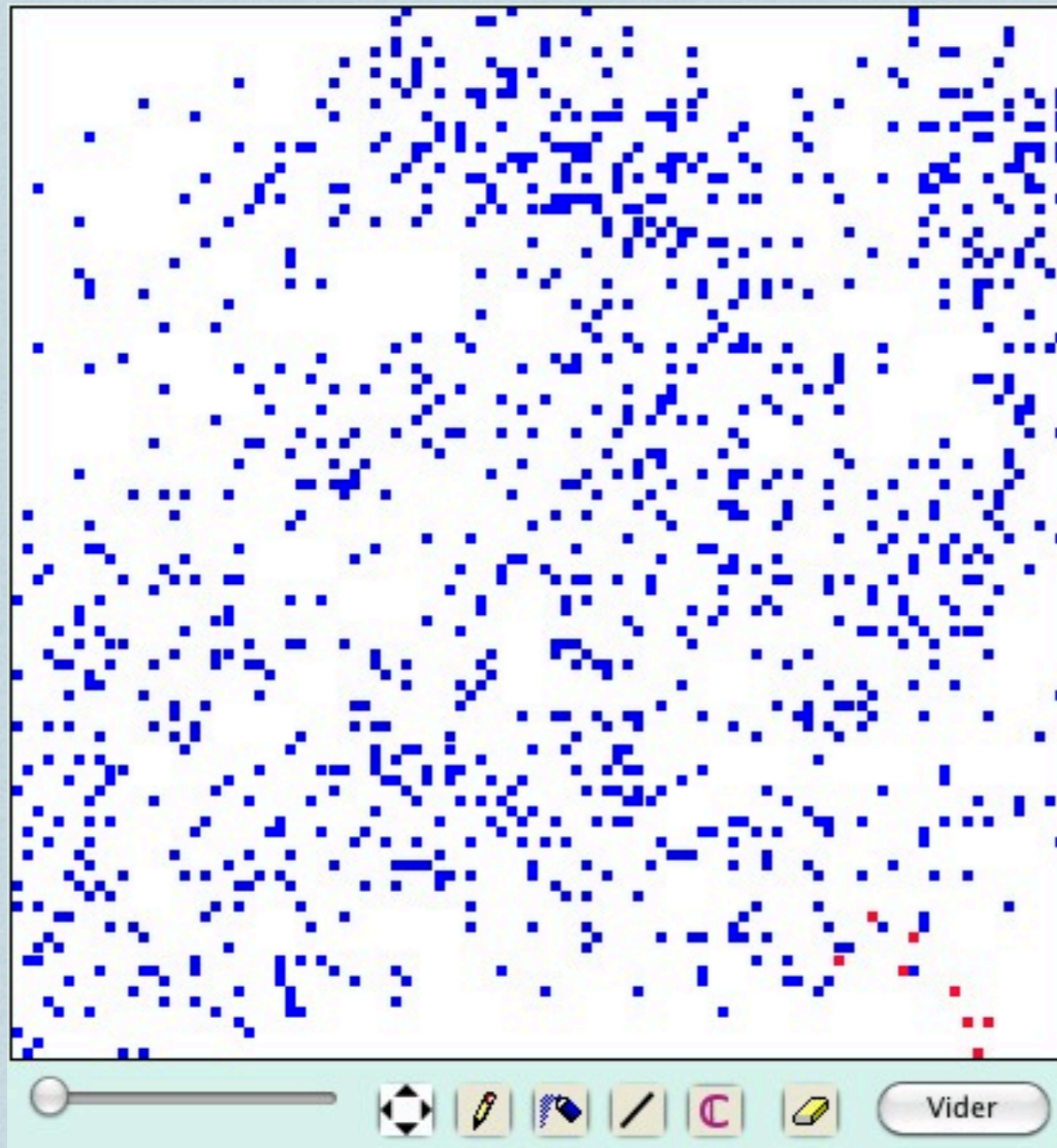
- ❖ Infection :  +  →  probabilité = 1.0
- ❖ Guérison :  →  probabilité = 0.01
- ❖ Mort Personne malade :  → X probabilité = 0.0001
- ❖ Mort Virus :  → X probabilité = 0.01
- ❖ Transmission :  →  + 

Programmation : création des comportements



- ❖ Infection :  +  →  probabilité = 1.0
- ❖ Guérison :  →  probabilité = 0.01
- ❖ Mort Personne malade :  → X probabilité = 0.0001
- ❖ Mort Virus :  → X probabilité = 0.01
- ❖ Transmission :  →  +  probabilité = 0.1


Programmation : état initial



Pn, 998
Pm, 0
V, 8
Pi, 0

1. Cliquer sur Pn
(Personne normale)
2. Cliquer sur
l'outils Spray
3. Placer environ
1000 Pn dans
l'environnement.
4. De même, placer
environ 10 virus.

Simulation du modèle d'épidémie

- ❖ Lancer la simulation  et observer l'évolution de l'épidémie

y
↑

→ x


→ temps

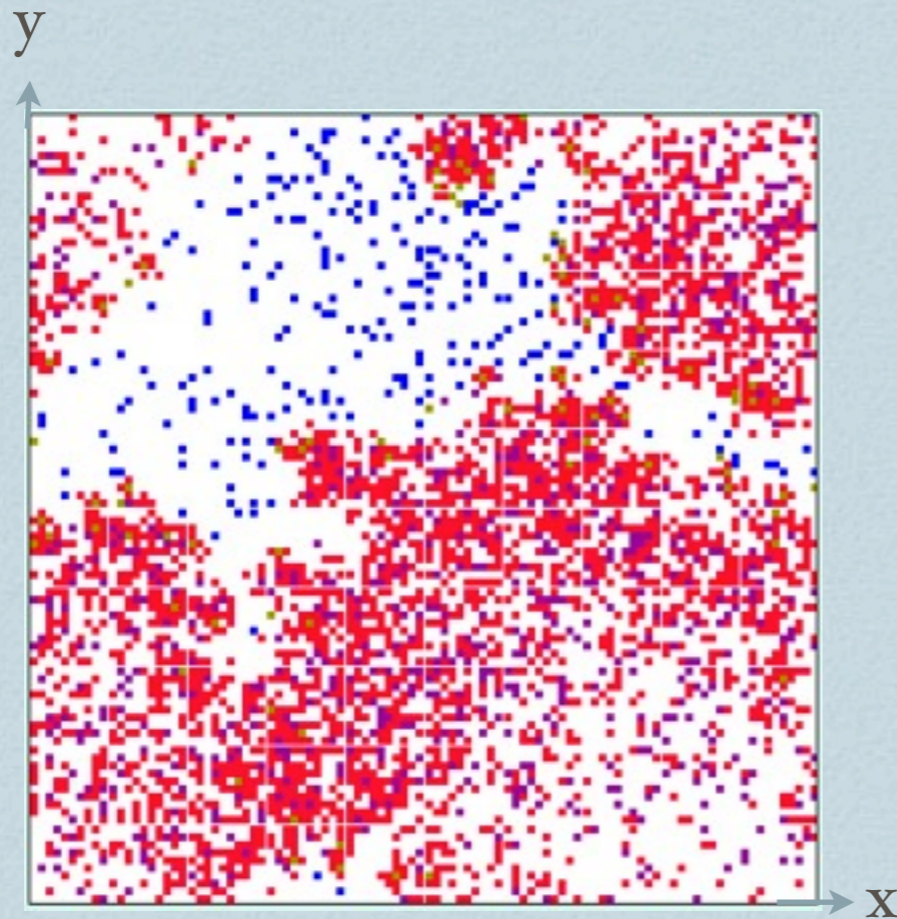
→ temps

→ temps

→ temps

Simulation du modèle d'épidémie

- ❖ Lancer la simulation  et observer l'évolution de l'épidémie




→ temps

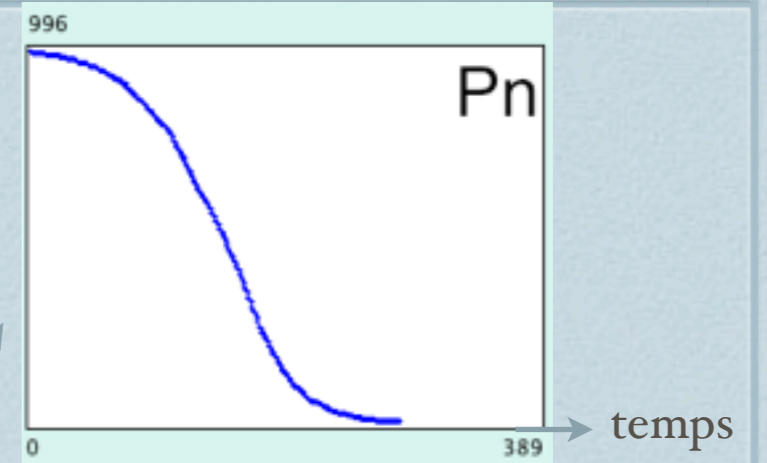
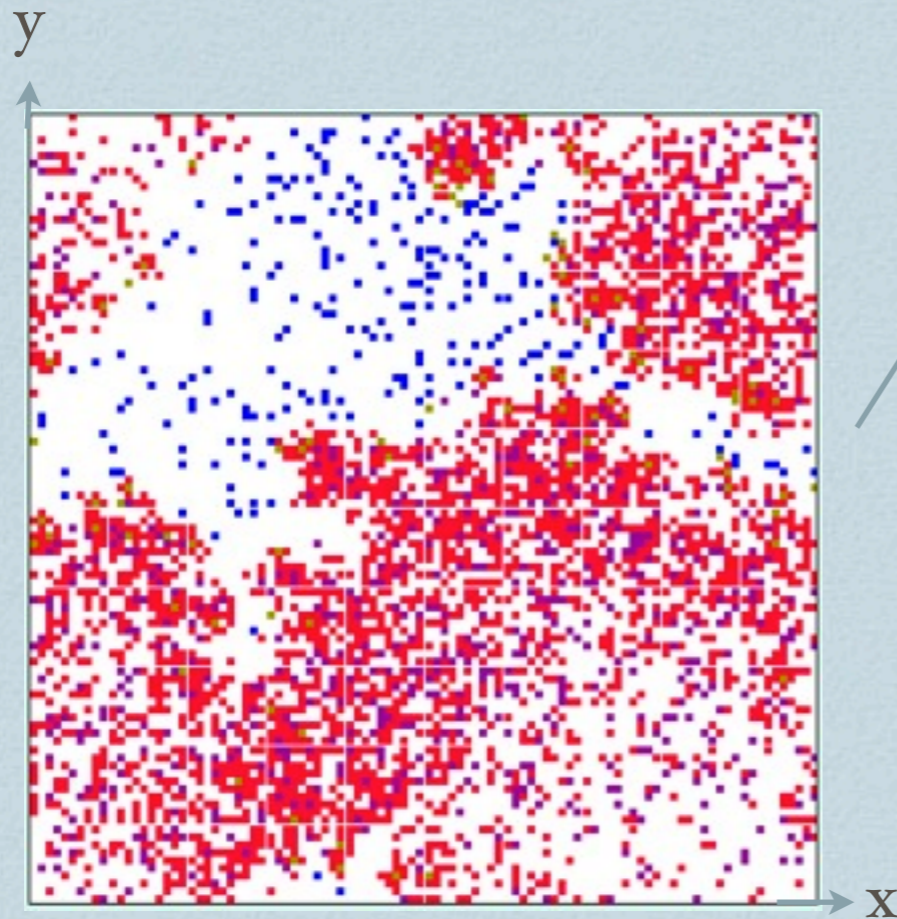
→ temps

→ temps

→ temps

Simulation du modèle d'épidémie

- ❖ Lancer la simulation  et observer l'évolution de l'épidémie




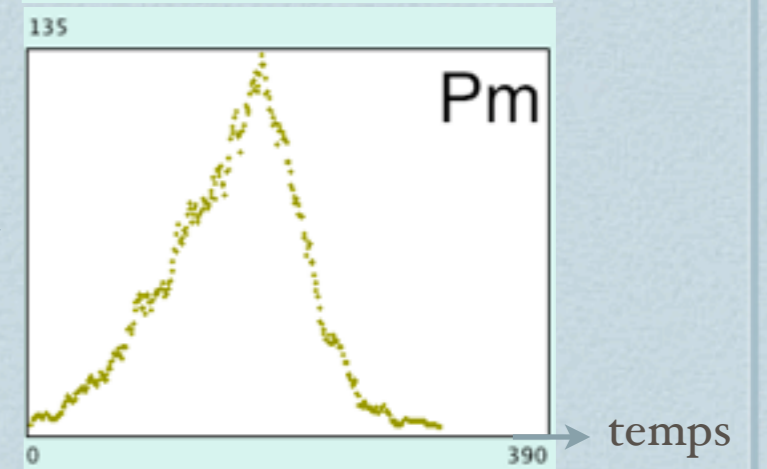
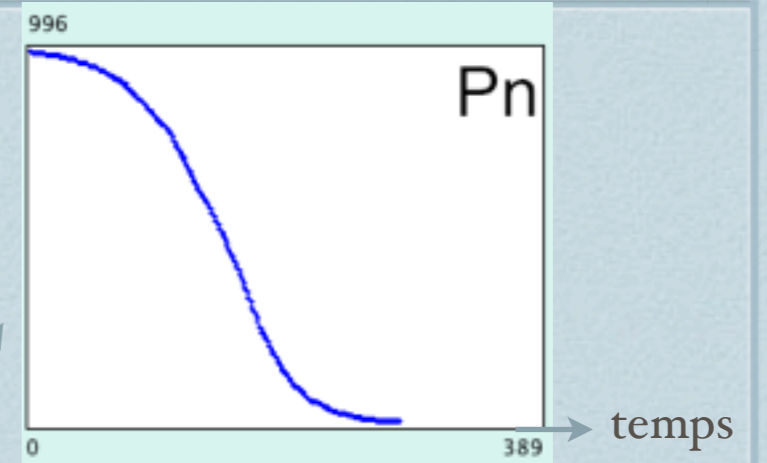
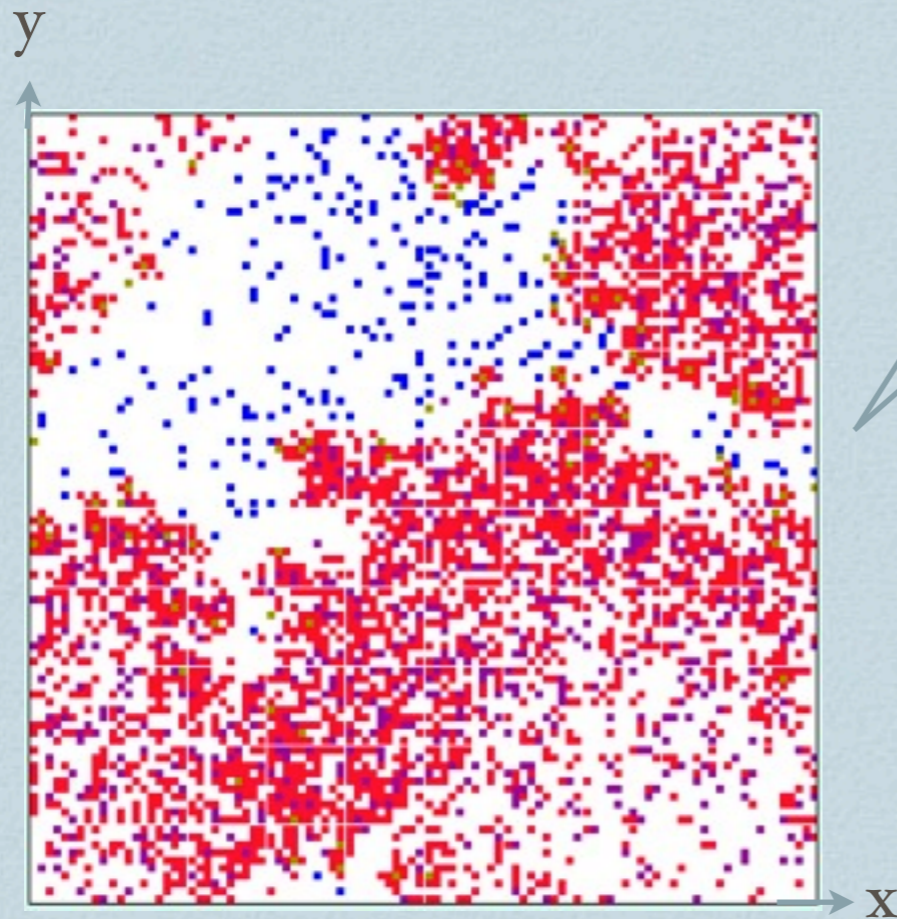
→ temps

→ temps

→ temps

Simulation du modèle d'épidémie


- ❖ Lancer la simulation  et observer l'évolution de l'épidémie

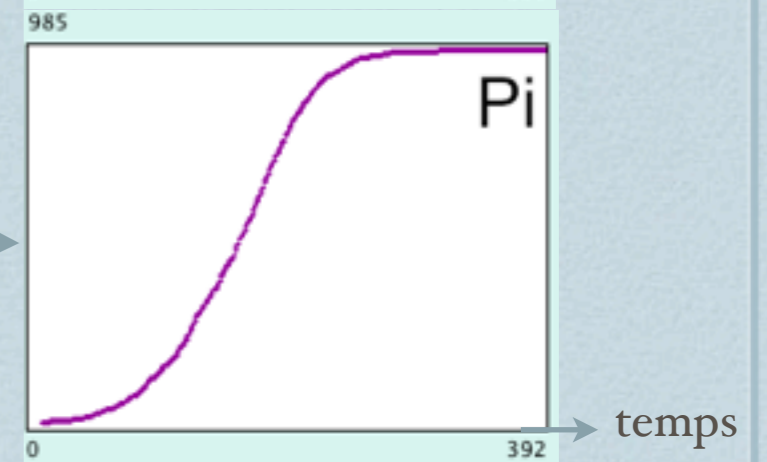
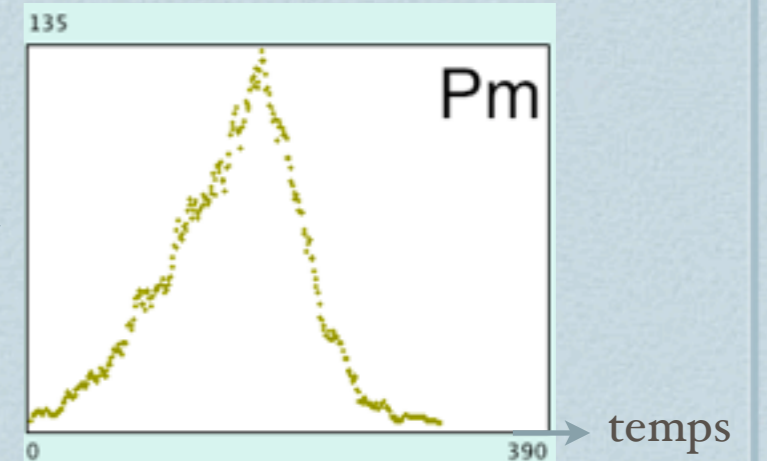
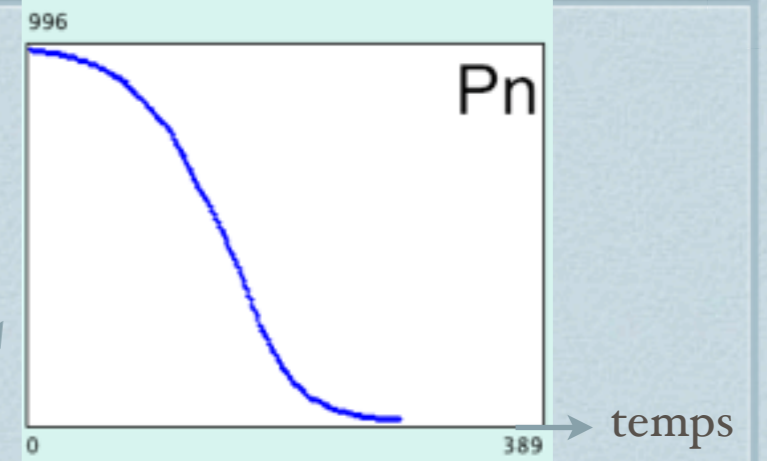
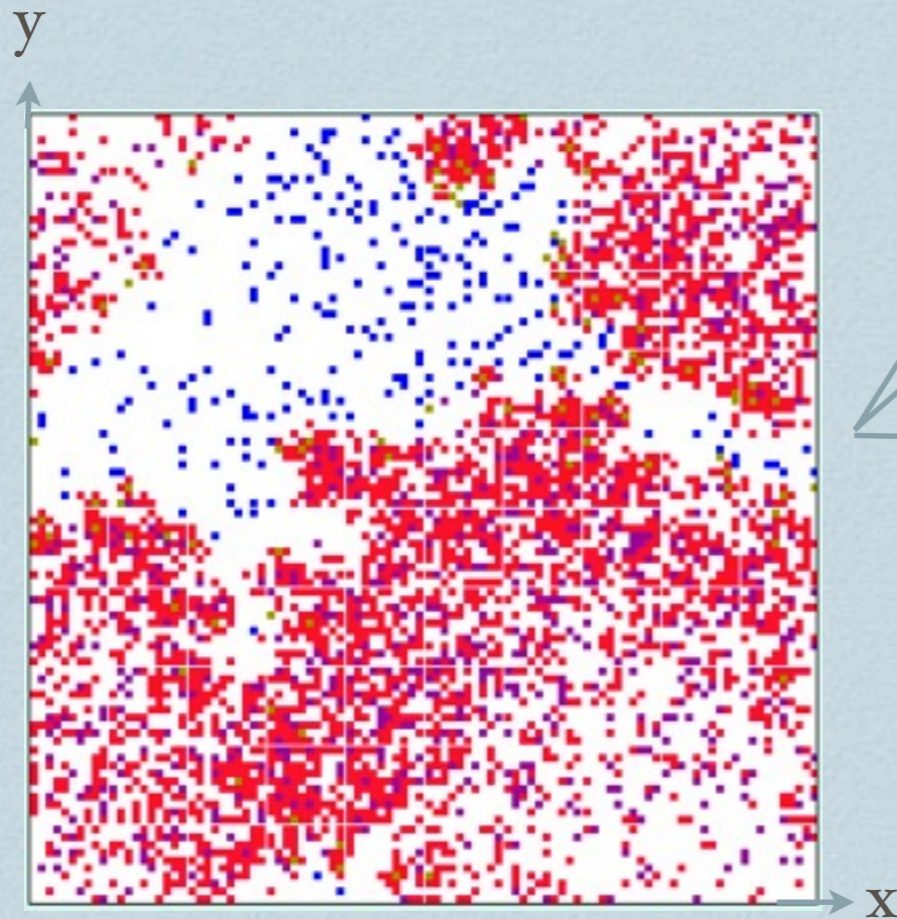


→ temps

→ temps


Simulation du modèle d'épidémie

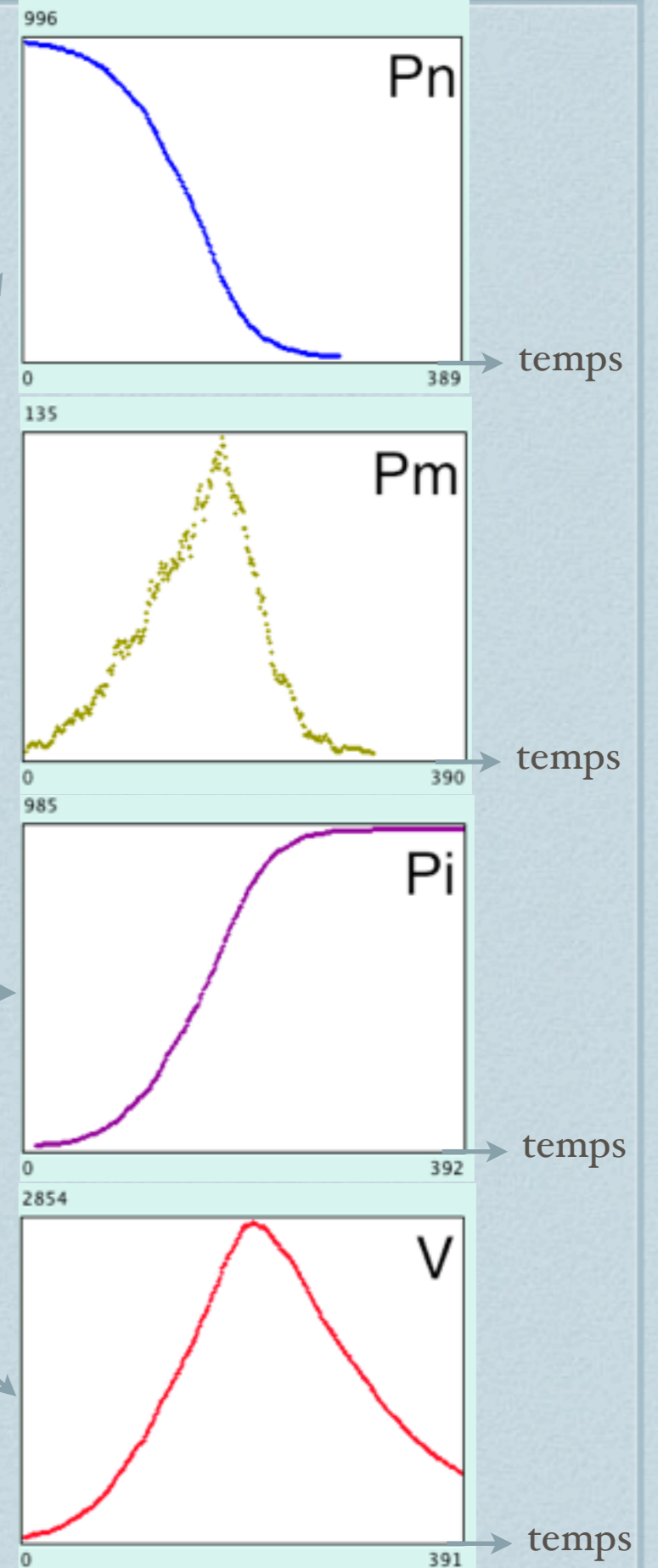
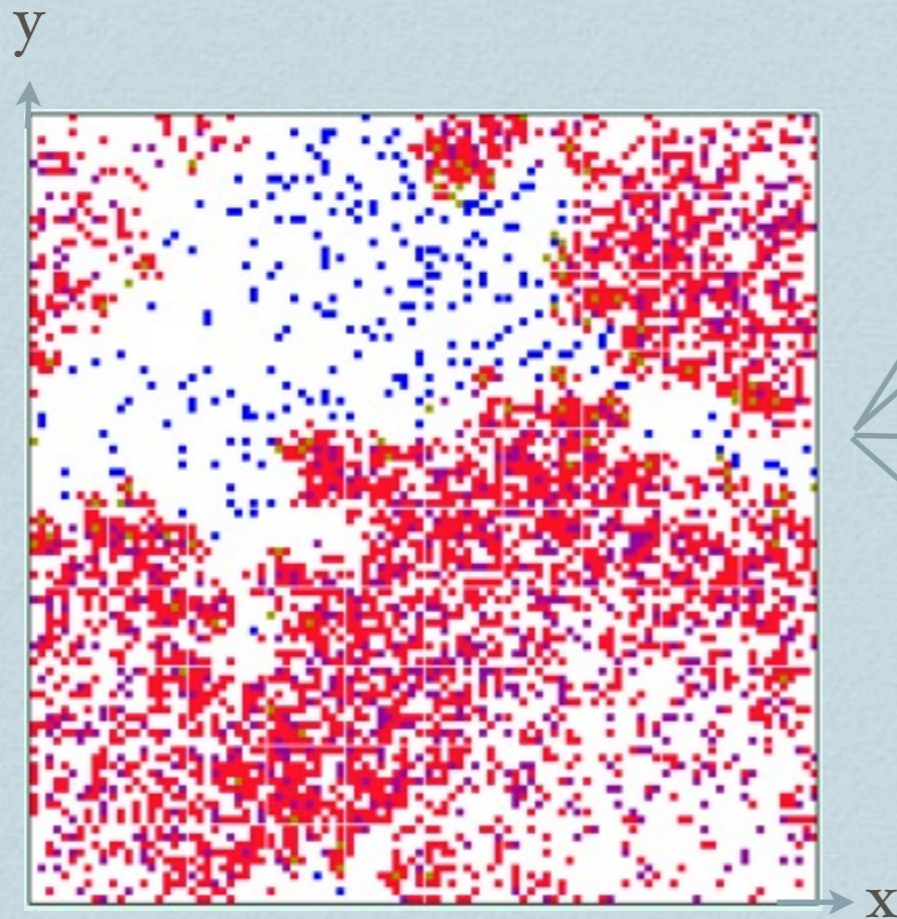
- ❖ Lancer la simulation  et observer l'évolution de l'épidémie



→ temps

Simulation du modèle d'épidémie

- ❖ Lancer la simulation  et observer l'évolution de l'épidémie



Tests de plusieurs hypothèses

- ❖ On peut imaginer différentes versions de ce modèle
 - ❖ Rhume : proba mort $P_m = 0$
 - ❖ Grippe : proba mort $P_m = 0.0001$ et transmission : $P_{m \Rightarrow P_m + V + V}$
 - ❖ Vaccination : on peut changer l'état initial et placer 500 P_n et 500 P_i
 - ❖ Masques protecteurs évitant de transmettre le virus : P_n et P_{nm1}
 - ❖ Masques protecteurs évitant d'être contaminé : P_n et P_{nm2}
 - ❖ Etc

Un peu de théorie

- ❖ Qu'est-ce qu'un modèle ?
- ❖ Qu'est-ce que la modélisation ?
- ❖ Pourquoi modéliser ?
- ❖ Conclusion

Qu'est-ce qu'un modèle ?

- ❖ Un modèle est une représentation simplifiée de la réalité.
- ❖ Exemple : maquette, dessin, robot, équation...

Qu'est-ce qu'un modèle ?

- ❖ Un modèle est une représentation simplifiée de la réalité.
- ❖ Exemple : maquette, dessin, robot, équation...



Oiseau réel

Qu'est-ce qu'un modèle ?

- ❖ Un modèle est une représentation simplifiée de la réalité.
- ❖ Exemple : maquette, dessin, robot, équation...



Oiseau réel



Maquette volante

Qu'est-ce qu'un modèle ?

- ❖ Un modèle est une représentation simplifiée de la réalité.
- ❖ Exemple : maquette, dessin, robot, équation...



Oiseau réel



Maquette volante



Robot digérant

Qu'est-ce qu'un modèle ?

- ❖ Un modèle est une représentation simplifiée de la réalité.
- ❖ Exemple : maquette, dessin, robot, équation...



Oiseau réel



Maquette volante



Robot digérant



Description schématique

Qu'est-ce qu'un modèle ?

- ❖ Un modèle est une représentation simplifiée de la réalité.
- ❖ Exemple : maquette, dessin, robot, équation...



Oiseau réel



Maquette volante



Robot digérant

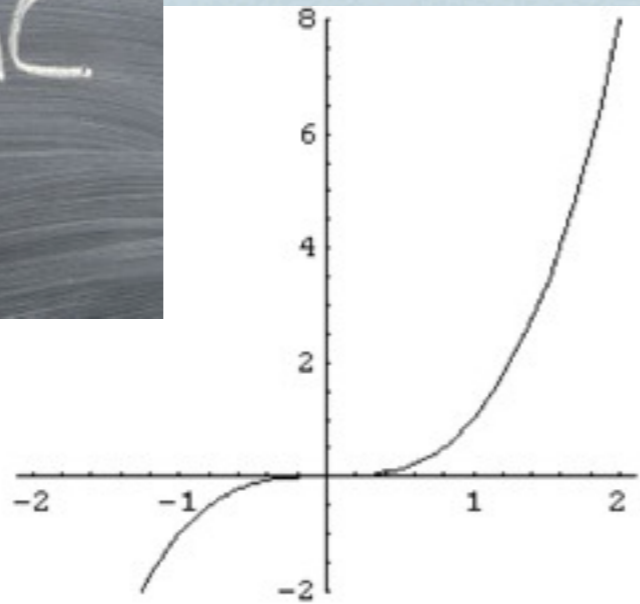
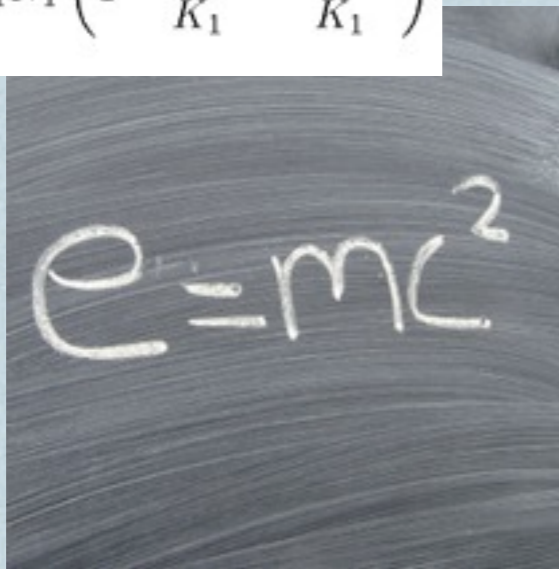


Description schématique

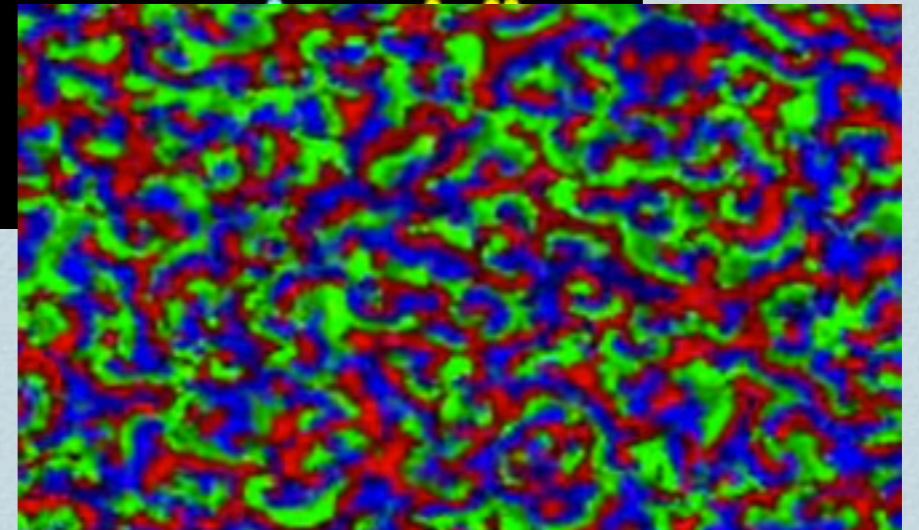
Etc

Comment faire un modèle numérique ?

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left(1 - \frac{N_1}{K_1} - \frac{\alpha_{12} N_2}{K_1} \right)$$



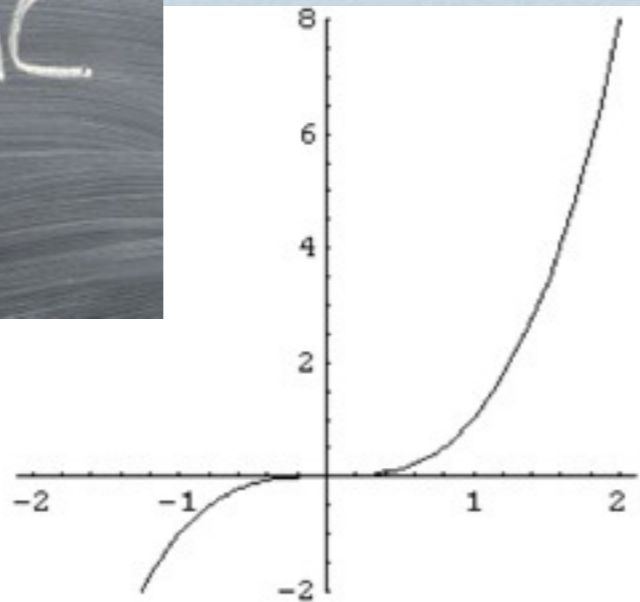
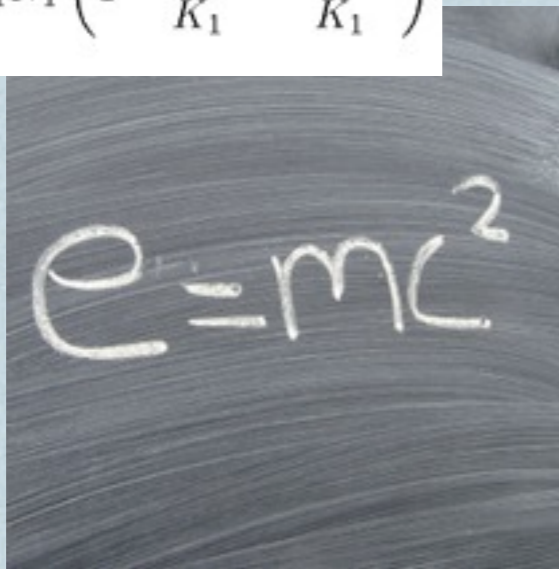
Modèles mathématiques



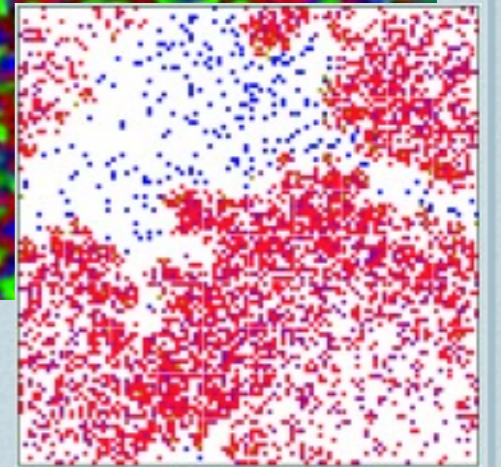
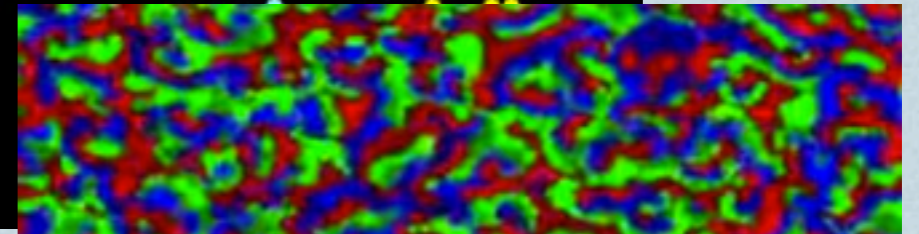
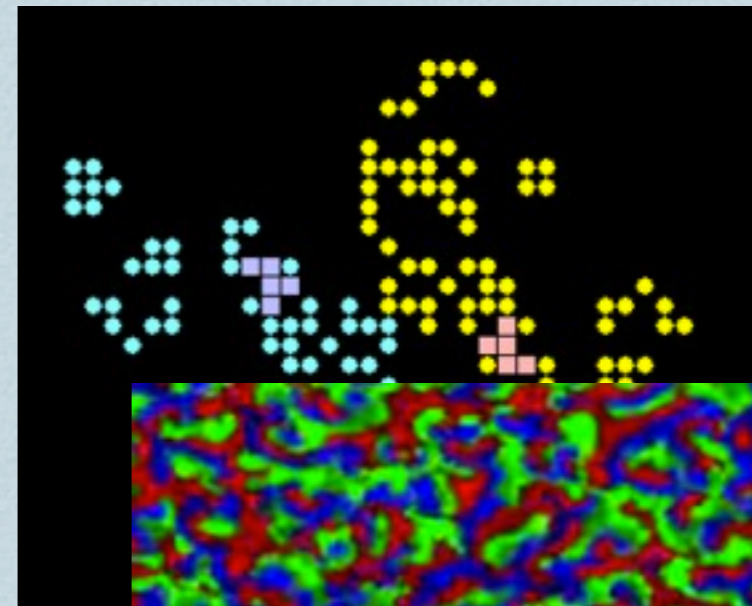
Modèles informatiques

Comment faire un modèle numérique ?

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left(1 - \frac{N_1}{K_1} - \frac{\alpha_{12} N_2}{K_1} \right)$$



Modèles mathématiques



Modèles informatiques

Qu'est-ce que la modélisation ?

- ❖ La modélisation est la démarche par laquelle on construit le modèle



Oiseau réel



Maquette volante



Robot digérant



Description schématique

Qu'est-ce que la modélisation ?

- ❖ La modélisation est la démarche par laquelle on construit le modèle



Oiseau réel

Modélisation



Maquette volante



Robot digérant



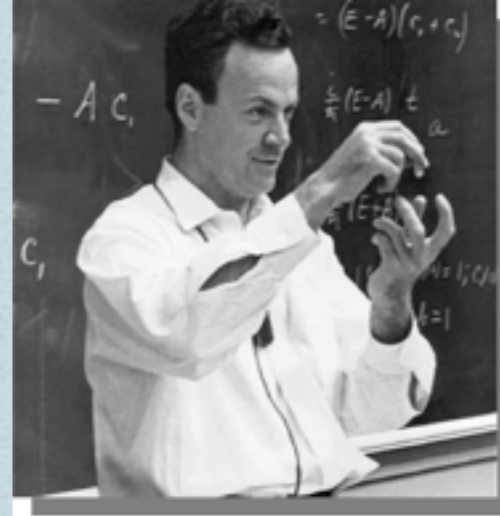
Description schématique

Pourquoi modéliser ?

- ❖ On modélise pour bien comprendre
- ❖ On modélise pour partager ses connaissances
- ❖ On modélise pour faire des prévisions

Pourquoi modéliser ?

- ❖ On modélise pour bien comprendre
- ❖ On modélise pour partager ses connaissances
- ❖ On modélise pour faire des prévisions

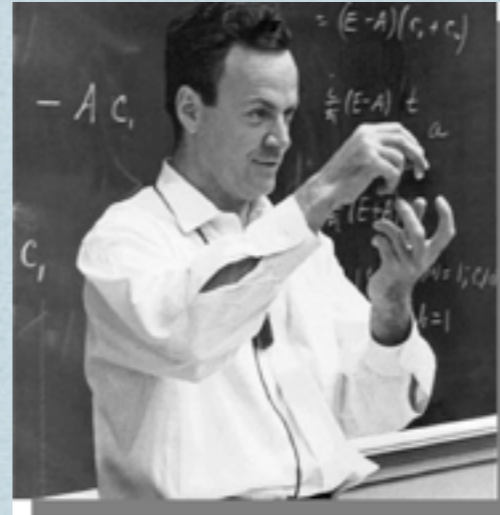


« Ce que je n'arrive pas à créer,
je ne le comprends pas »

Richard Feynman

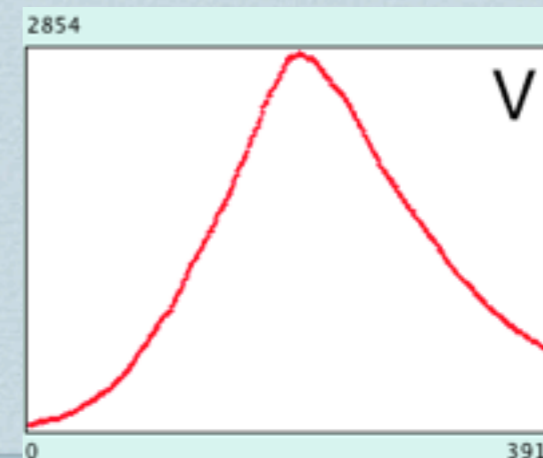
Pourquoi modéliser ?

- ❖ On modélise pour bien comprendre
- ❖ On modélise pour partager ses connaissances
- ❖ On modélise pour faire des prévisions

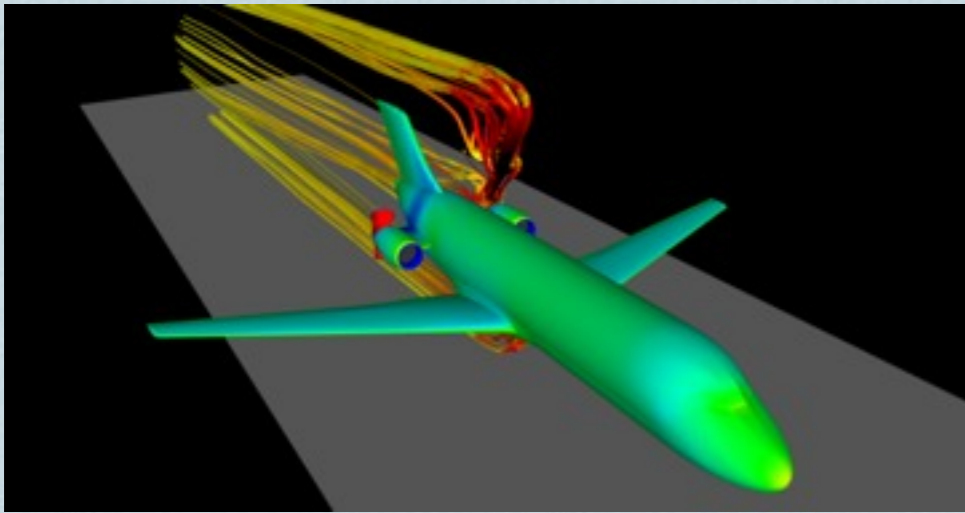


« Ce que je n'arrive pas à créer, je ne le comprends pas »

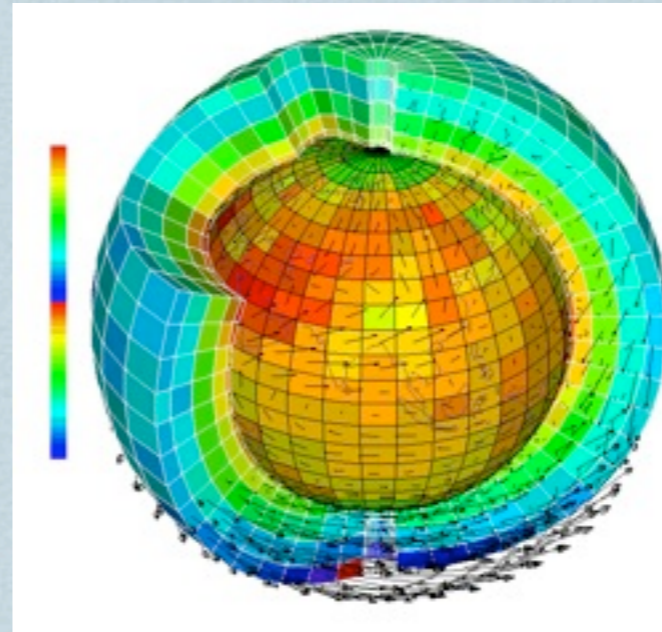
Richard Feynman



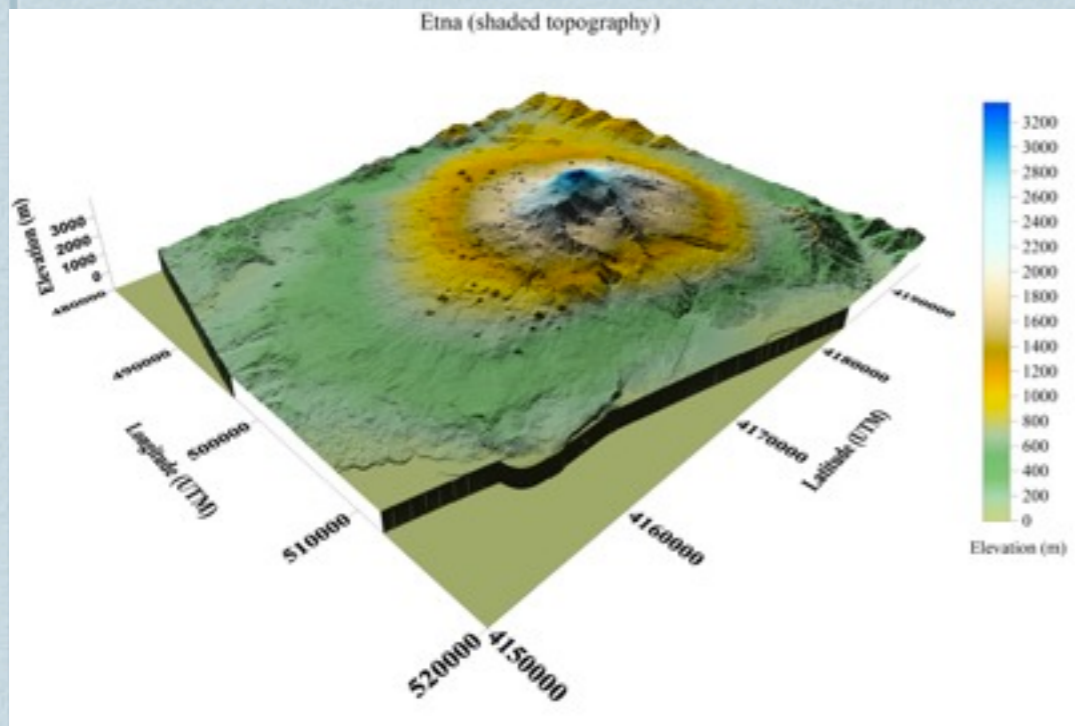
Exemples de modèles



Modèle numérique d'avion



La modélisation
numérique du
climat

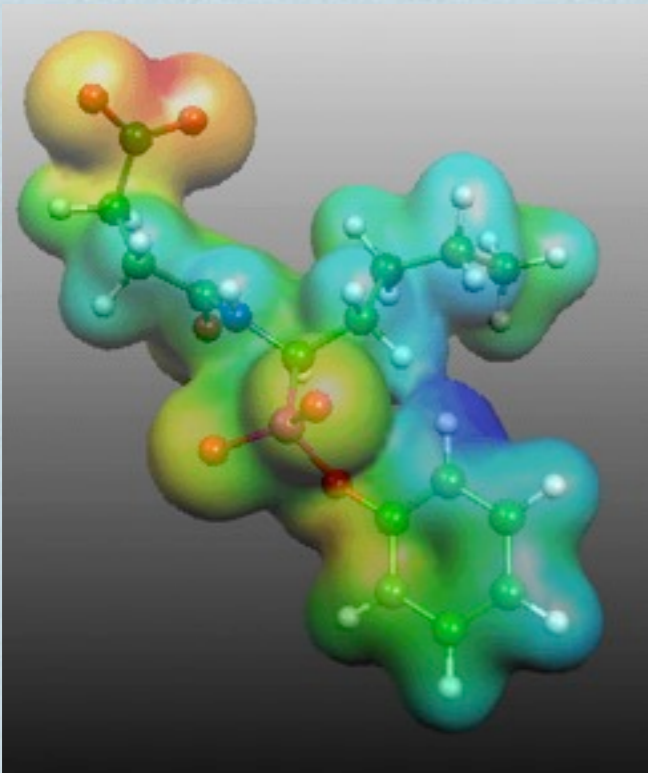


Modèle numérique d'un volcan



Réalité
augmentée
du cerveau

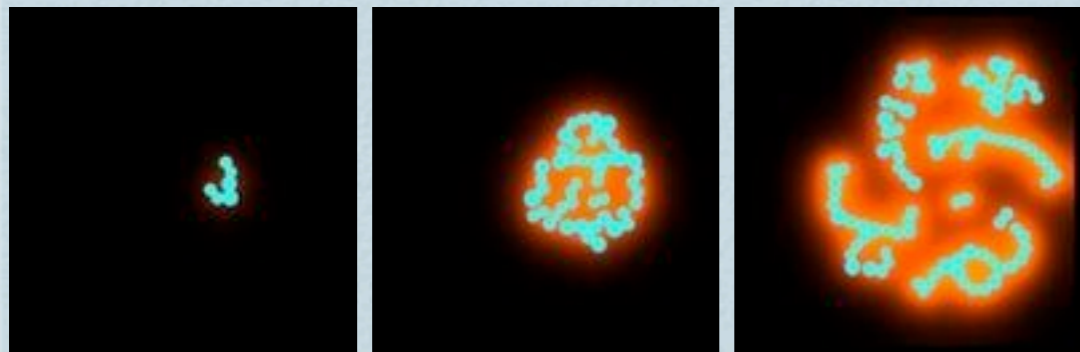
Exemples de modèles



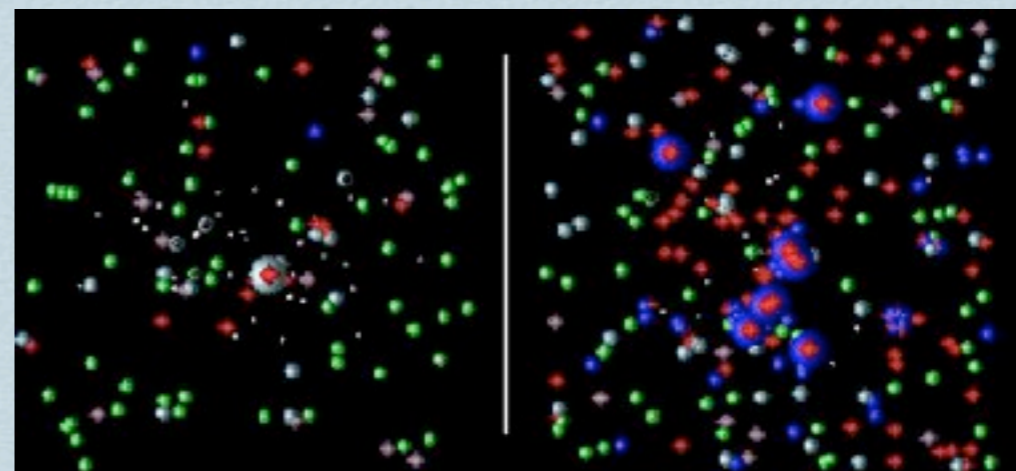
Modèle numérique de molécules



Modèles d'arbres

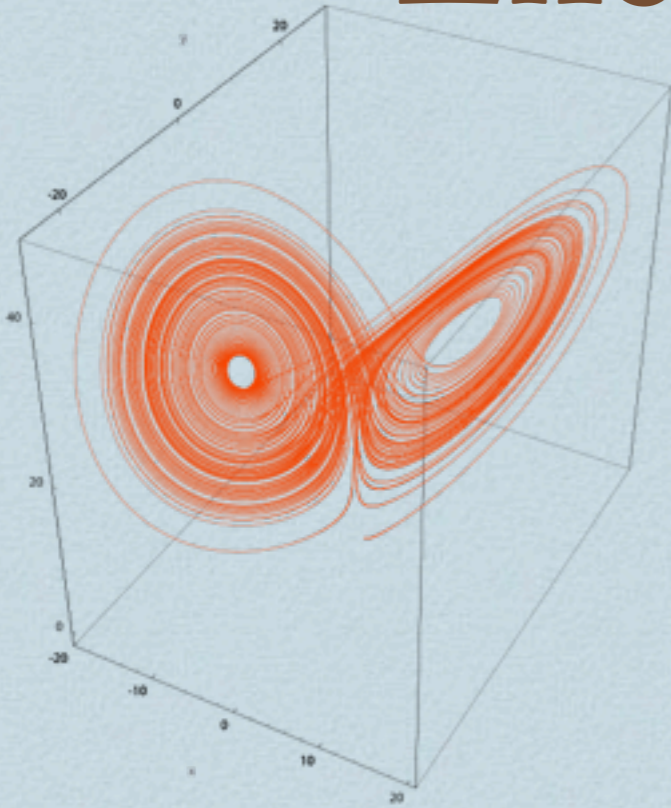


Modèle de formation d'un organisme

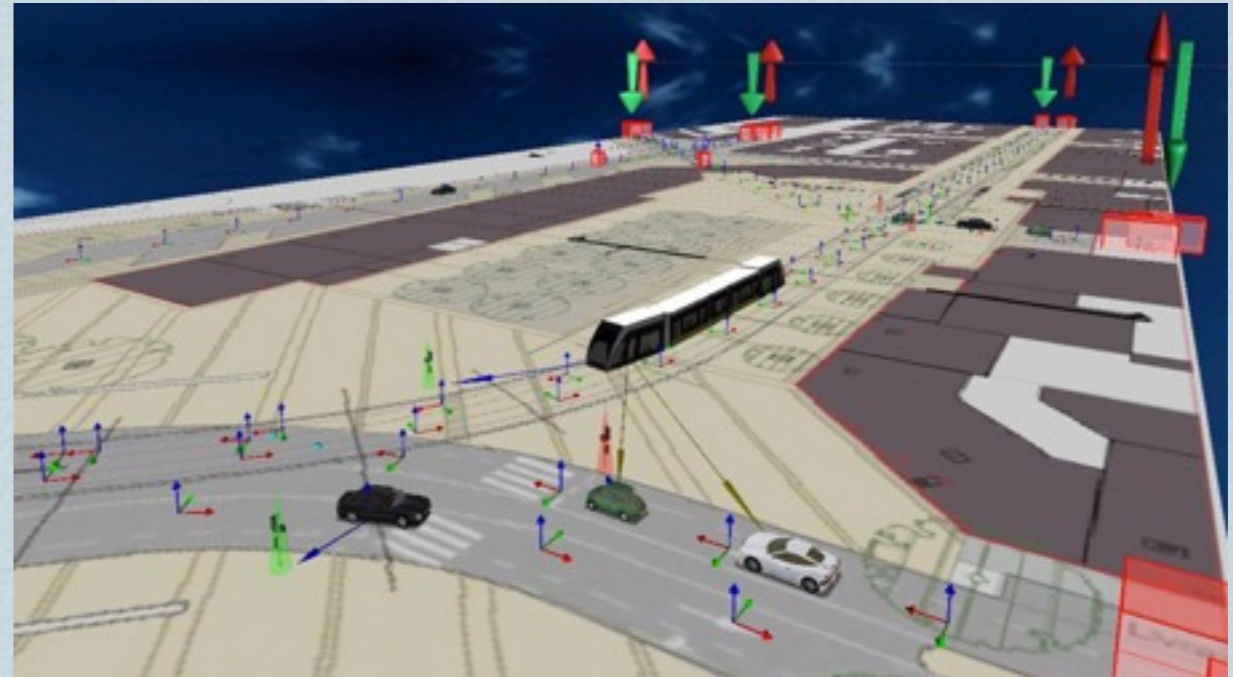


Modèle d'une réponse immunitaire

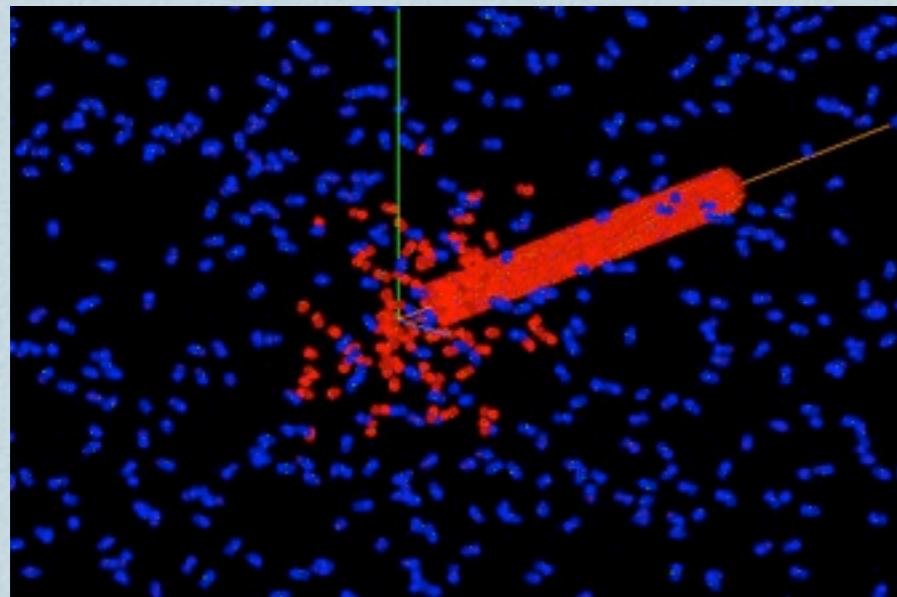
Exemples de modèles



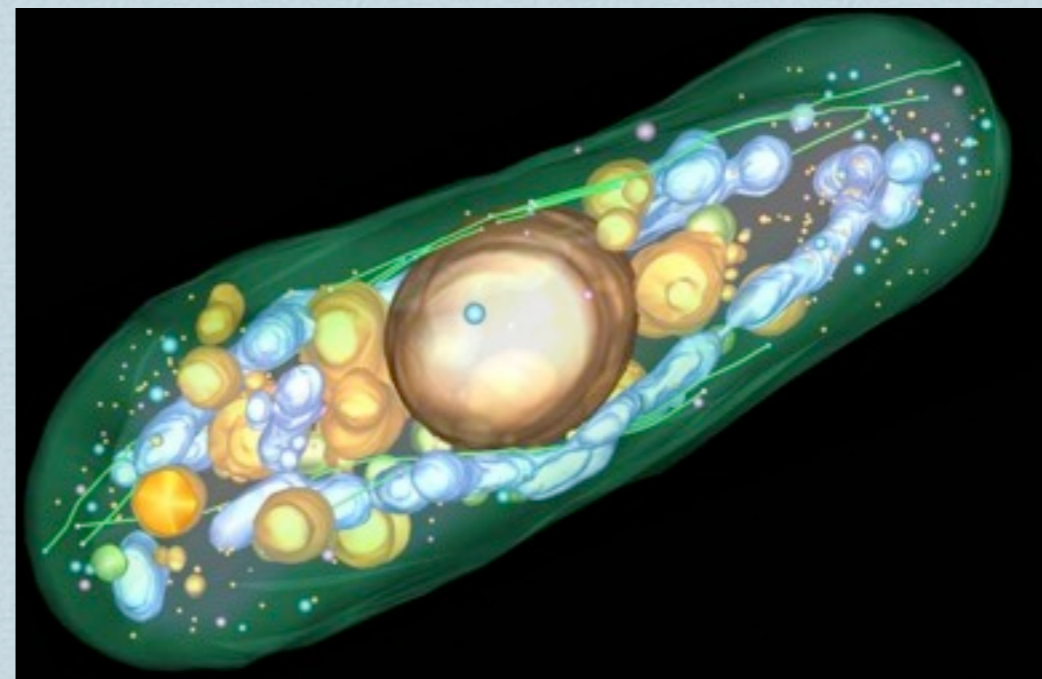
Modèle atmosphérique



Modèle de circulation routière



Modèle de formation d'un microtubule



Modèle d'une cellule

Conclusion

- ❖ Nous avons vu ce qu'est un modèle (simplification de la réalité, maquette)
- ❖ et pourquoi on fait des modèles en science (comprendre, partager, prévoir)
- ❖ Nous avons réalisé un modèle d'épidémie (virus dans une population)
- ❖ puis étudié ce modèle (courbes)
- ❖ et enfin modifié ce modèle (rhume, grippe, masques...)
- ❖ Finalement, nous avons étudié un système complexe, simplement !

Démarche de modélisation

- ❖ **Description du système réel**
 - a) Etude bibliographique
 - b) Résultats d'études réelles, etc

- ❖ **Modélisation**
 - a) Questions ? (courbe d'évolution du nb de personnes malades + comment réduire efficacement le pic épidémique)
 - b) Simplification du syst. réel (pertinente+plausible)
 - c) Description + ou - formelle du modèle (texte, schéma, storyboard, tableau...)

Démarche de modélisation

❖ **Implémentation informatique**

a) Entités : PS, PM, PI, V

b) Comportements : $PS+V = 0.5 \Rightarrow PM$, $PM = 0.01 \Rightarrow PI$, etc

c) Environnement : grille 2D de taille 100x100

d) Etat initial : placement aléatoire de 500 PS + 10 V

❖ **Simulation**

a) Résultats (courbes, patterns)

b) Réponses à nos questions ? Courbe du nb de malades ressemble aux courbes réelles ? Test de réduction du pic épidémique : immunisation par vaccin de la pop, masques...

Démarche de modélisation

❖ **Conclusion**

a) Les + du modèle (ok zone géographique réduite France, etc)

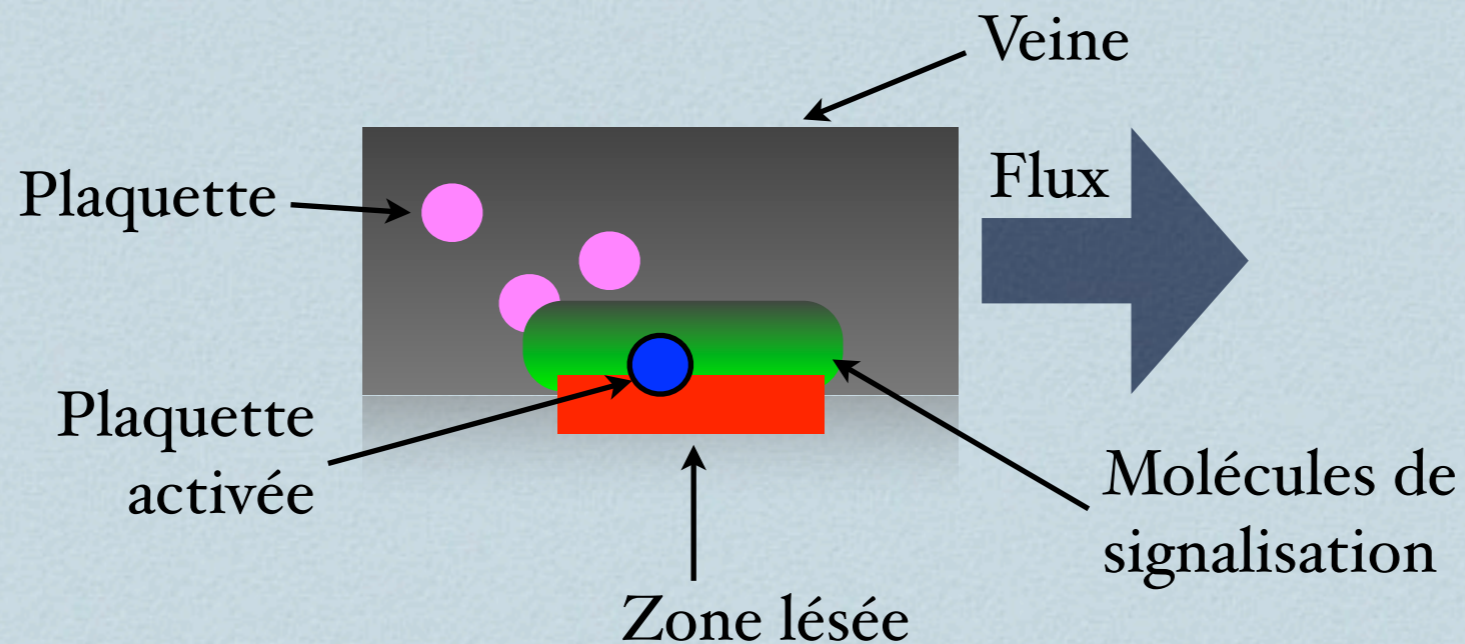
b) Les - du modèle (ne marche pas pour une zone > Europe, etc)

❖ **Perspectives**

a) Quelles sont les améliorations souhaitables ?

Mise en pratique : Coagulation du sang

- ❖ **Systeme réel** : coagulation du sang suite à une lésion
- ❖ **Modélisation**



Mise en pratique : Coagulation du sang

❖ **Implémentation**

Entités : Plaq, Plaqa, PlaqaF, Mol, ZL, DebV, FinV, FinEnv

❖ **Comportements**

Marche aléatoire pour Plaq, Plaqa, Mol

Fixation pour V, PlaqaF, ZL, DebV, FinV, FinEnv

SecretionMol : $ZL = 0.1 \Rightarrow ZL + Mol$

ActivPlaqa : $Plaqa + Mol = 0.9 \Rightarrow Plaqa$

FixationPlaqa : $Plaqa + ZL = 0.9 \Rightarrow PlaqaF + ZL$

Mise en pratique :

Coagulation du sang

❖ **Comportements (Flux sanguin)**

ApparitionPlaq : $DebV = 0.01 \Rightarrow DebV+Plaq$

FinMol : $FinV+Mol = 0.9 \Rightarrow FinV$

FinPlaq : $FinV+Plaq = 0.9 \Rightarrow FinV$

FinPlaqA : $FinV+PlaqA = 0.9 \Rightarrow FinV$

❖ **Comportements (Migration)**

Plaq migre vers FinV avec intensité 0.5

PlaqA migre vers FinV avec intensité 0.5

Mol migre vers FinV avec intensité 0.1

Réponse immunitaire

Entités:

B: Mobilite = 1.0, 1/2 Vie = 500.0
Ba: Mobilite = 1.0, 1/2 Vie = infinie
P: Mobilite = 1.0, 1/2 Vie = 500.0
Ac: Mobilite = 1.0, 1/2 Vie = 100.0
V: Mobilite = 1.0, 1/2 Vie = infinie
C: Mobilite = 0.0, 1/2 Vie = infinie
Ci: Mobilite = 0.0, 1/2 Vie = infinie
Moel: Mobilite = 0.0, 1/2 Vie = infinie

Comportements:

ActivProlifB : $B + V = 0.9 \Rightarrow Ba + Ba$
Differentiation : $Ba = 0.05 \Rightarrow P$
ProdAc : $P = 0.1 \Rightarrow P + Ac$
FixAc : $V + Ac = 1.0 \Rightarrow _$
Infection : $C + V = 0.01 \Rightarrow Ci$
ProdV : $Ci = 0.1 \Rightarrow Ci + V$
CiRemplaceeParC : $Ci = 0.01 \Rightarrow C$
ProdB : $Moel = 0.01 \Rightarrow Moel + B$
ExpB : $Ba = 0.1 \Rightarrow Ba + Ba$