



**LA HORDE**

# Algorithmique / IA

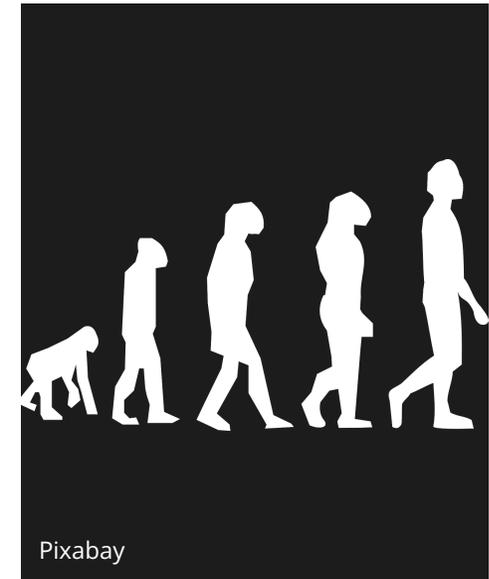
- Les automates cellulaires ?
  - Un agent ?
  - Systèmes multi agents ?
  - Un exemple ?



# ICEBREAKER



# Algorithmique / IA



Pixabay

Découverte des algorithmes évolutionnistes



Reto Scheiwiller - Pixabay

Application sur les automates cellulaires : le jeu de la vie



Reto Scheiwiller - Pixabay

Découverte de l'apprentissage par renforcement



Pixabay

Application sur les colonies de fourmis : le cas TSP



Pavel Danilyuk - Pexels

L'Optimisation par essaim particulière (PSO) avec et sans voisinage



# Questions ?



# Les automates cellulaires

Comprendre les bases : les systèmes multi-agents

**01**

**Systemes multi agents**



**Agent ?**





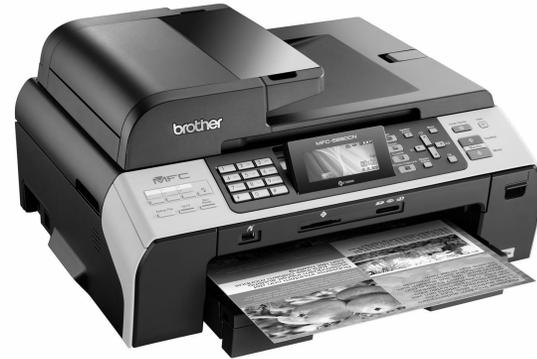
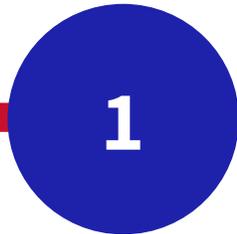
**Agent** = un **Système** (mécanique, biologique, logiciel) **interagissant** avec un **environnement**



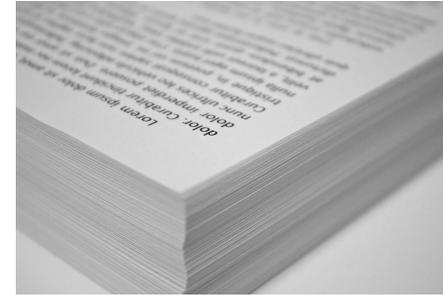
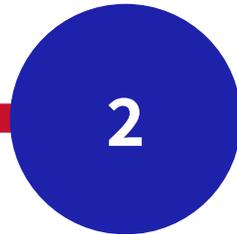
# Agent mécanique



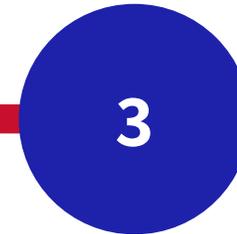
**Commande**



**Agent**



**Actions**

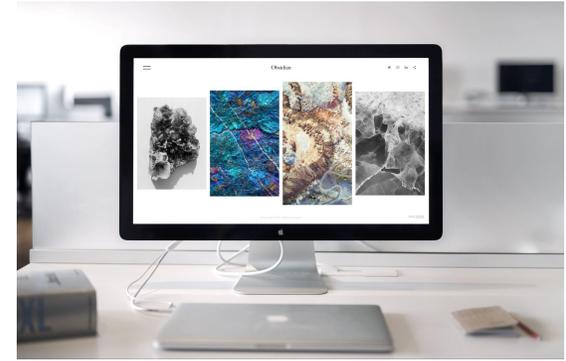


# Agent biologique



**+ d'autonomie et  
de champs d'action**

# Agent logiciel



Entrées

Agent

Sorties

1

2

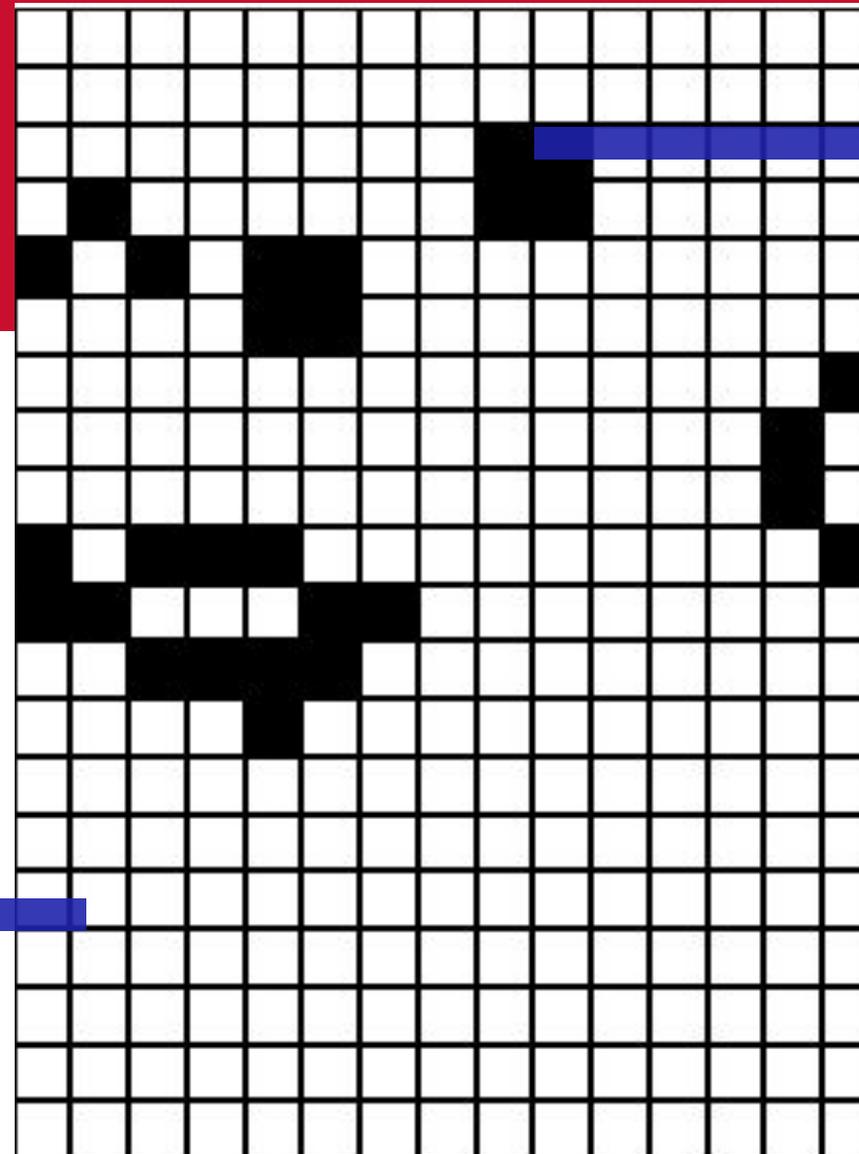
3

programmes  
autonomes

# Systeme multi-agents

**Systeme multi-agent** = systeme compose d'un ensemble d'agents, actifs dans environnement commun et interagissant selon certaines regles.

**Agent** (informatique) = entite entierement ou partiellement autonome (et donc non pilotee par un systeme centralise global)



# Systeme multi-agents

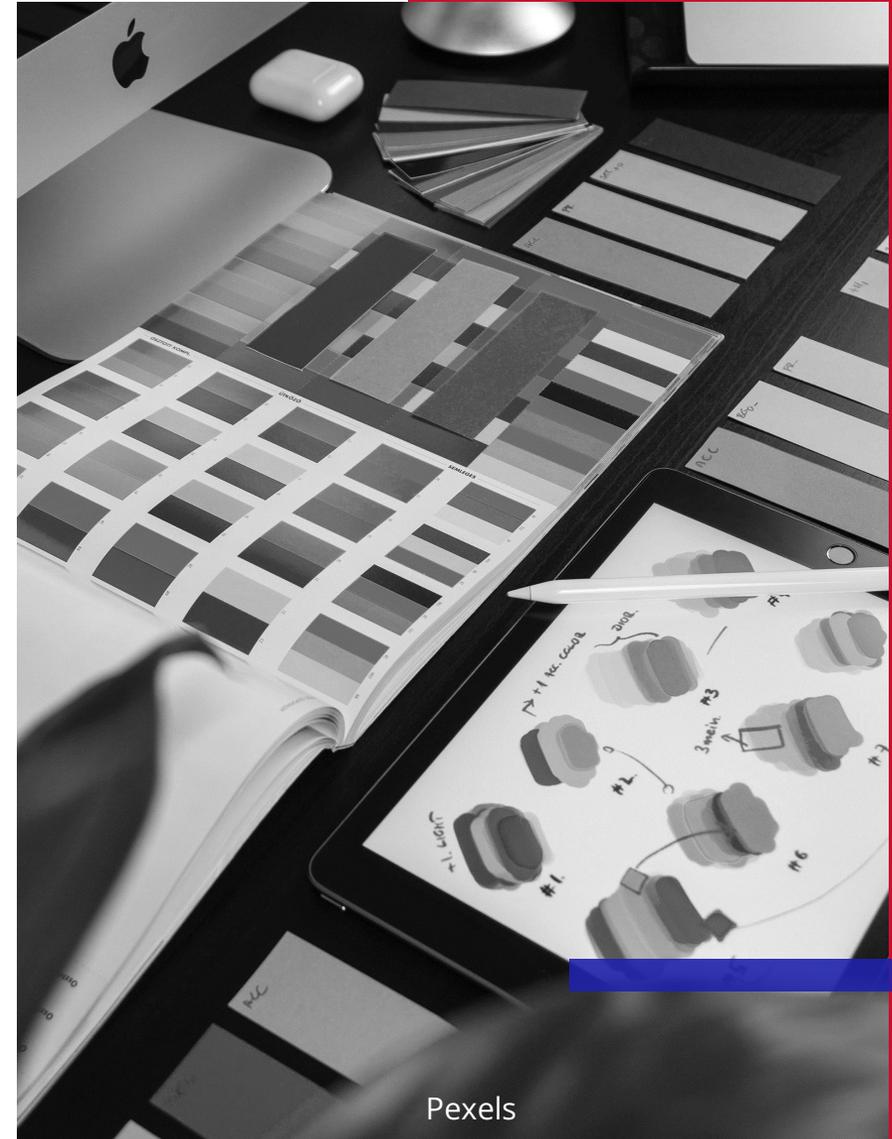
Intérêt des systèmes multi-agent : **modéliser** des **comportements** très **complexes** via plusieurs **agents** très **simples** (suivant des règles d'évolution et leur état initial).

Notes : S'il y a moins de trois agents, on parle plutôt d'**interaction homme/machine**, ou machine/machine



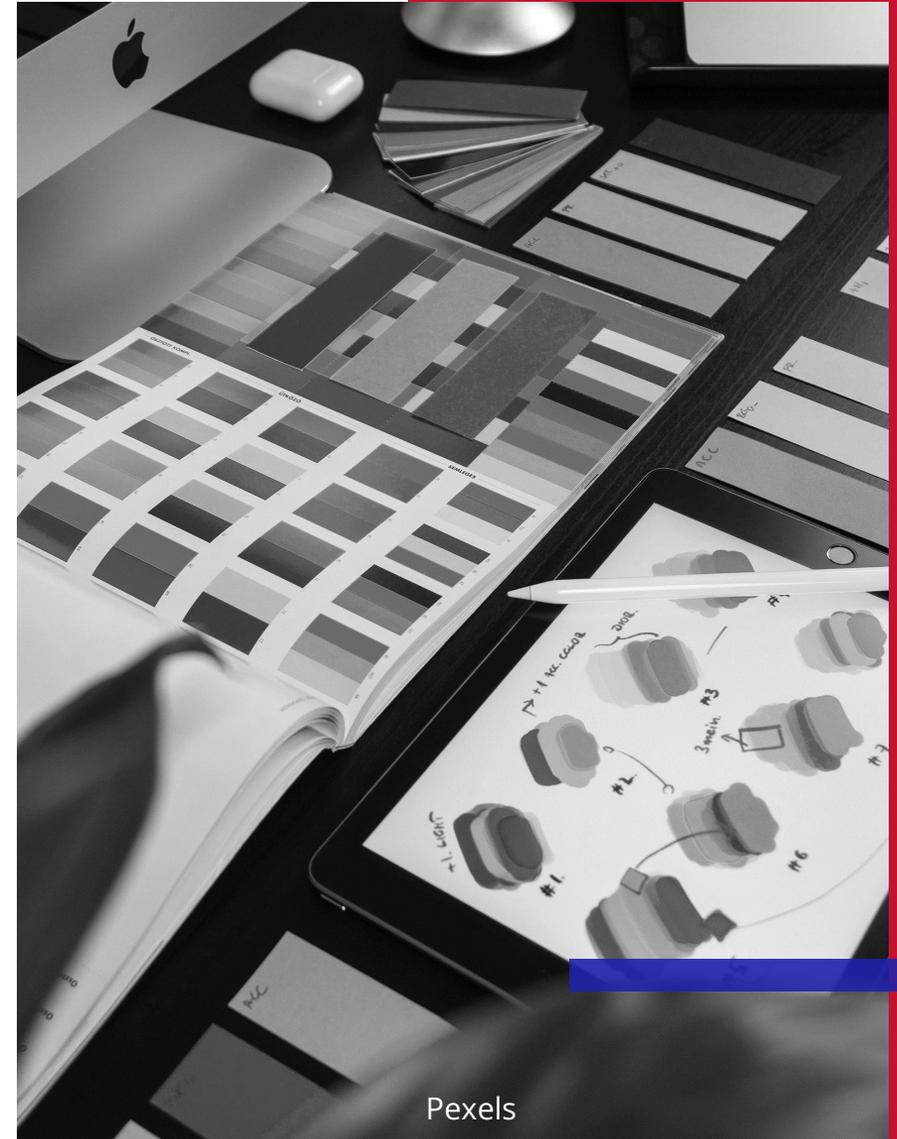
# Squelette d'un système multi agent SMA

- Un **environnement E**
  - = espace avec une métrique
- Un ensemble d'**objets O**
  - = objets passifs pouvant être perçus, créés, modifiés, supprimés dans l'environnement E par les agents
- Un ensemble d'**agents A**
  - = entités actives du système



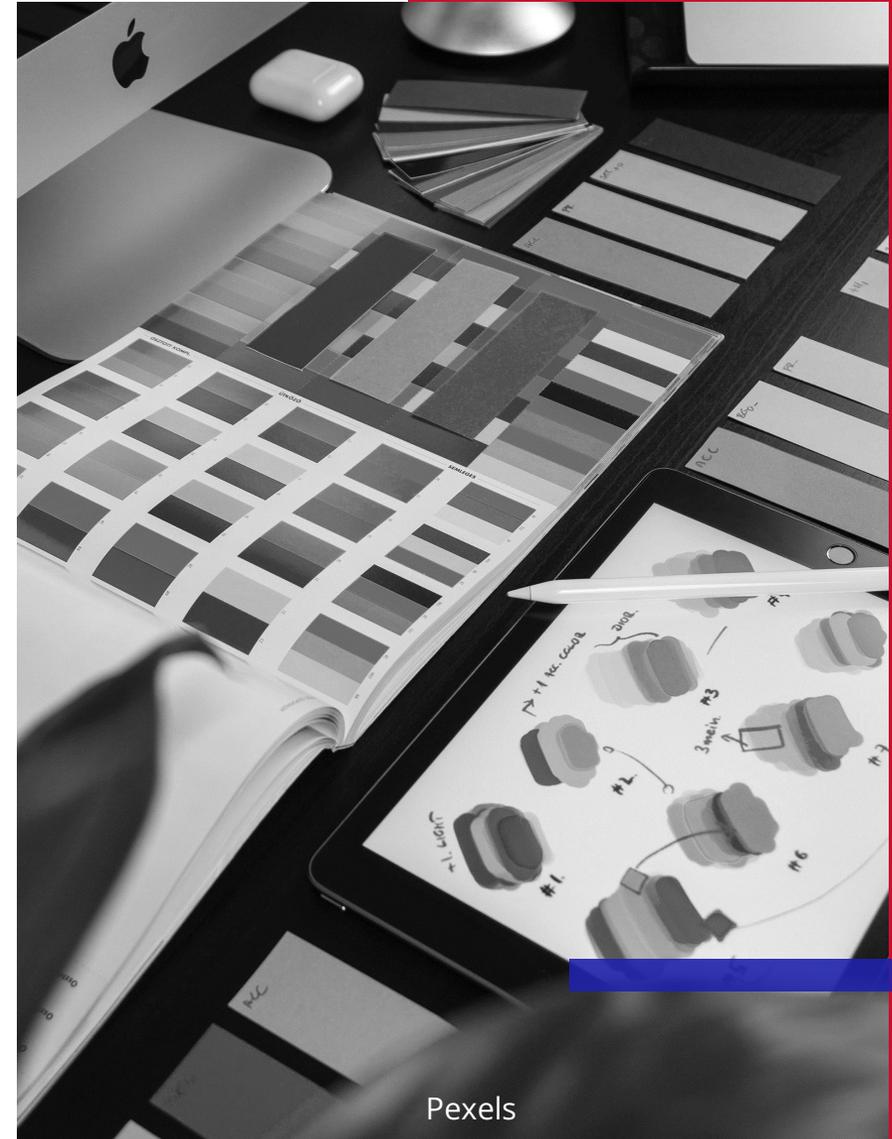
# Squelette d'un système multi agent SMA

- Un ensemble de **relations R**
  - = relations liants les agents A et les objets O
- Un ensemble d'**opérations Op**
  - = actions permettant aux agents d'intégrer avec les objets O
- Des **opérateurs** chargés de représenter l'application de ces opérations et la réaction du monde à cette tentative de modification, que l'on appellera les **lois de l'univers**.



# Squelette d'un système multi agent SMA

- Un **environnement E**
- Un ensemble d'**objets O** (utilisés par les agents A dans l'env E)
- Un ensemble d'**agents A**
- Un ensemble de **relations R** (liant les agents A et les objets  $O^o$ )
- Un ensemble d'**opérations Op** (actions des agents A sur les objets O)
- Des **opérateurs** (représente les applications d'opérations Op)
  - Les **lois de l'univers**. (réaction du monde)



# 02

## Les automates cellulaires



# Quelques grands noms

---



# John Von Neumann

John Von Neumann (1903-1957) était un mathématicien et physicien américano-hongrois.

Domaines de recherches :

- la logique mathématique
- la mécanique quantique
- l'économie
- l'armement atomique
- l'informatique
- la modélisation d'automates cellulaires
- l'analyse fonctionnelle.



# John Von Neumann

Neumann voulait montrer que la reproduction suit des règles mathématiques précises et déchiffrables.

Avec Stanislas Ulam, il modélise mathématiquement un processus d'auto-reproduction. Ses travaux inspireront Conway et son jeu de la vie.

Oeuvres et travaux : Theory of Self-Reproducing Automata, Algèbre de Von Neumann, Architecture de Von Neumann, développement de la bombe atomique...

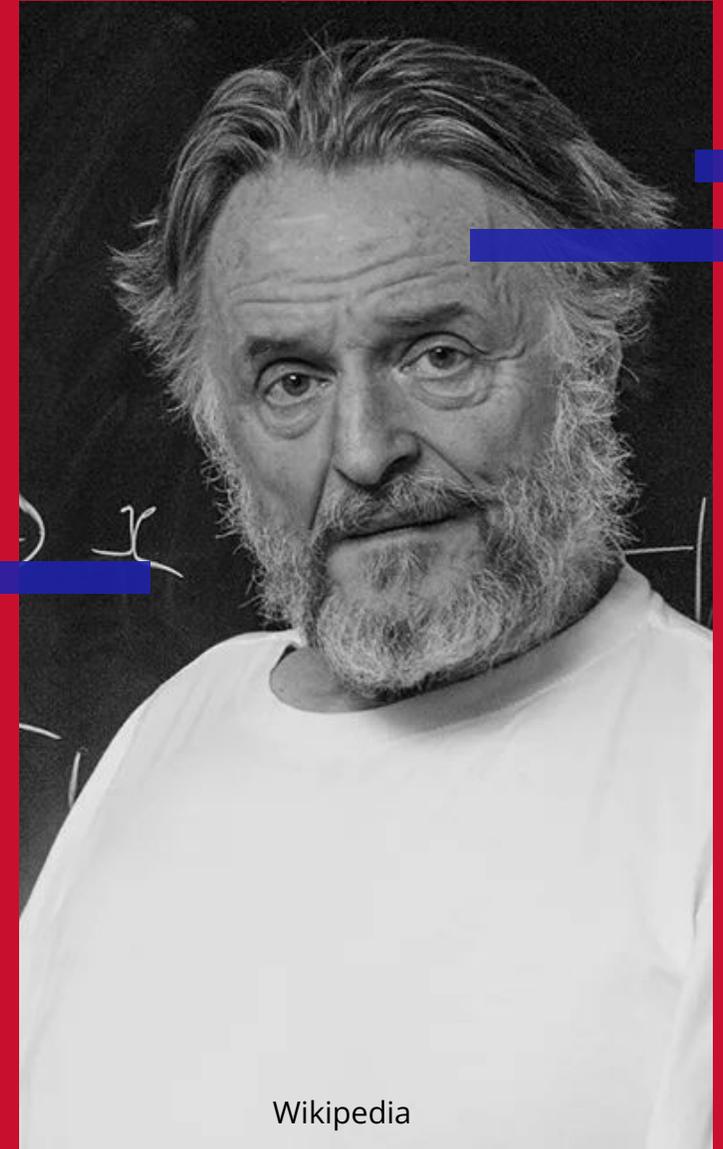


Wikipedia

# John Conway

John Horton Conway (1937-2020) était un mathématicien britannique.

Il est notamment connu pour ses travaux sur **la théorie des jeux combinatoires** et l'invention d'un automate cellulaire : **le jeu de la vie**.

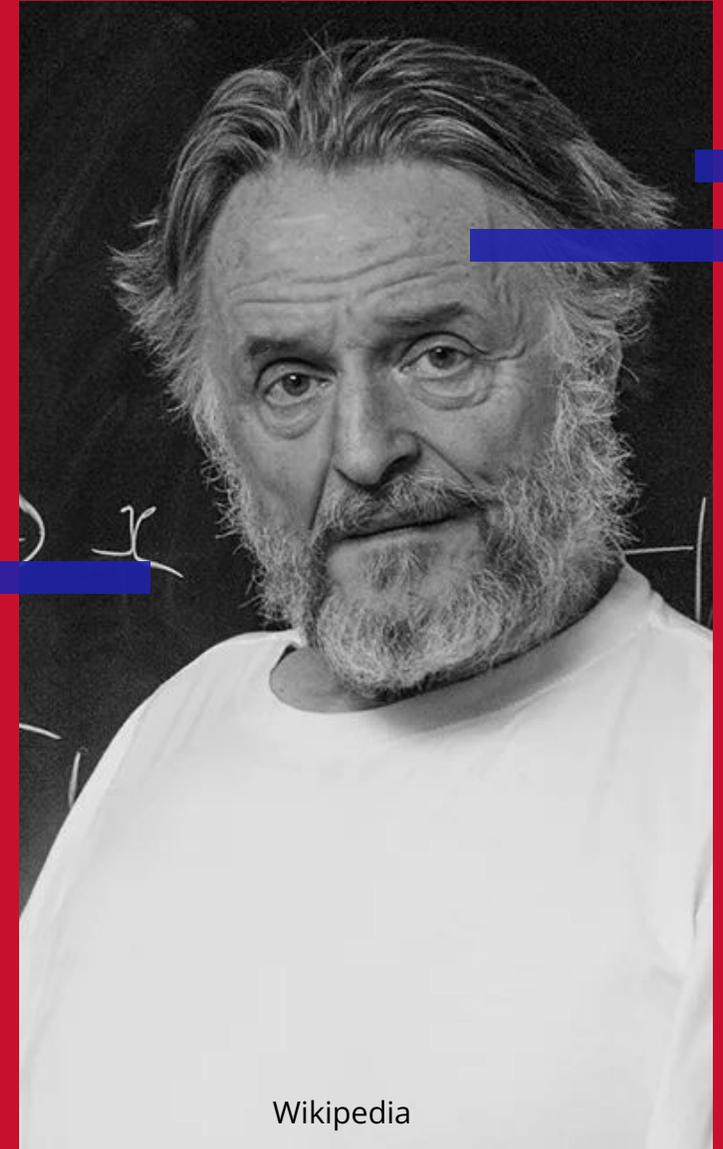


Wikipedia

# John Conway

Il a également travaillé sur les théories des groupes finis, des nœuds, des nombres et des codes.

Oeuvres et travaux : Jeu de la vie, Atlas des groupes finis, notation des flèches chaînées de Conway, le critère de Conway, les groupes de Conway, la notation de Conway, la notation de Conway des polyèdres...



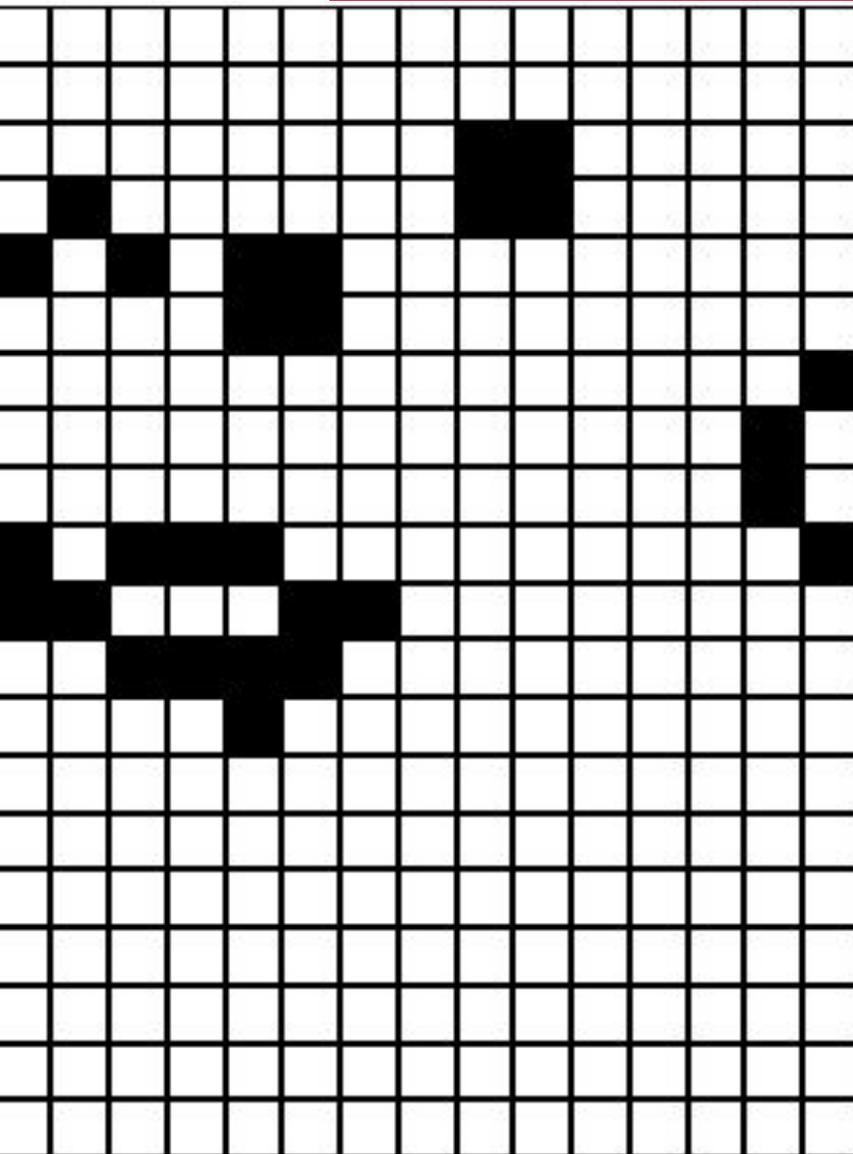
Wikipedia



# Conceptualisation

---





# Définition

- **Environnement = Grille régulière 2D**
- **Objets / Agents : cellules**
  - **détenant un état**
    - **évolutif**
    - **parmi un ensemble fini**
  - **régies par des règles d'évolution**



# Cas d'usage

---





Pexels

# Cas d'usage

- **Modélisation de phénomènes physiques**
- **Contamination**
- **Mouvement de population**
- **Fractales**



Pexels

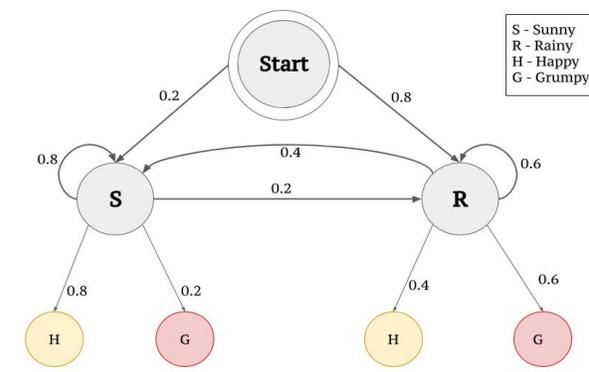
# Cas d'usage

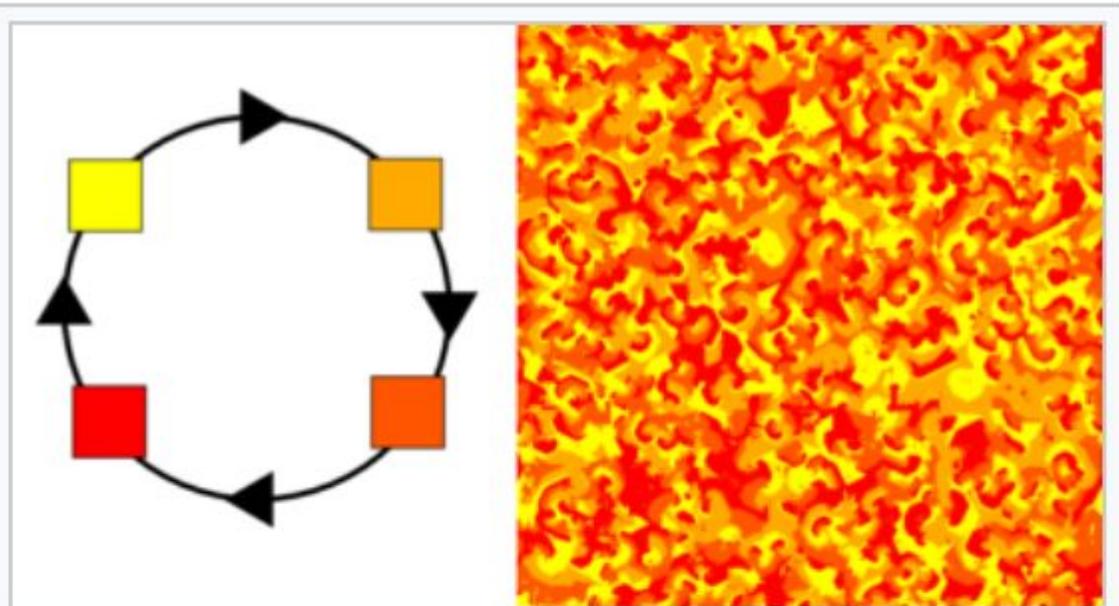
- **Créativité graphique**
- **Jeu de la vie**
- **Monde virtuel 3D (*combiné à génération procédurale*)**



# Particularité

- **Points de vue multiples**
  - **Système dynamique (HMM)**
  - **système de calcul**
  - **évolutionniste**
- **Ecart**
  - **Simplicité définition**
  - **Complexité des comportements émergents**





À gauche, une règle locale simple : une cellule passe d'un état ( $i$ ) au suivant ( $i+1$ ) dans le cycle d'états dès que  $i+1$  est présent dans au moins 3 des 8 cellules voisines. À droite, le résultat (complexe) de l'application répétée de cette règle sur une grille de cellules. Ce type d'automates cellulaires a été découvert par D. Griffeath.



# Classification Wolfram Automate cellulaire

Introduite par Stephen Wolfram dans son article *Universality and complexity in cellular automata* (1938).

C'est la 1ère tentative de classification des automates cellulaires selon leur évolution à partir de configurations initiales aléatoires.

**4 classes** distinctes ont été définies.

# Classification Wolfram

## Automate cellulaire

- Classe I : presque toute configuration initiale conduit à un **état homogène**. Il est impossible de construire des motifs stables périodiques.
- Classe II : des **structures** stables ou **périodiques** émergent, mais rien de plus.



Pexels

# Classification Wolfram

## Automate cellulaire

- Classe III : comportement chaotique avec des **motifs apériodiques**. À long terme les fréquences d'apparitions des différents motifs se stabilisent.
- Classe IV : « émergence » de structures complexes capables d'**osciller**, de **se mouvoir**, voire de **persévérer** plus ou moins **dans leur auto-organisation** malgré des perturbations structurelles. (ex : Le jeu de la Vie)



Pexels

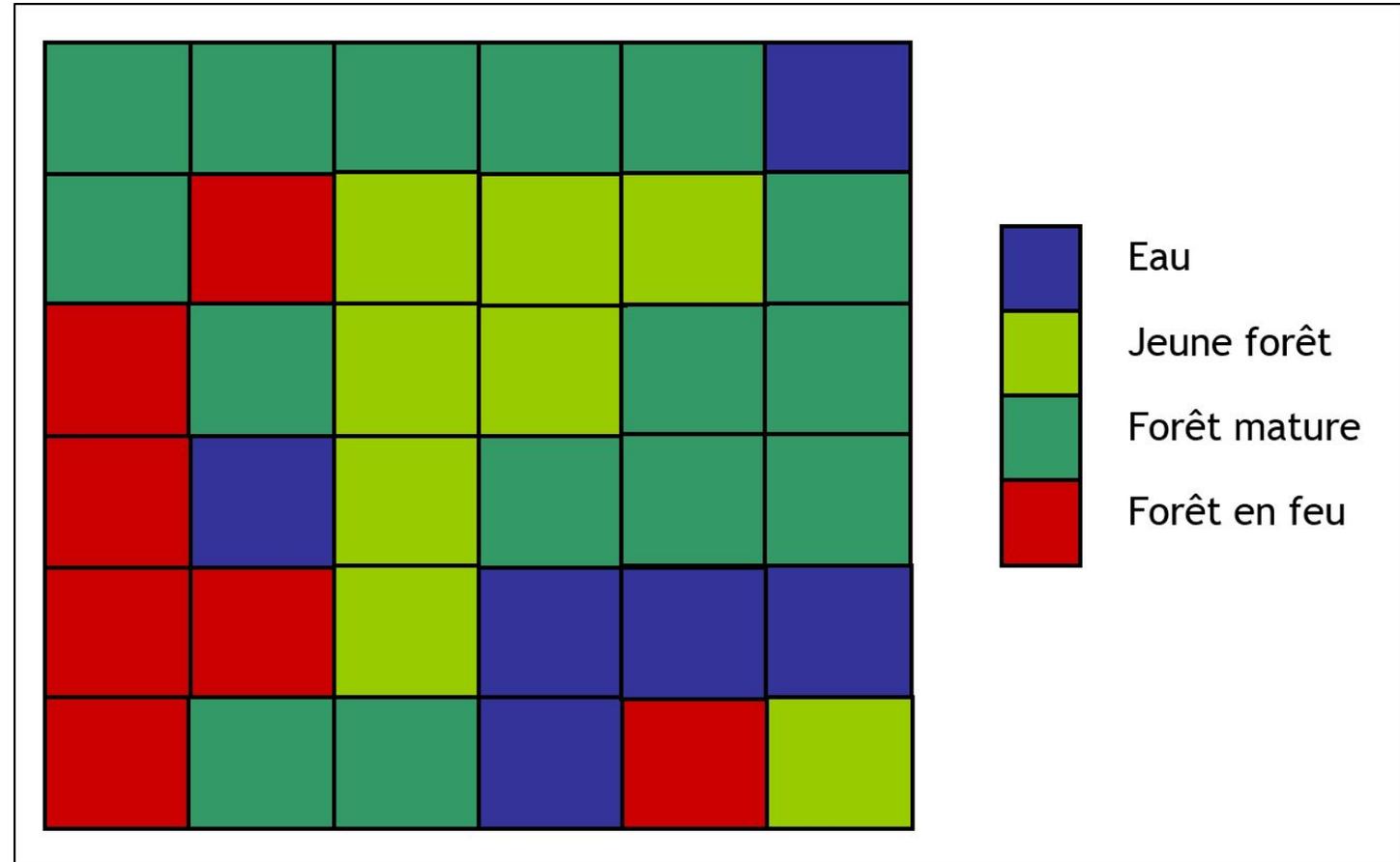


# Exemple : feu de forêt

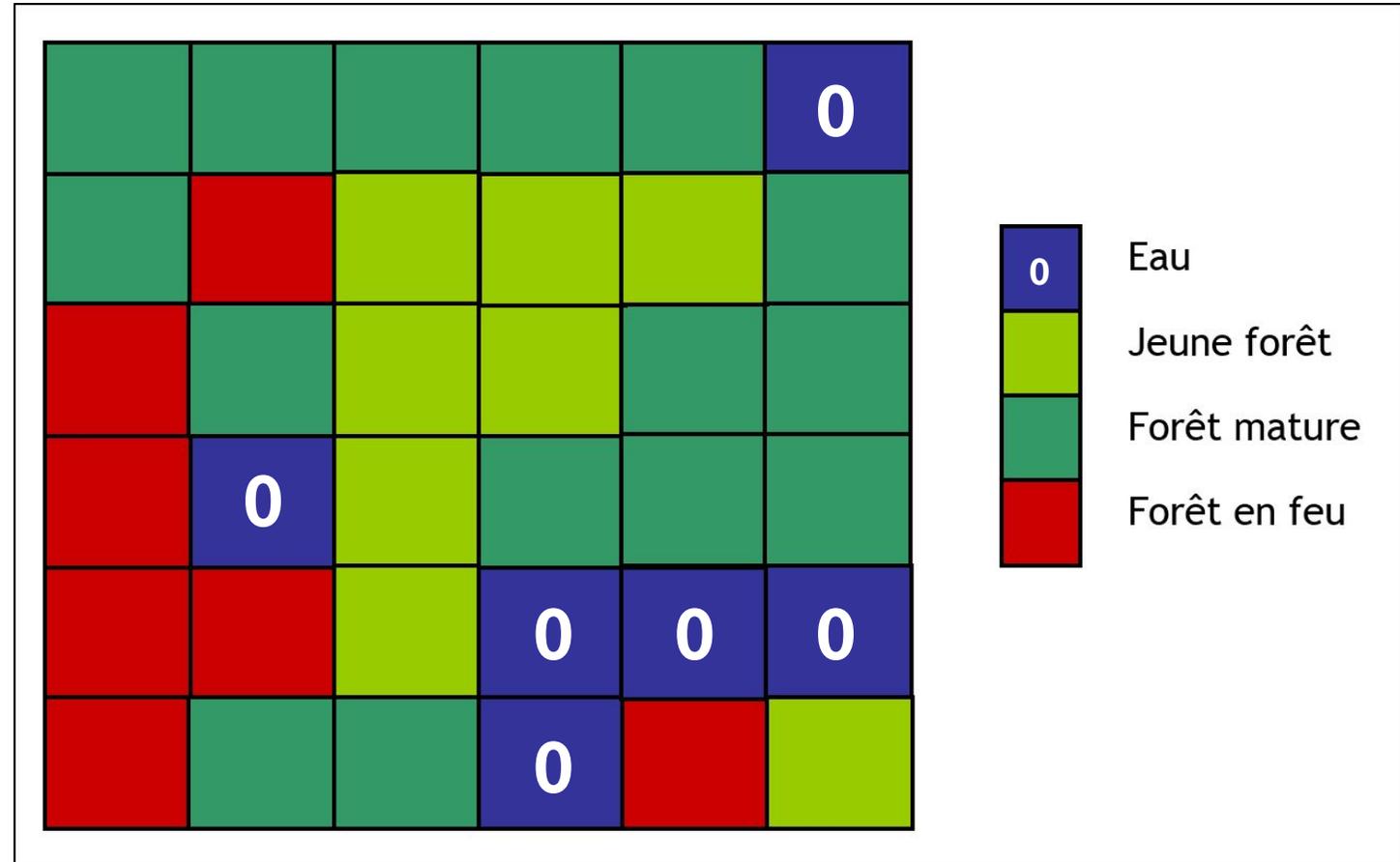
---



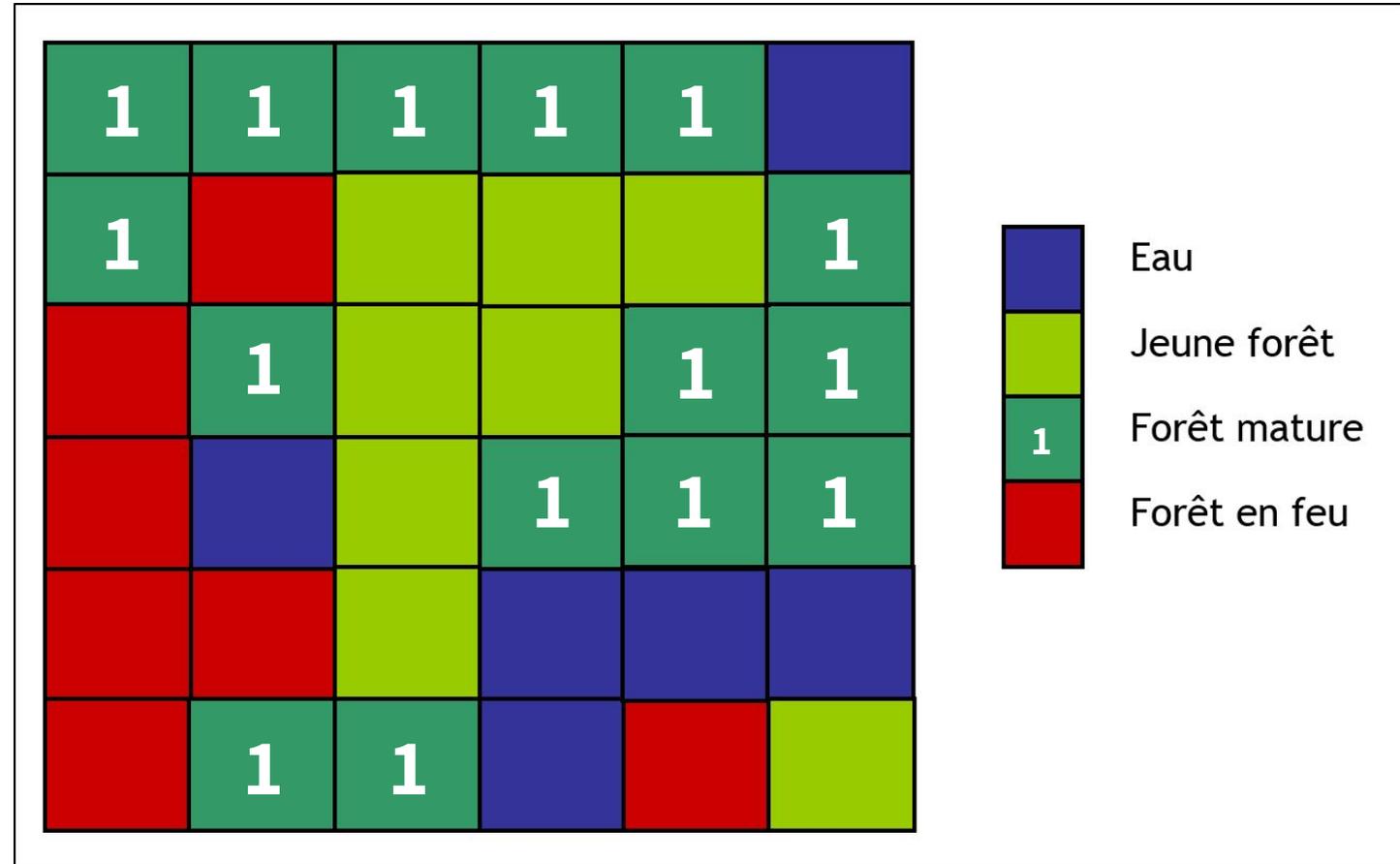
# Feu de forêt



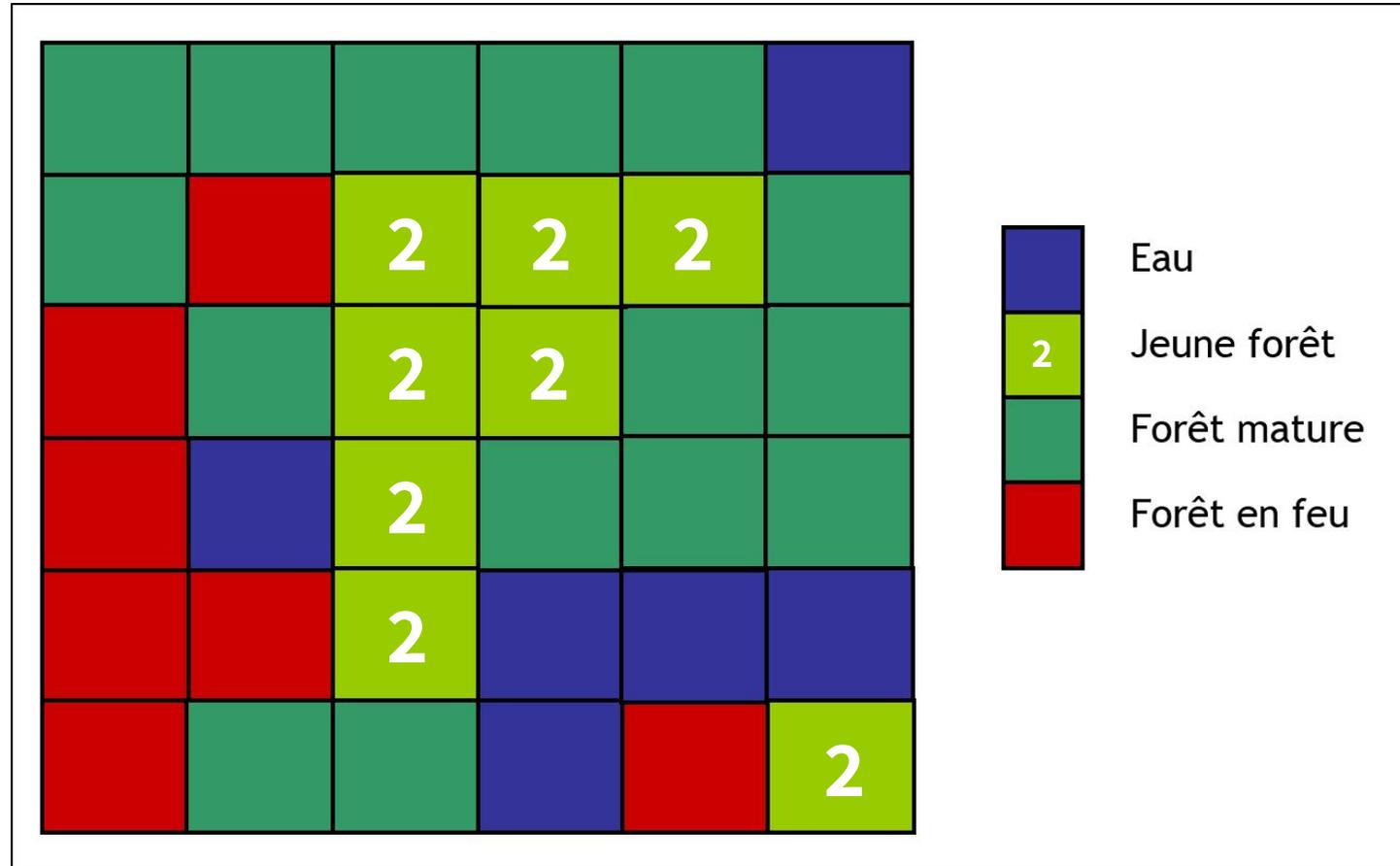
# Exemple



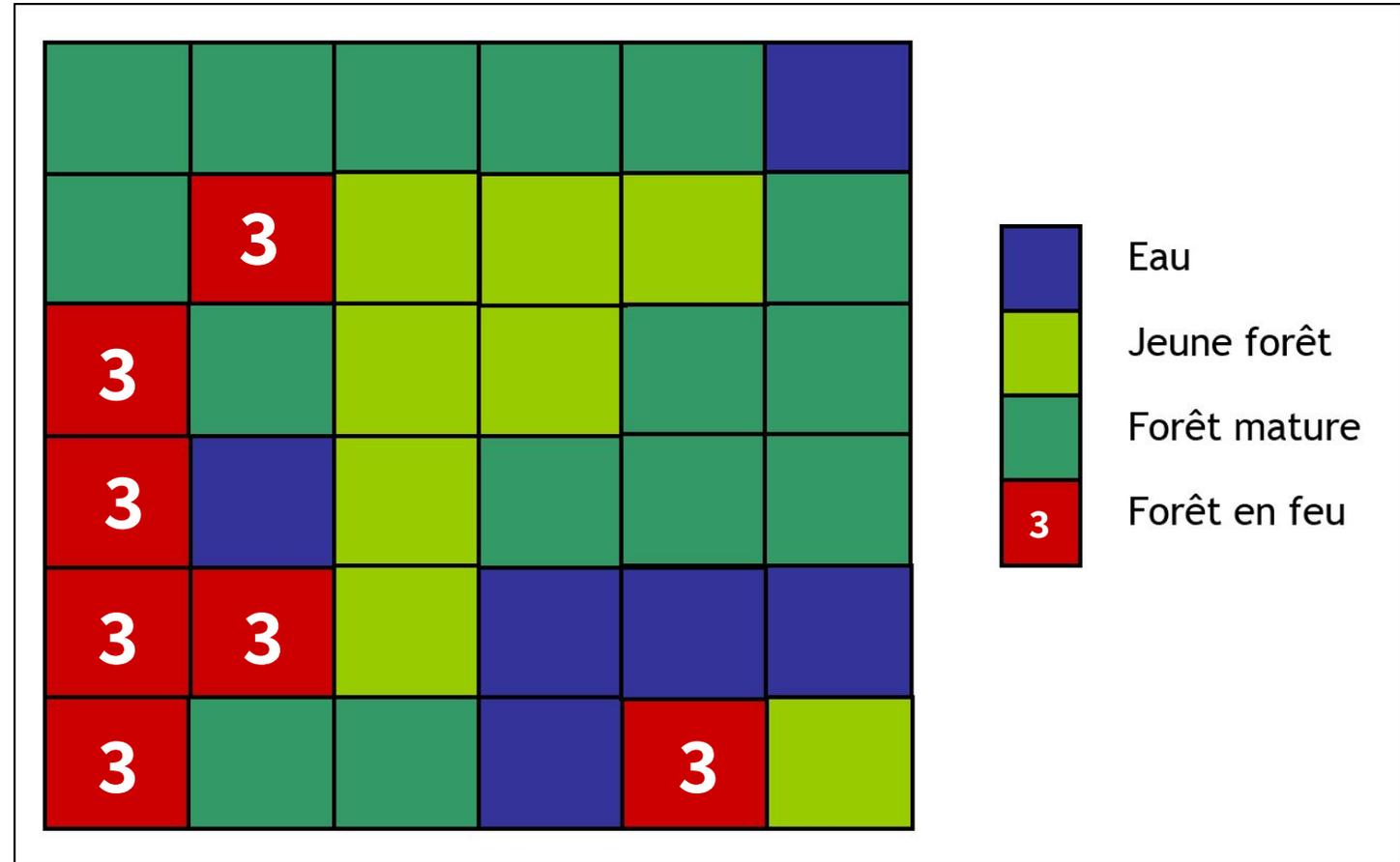
# Exemple



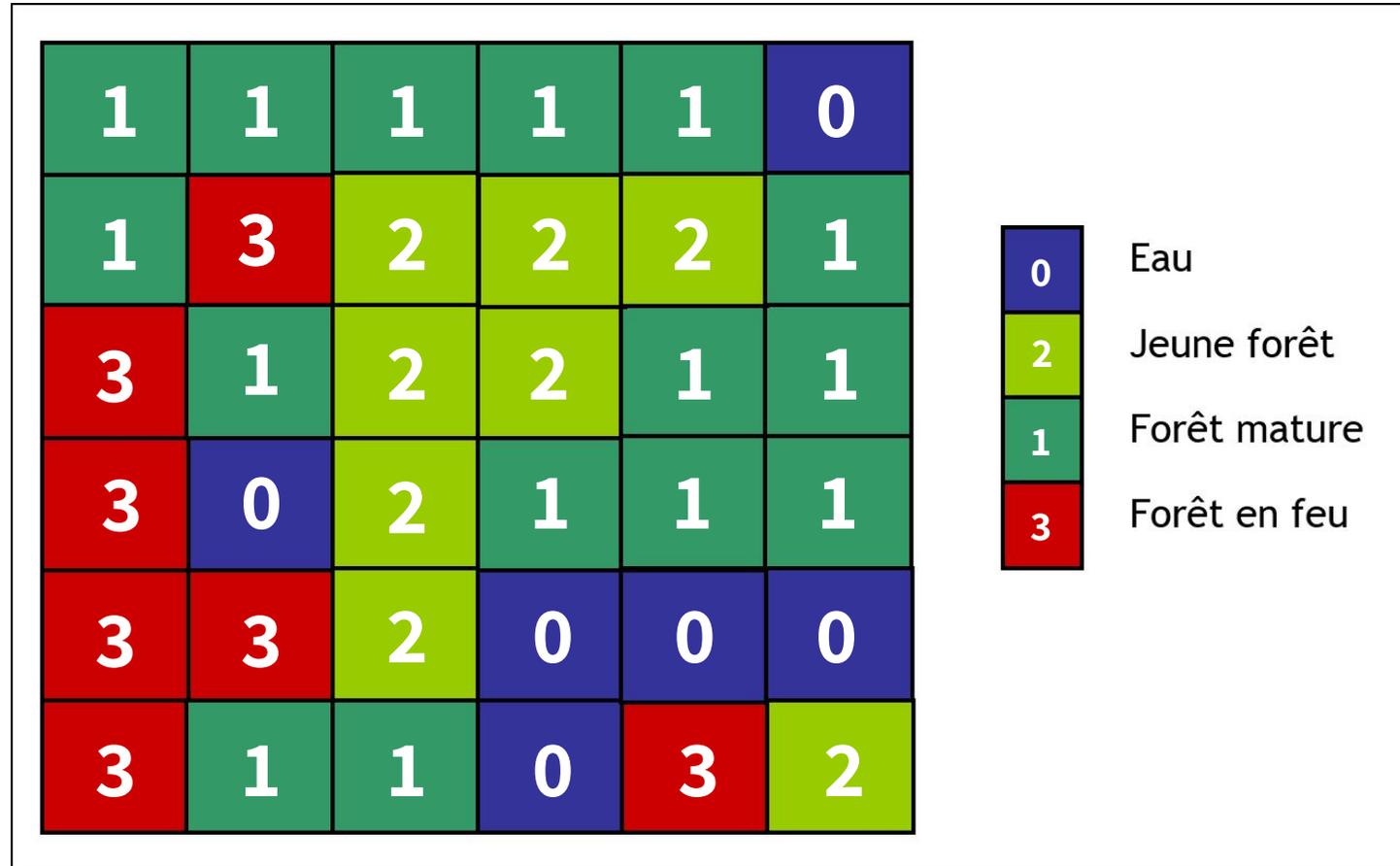
# Exemple



# Exemple



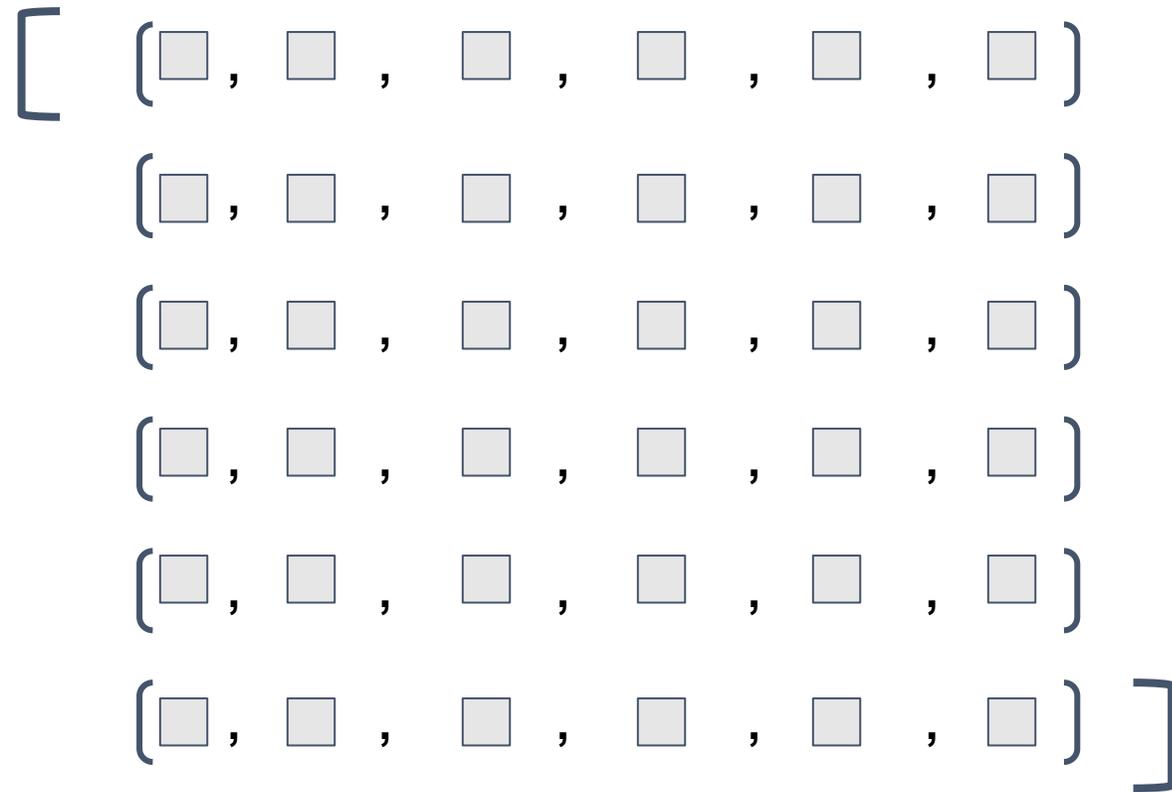
# Exemple



- **Environnement**

- **Espace 2D**

- **grille 6x6 ↔ matrice 6x6 ↔ Tableau 6x6**



- **Cellule**

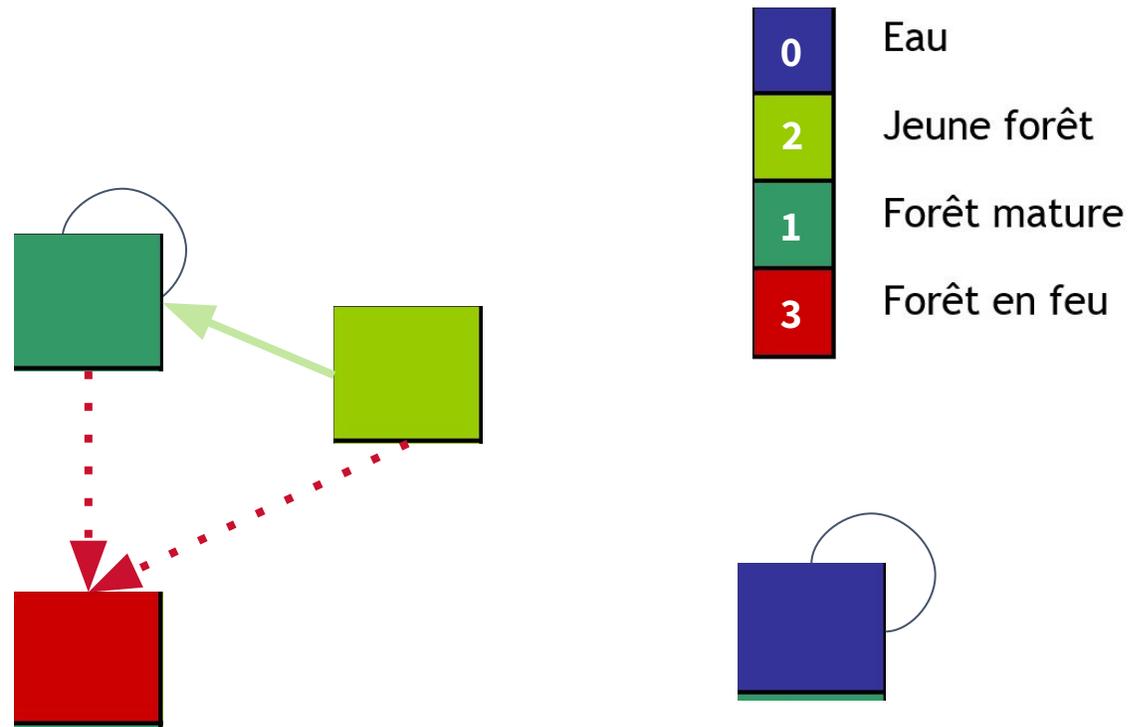
- **Modélisation**
  - **Surface vue du dessus (2D)**

- **Valeur**
  - **états**

0	Eau
2	Jeune forêt
1	Forêt mature
3	Forêt en feu

- **Cellule**

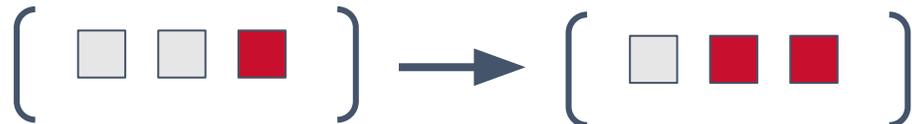
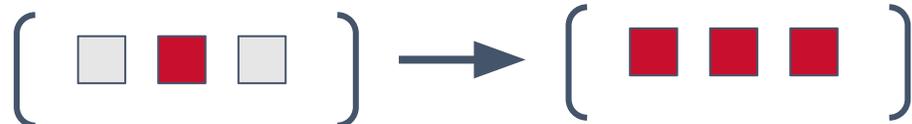
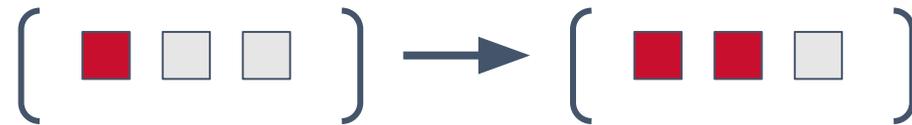
- **Point de vue graphe automate**



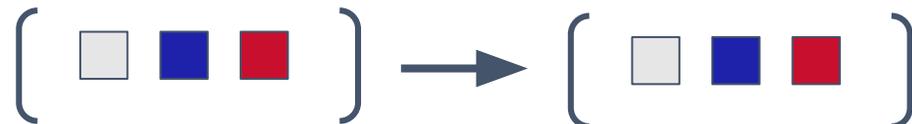
- **Intéractions / règles d'évolution**

- **fonction du voisinage**

- 1. Une zone en feu embrase tout son voisinage  
Sauf s'il s'agit d'eau**



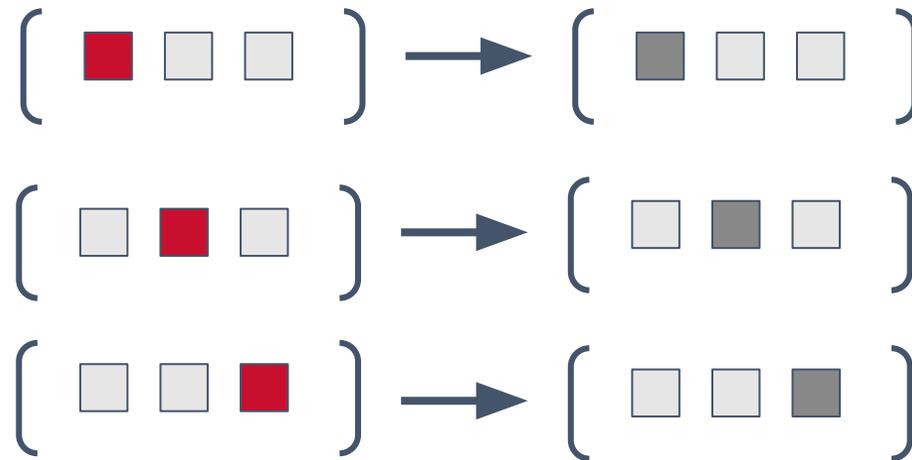
...



- **Intéractions / règles d'évolution**

- **fonction du voisinage**

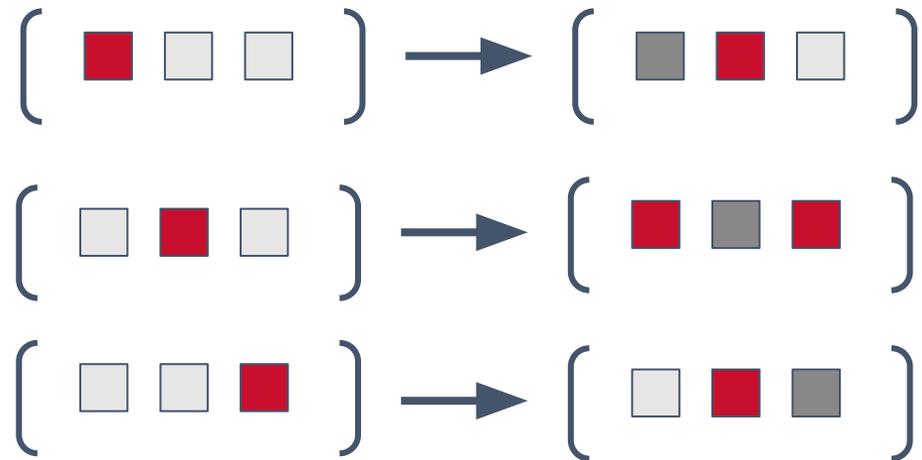
- 2. Une zone en feu réduit un endroit en cendre**



- **Intéractions / règles d'évolution**

- **fonction du voisinage**

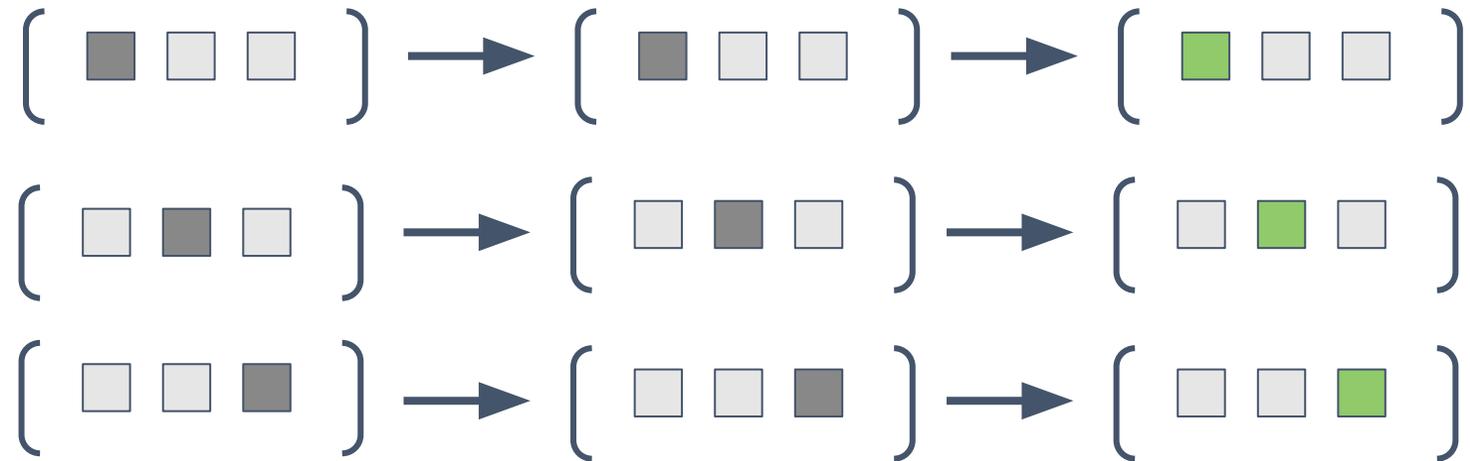
1. **Une zone en feu embrase tout son voisinage  
Sauf s'il s'agit d'eau**
2. **Une zone en feu réduit un endroit en cendre**



- **Intéractions / règles d'évolution**

- **fonction du voisinage**

- 3. Une forêt jeune naît d'un tas de cendre au bout de 2 générations**



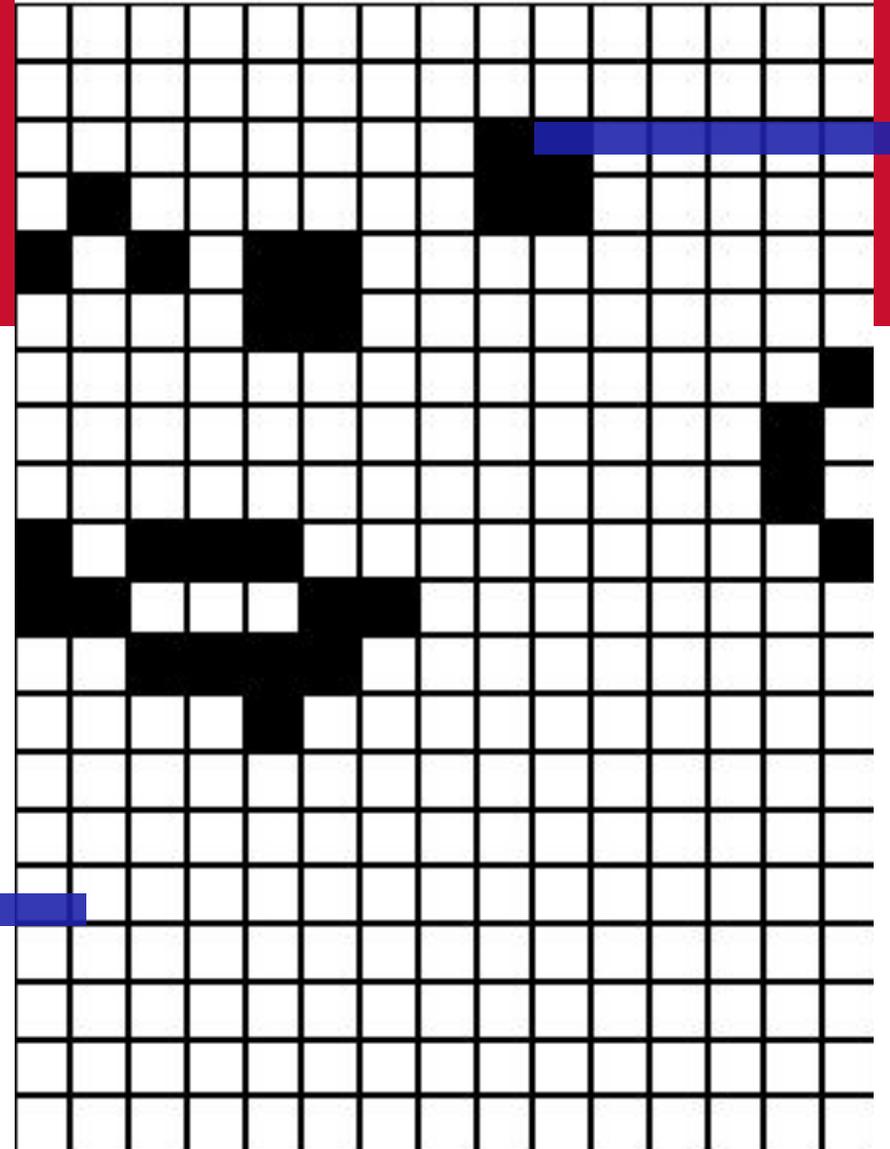


# Jeu de la vie



# Jeu de la vie

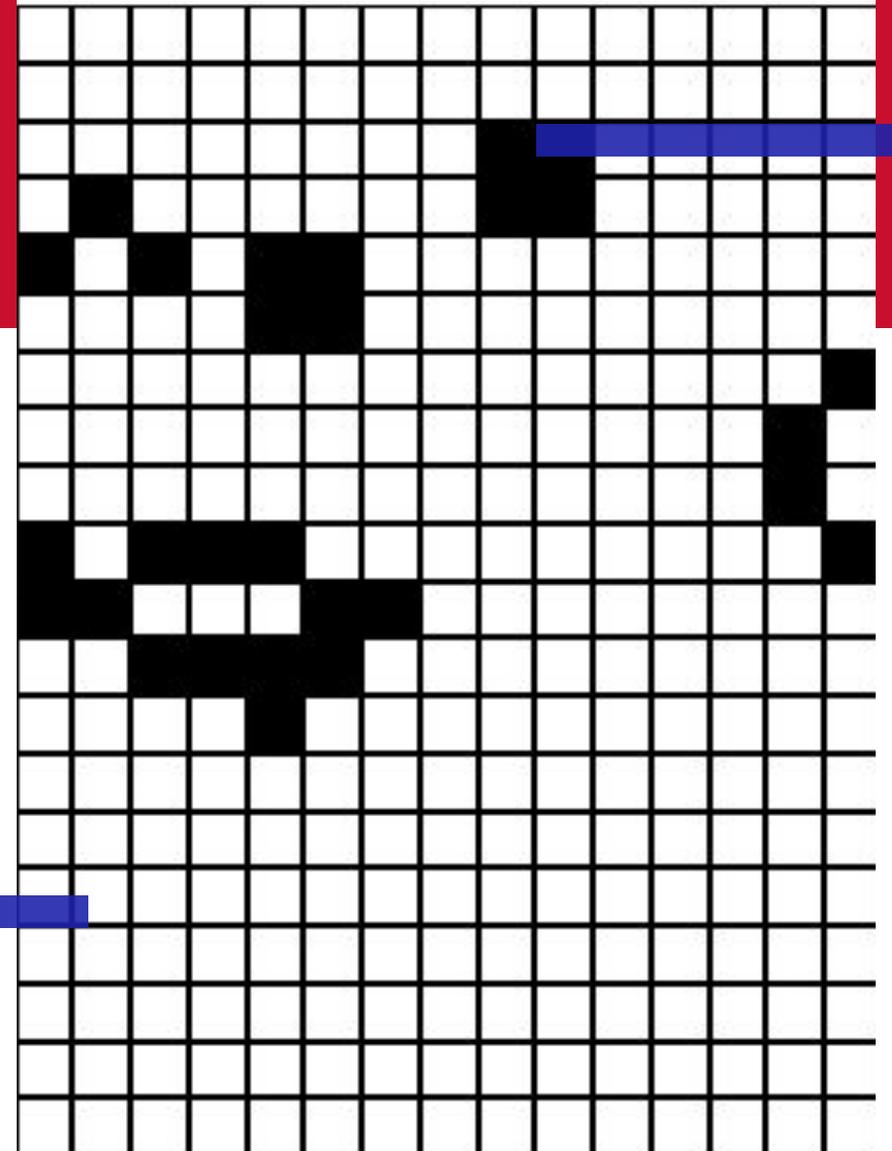
**Caractéristiques** : il s'agit d'un automate cellulaire 2D, synchrone, déterministe et avec la notion de voisinage à 8 cases.



# Jeu de la vie

**Principe:** A l'état initial, chaque case à un état (vivante ou morte). A chaque tour, l'état de toutes les cases est mis à jour en même temps (dynamique synchrone).

L'évolution de l'état d'une case est déterminée par l'état de ses 8 cases voisines.

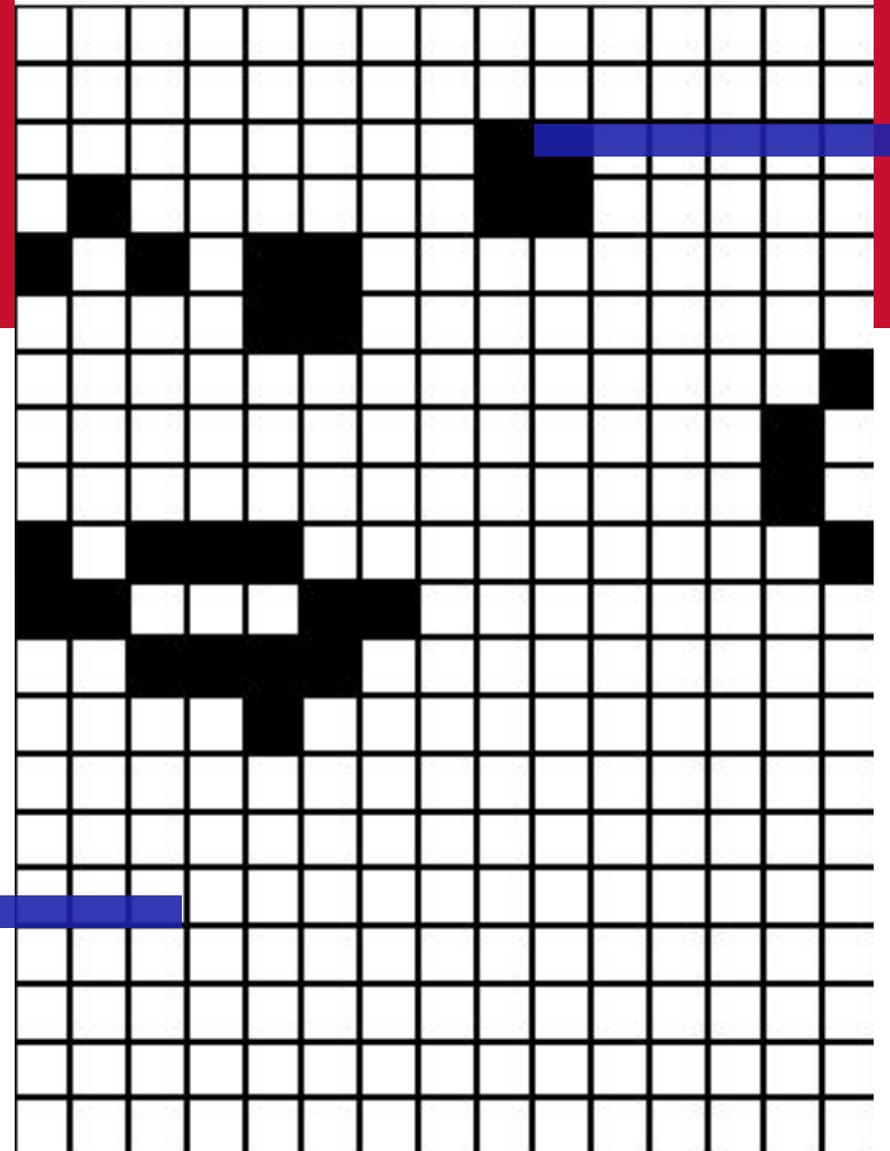


# Jeu de la vie

## Principe (suite):

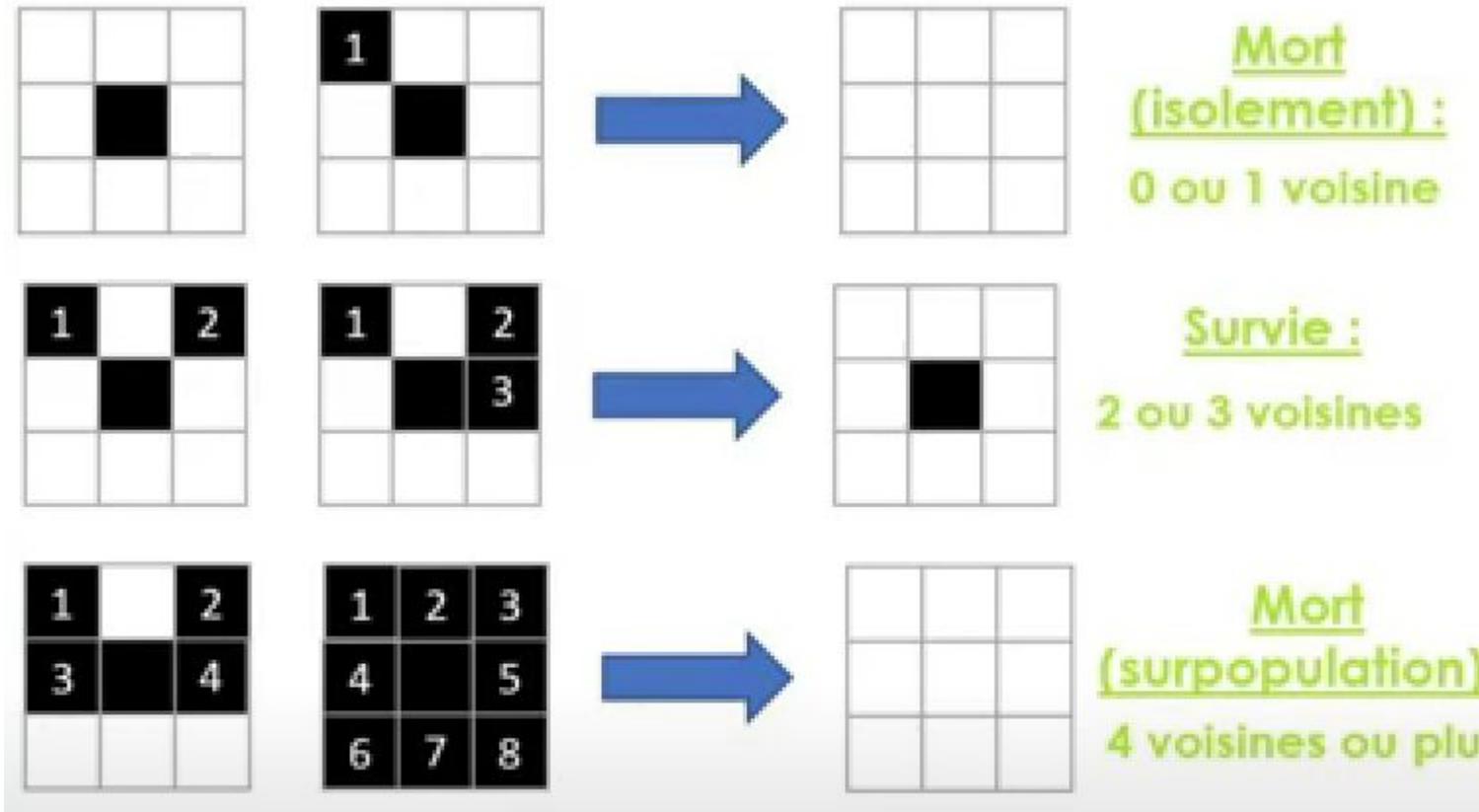
Les 3 règles de l'évolution sont :

- une cellule morte avec exactement 3 voisines vivantes devient vivante
- une cellule vivante avec 2 ou 3 voisines vivantes reste vivante
- dans les autres cas, la cellule meurt



# Jeu de la vie

- Mort par isolement
- Survie
- Surpopulation
- Naissance
- ...





# Jeu de la vie

Environnement partagé :

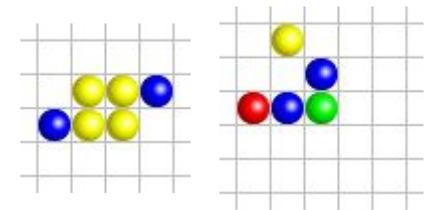
- espace 2D fini

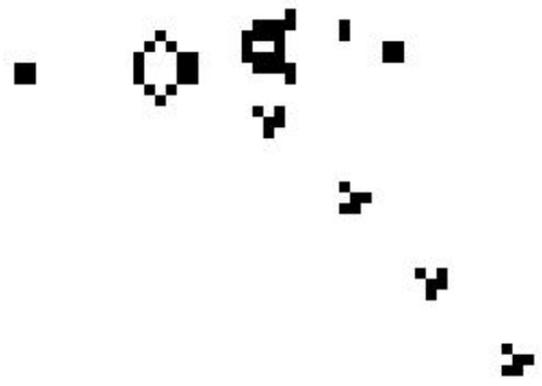
Agent :

- Cellule

Règles d'évolution

- Etat de vie =  $f(\text{état voisinage})$

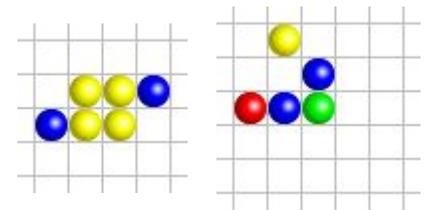




# Jeu de la vie

## Exploration :

- <https://theorisons.github.io/cellularAutomatonVisualisation/>
- Vidéo de Science étonnante





**Pause ?**



**Avant le TP :)**





**Q&A ?**



**Pour le recall ;)**



03

**TP : Feu de forêt**



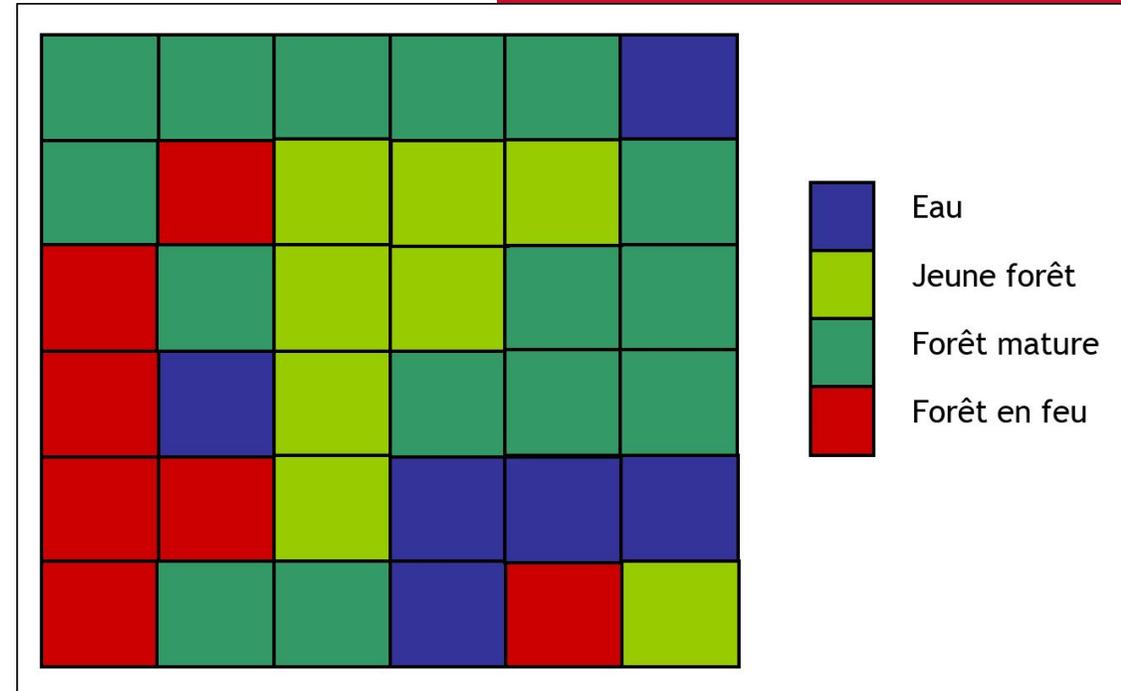
**Quel lien entre les systèmes  
multi-agents et les automates  
cellulaires ?**

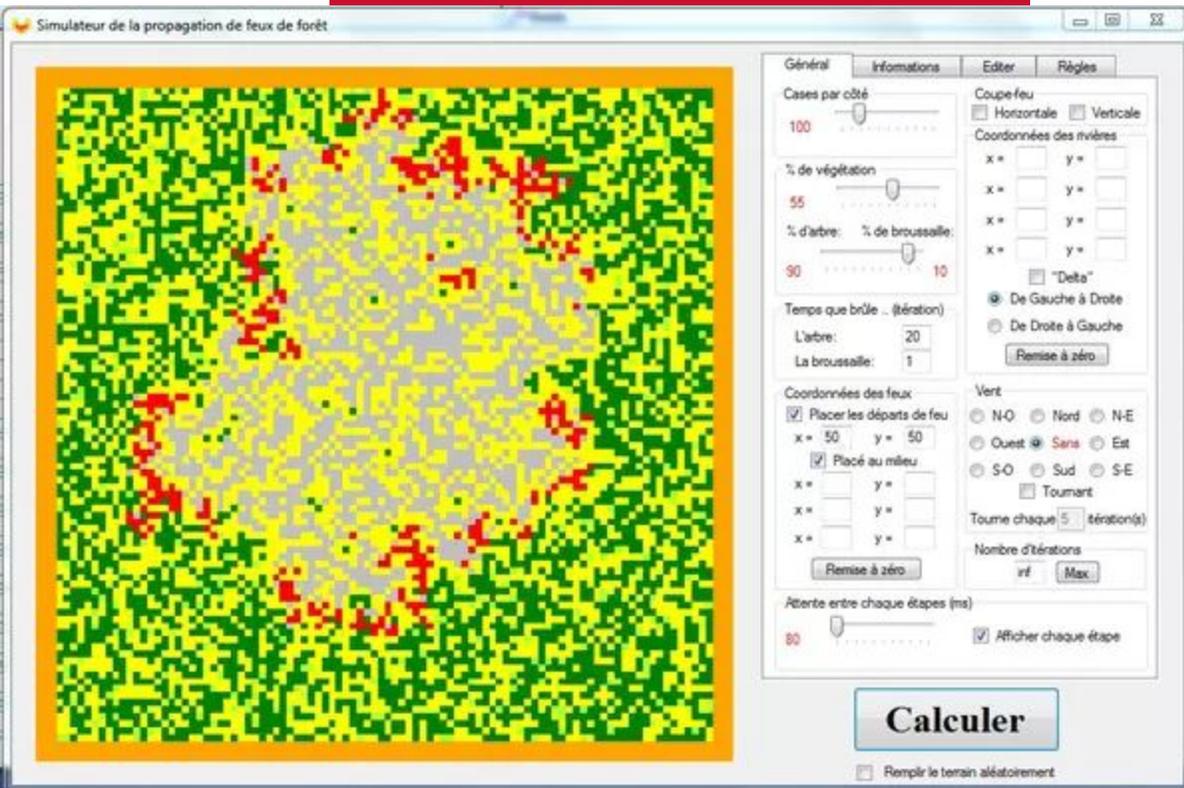


# Objectif

Nous allons utiliser les automates cellulaires pour modéliser un phénomène physique : **le feu de forêt**.

Approche exploratoire.





# A vos claviers ;)

[https://colab.research.google.com/drive/1Ebn74m2x\\_T1MHTC1EB\\_S\\_eVnm5yHyMDS?usp=sharing](https://colab.research.google.com/drive/1Ebn74m2x_T1MHTC1EB_S_eVnm5yHyMDS?usp=sharing)

# Merci

Présentation réalisée par Quentin Pestre-Sorge  
quentin@modernov.com