

# Traitement de l'information par des populations d'oscillateurs

Hedi Ben Amor, Nicolas Glade et Jacques Demongeot  
Laboratoire AGIM, FRE3405, Grenoble

[hedi.ben-amor@agim.eu](mailto:hedi.ben-amor@agim.eu)



## Plan

Épistémologie

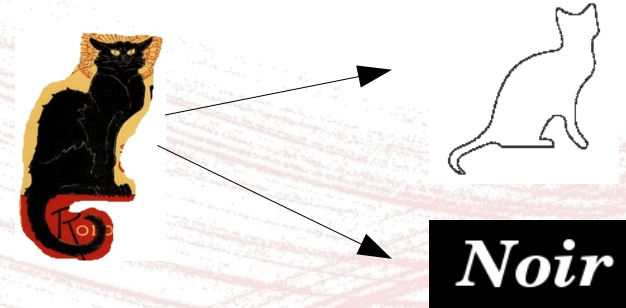
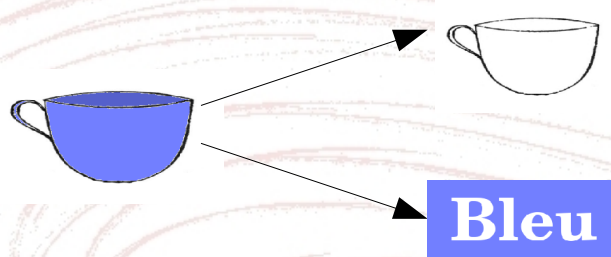
*Isochrons*

*Impression  
d'une donnée*

*Traitement de  
l'information*

*Perspectives*

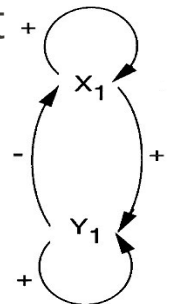
- **Le problème de liaison** (binding problem) : (von der Malsburg 1981, Roskies et al. 1999, Treisman 1999)



« Quand je vois une tasse bleue et un chat noir, quel mécanisme neuronal assure le couplage entre la sensation d'une tasse à celle du bleu, et la sensation du chat à celle du noir? »

- **La synchronisation neuronale** est avancée comme un mécanisme assurant la liaison entre les différentes modalités d'un percept. (Gray et al. 1989).
- **La désynchronisation neuronale** est un mécanisme nécessaire pour revenir à un état de repos - persévération comportementale (Puig et Gulledge 2011).
- **L'oscillateur neuronal comme unité du traitement cognitif.**  
L'interaction entre neurones inhibiteurs et neurones excitateurs est à l'origine des oscillations corticales (Buzsaki 1984).

=> **Comment traiter, stocker et évoquer de l'information avec des populations d'oscillateurs ?**  
=> Approche d'ingénierie.



## Plan

Épistémologie

Isochrons

Impression  
d'une donnée

Traitement de  
l'information

Perspectives

## • Définition

- $\frac{dx}{dt} = F(x), x \in \mathbb{R}^n, (n \geq 2)$  ayant une orbite hyperbolique  $\gamma(t) \in C$  (bassin d'attraction) de période  $T$ .  
 $\forall x \in C, \exists \theta(x), \theta(x)$  est la phase latente de  $x$   
 $\Leftrightarrow \lim_{t \rightarrow +\infty} |x(t) - \gamma(t + \theta(x))| = 0,$   
 $\phi_\psi = \{\forall x \in C, \theta(x) = \psi\}$  est l'isochron de phase  $\psi$ .

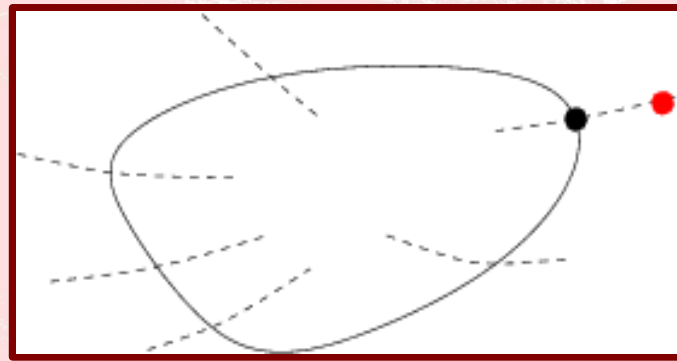


Illustration schématique (Scholarpedia)

- Les isochrons (Winfree 1974) sont des hypersurfaces transverses au cycle limite (Guckenheimer 1975).

## • Résolution numérique:

### Plan

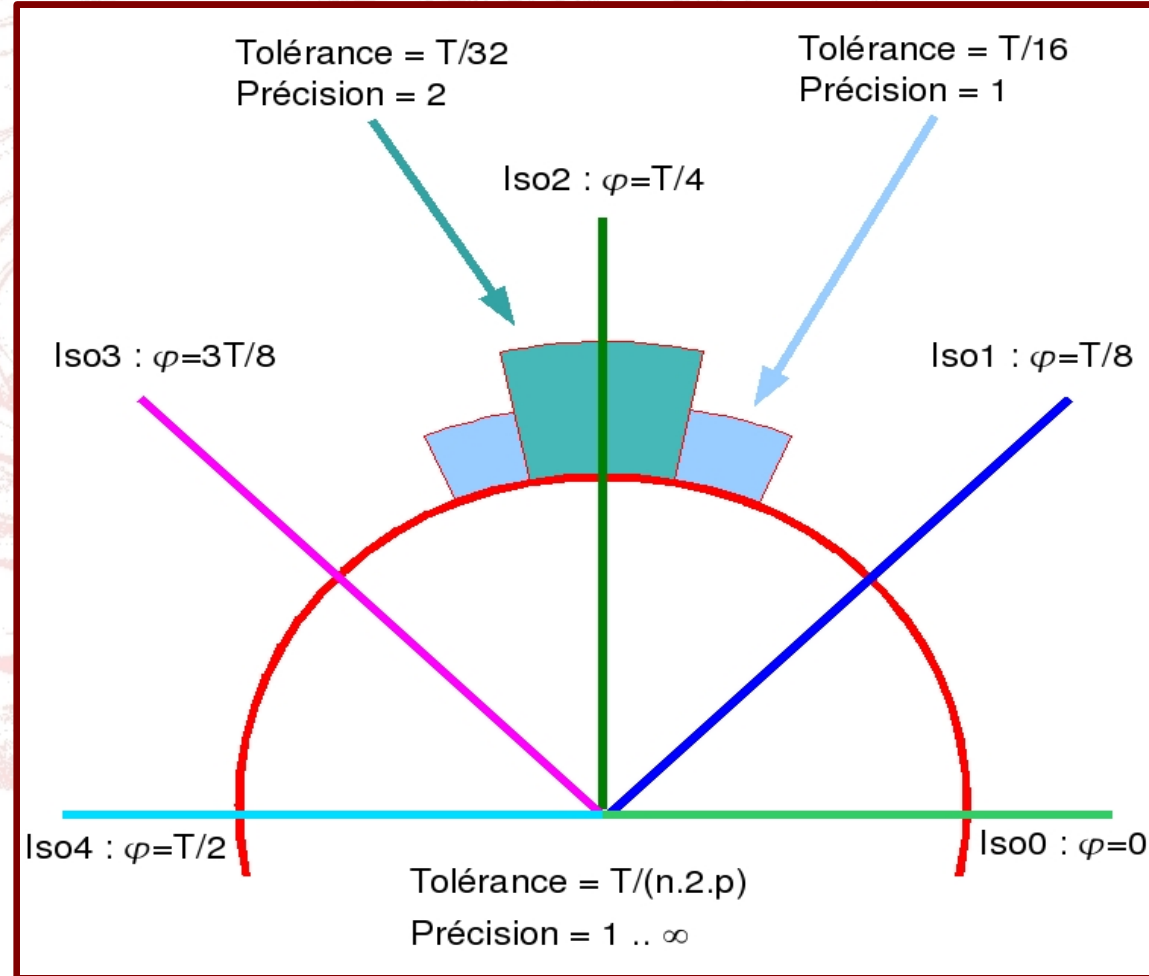
*Épistémologie*

*Isochrons*

*Impression  
d'une donnée*

*Traitement de  
l'information*

*Perspectives*



- Isochrons de quelques systèmes classés par leurs symétries et leurs dimension.

## Plan

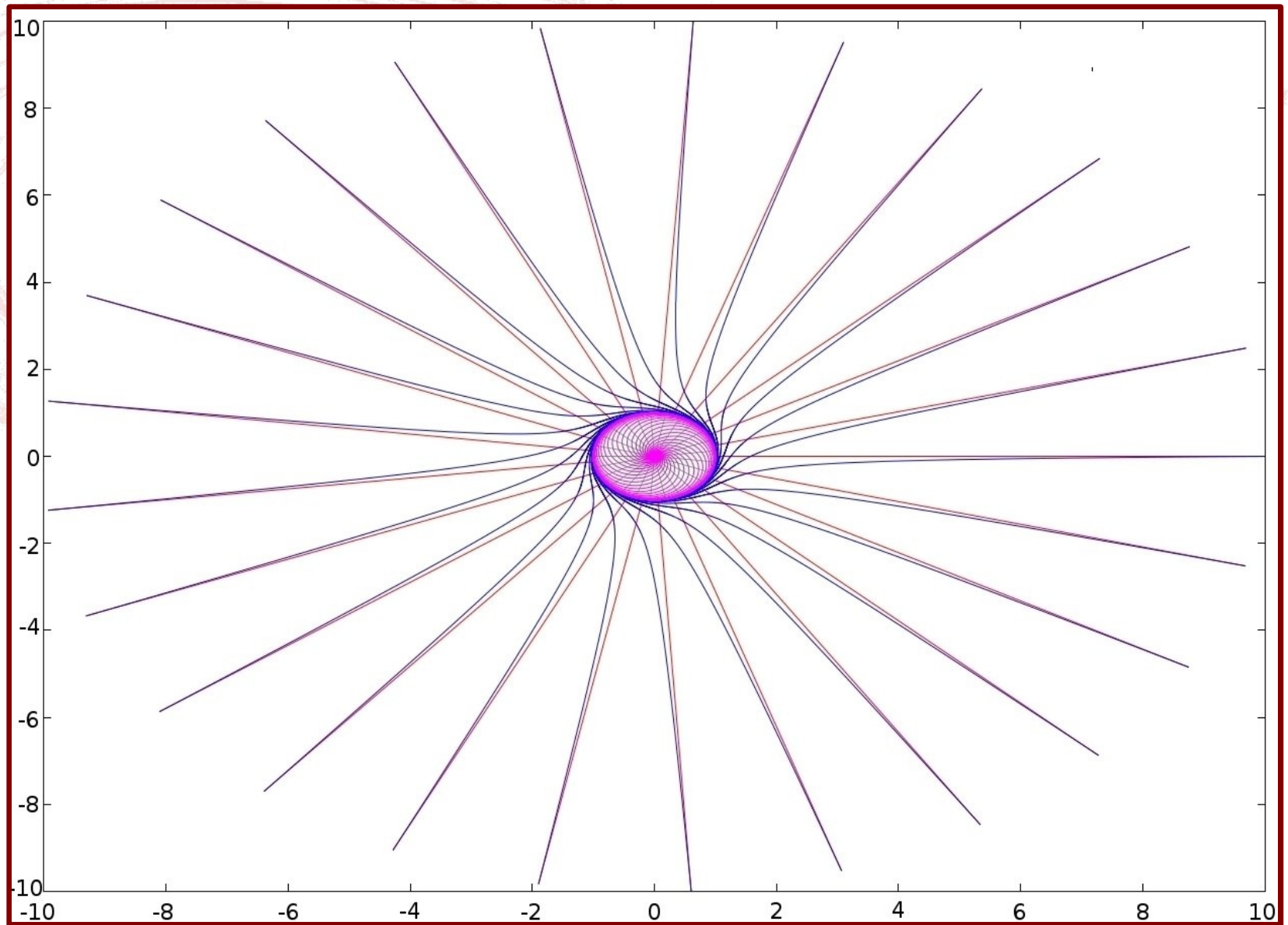
*Épistémologie*

*Isochrons*

*Impression  
d'une donnée*

*Traitement de  
l'information*

*Perspectives*



Pendule anharmonique

- Isochrons de quelques systèmes classés par leurs symétries et leurs dimension.

## Plan

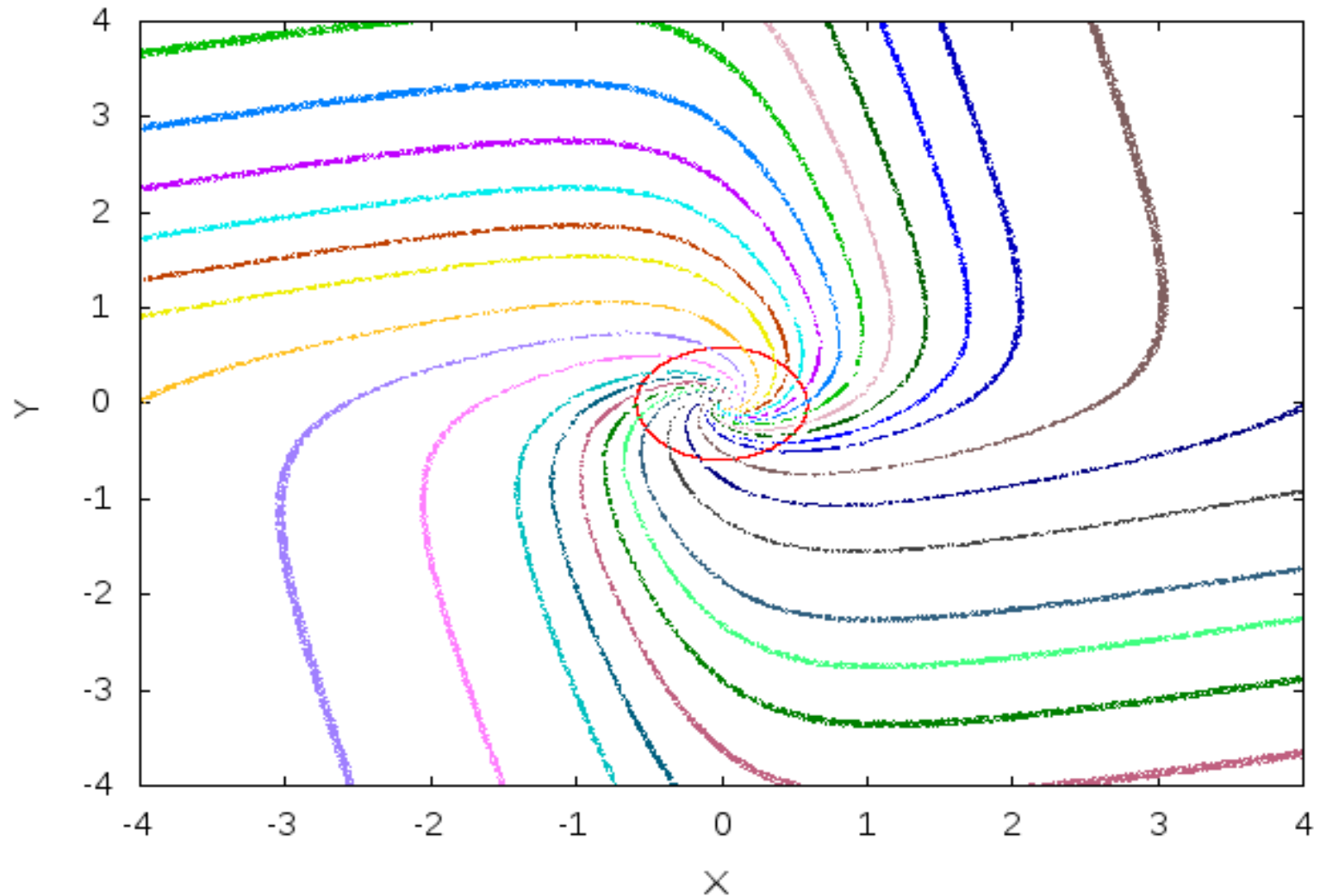
*Épistémologie*

*Isochrons*

*Impression  
d'une donnée*

*Traitement de  
l'information*

*Perspectives*



Oscillateur neuronal de Wilson-Cowan

- Isochrons de quelques systèmes classés par leurs symétries et leurs dimension.

## Plan

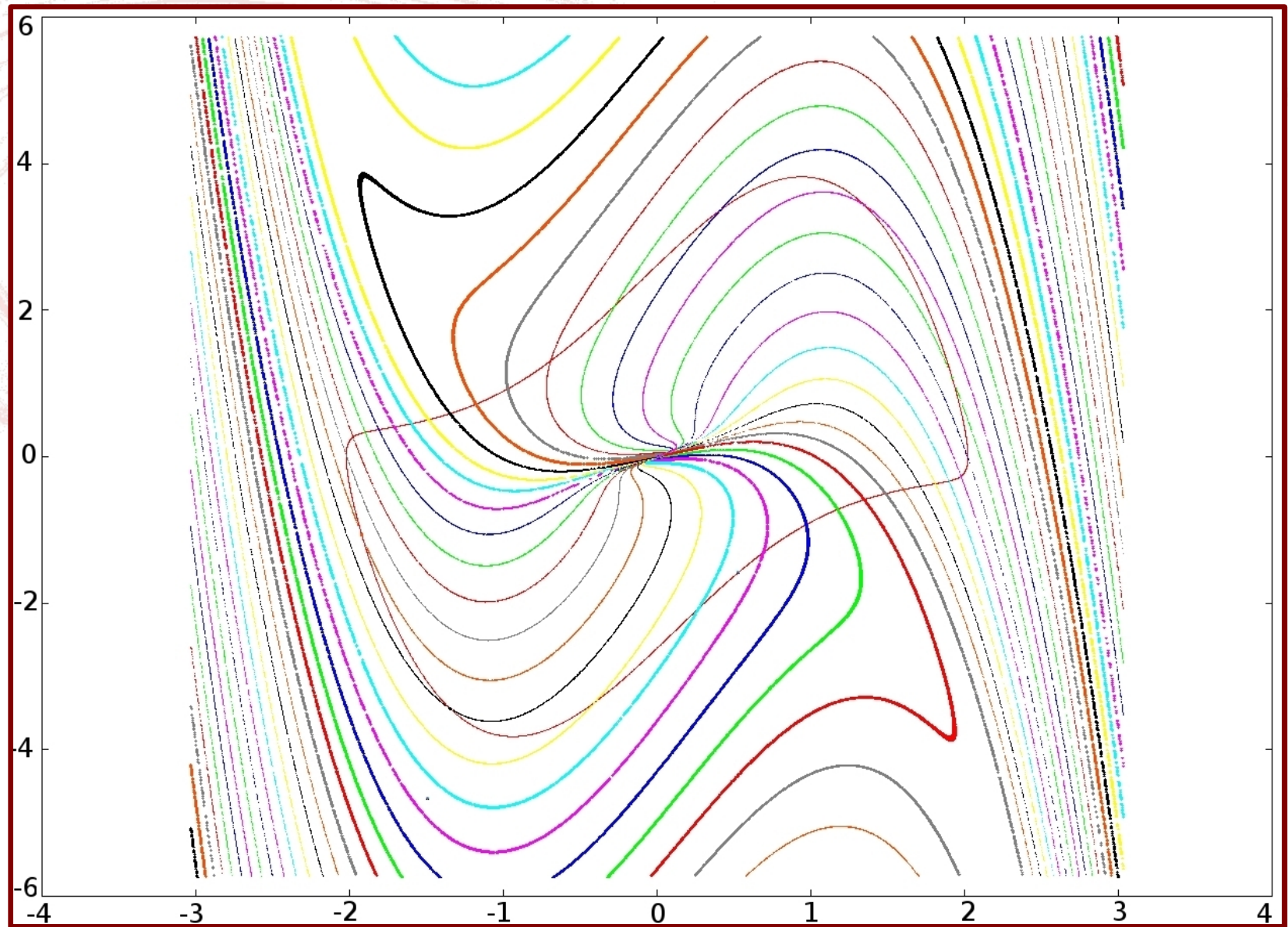
*Épistémologie*

*Isochrons*

*Impression  
d'une donnée*

*Traitement de  
l'information*

*Perspectives*



Oscillateur de van der Pol

- Isochrons de quelques systèmes classés par leurs symétries et leurs dimension.

## Plan

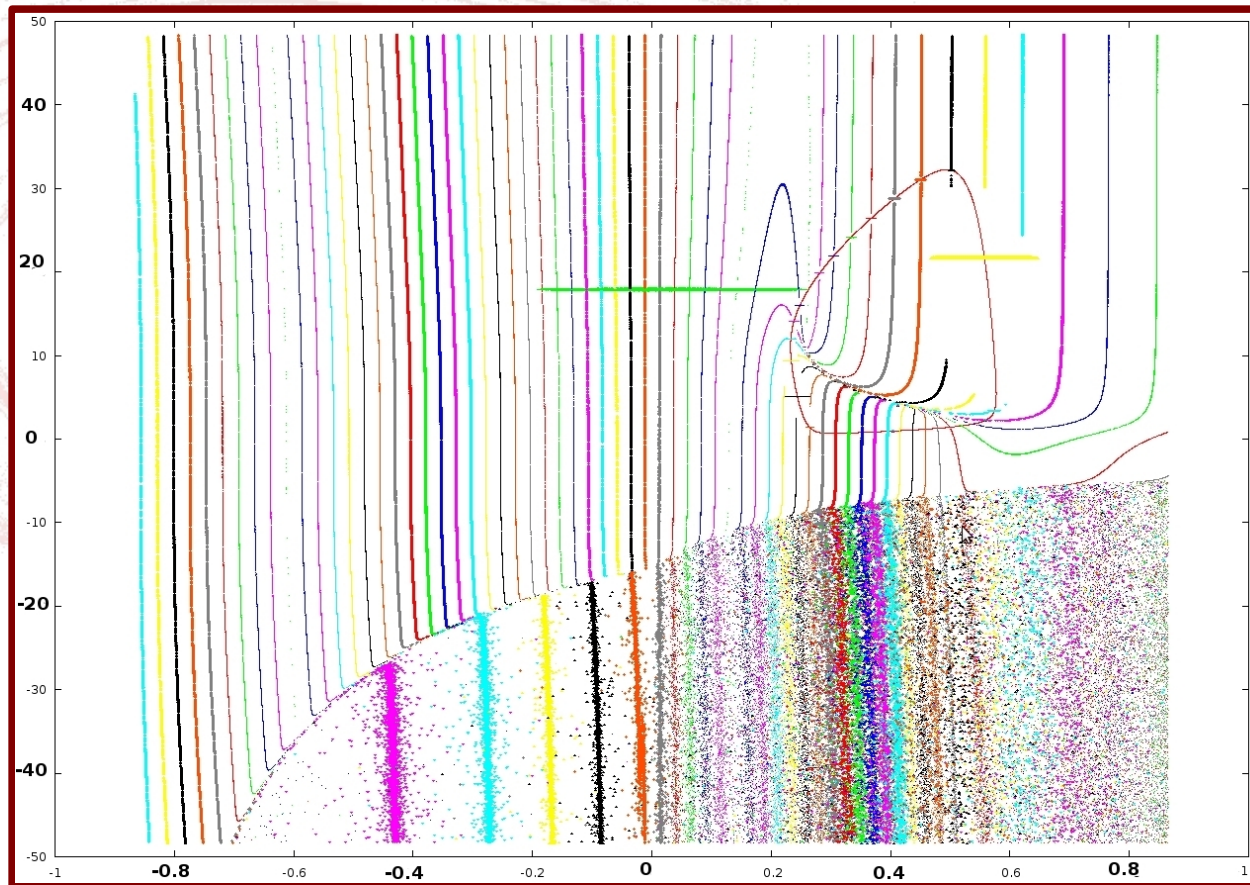
Épistémologie

Isochrons

Impression  
d'une donnée

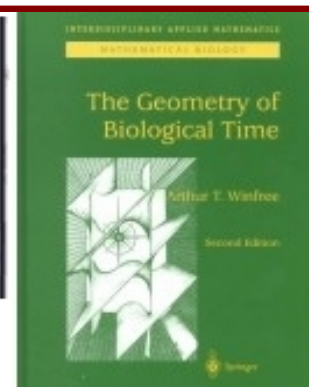
Traitement de  
l'information

Perspectives



Oscillateur  
de la PFK

In practice, isochron structure is poorly resolved near the isochrons' convergence. The models of Chapters 4 and 5 have unusually low-amplitude rhythmicity in this region. That implies unusual difficulty in measuring phase with adequate precision near the region of convergence. It also means that the system is particularly susceptible to the random perturbations that chronically afflict any real experiment, especially biological experiments. Maybe in dealing with an attracting-cycle mechanism, as in this



## Plan

Épistémologie

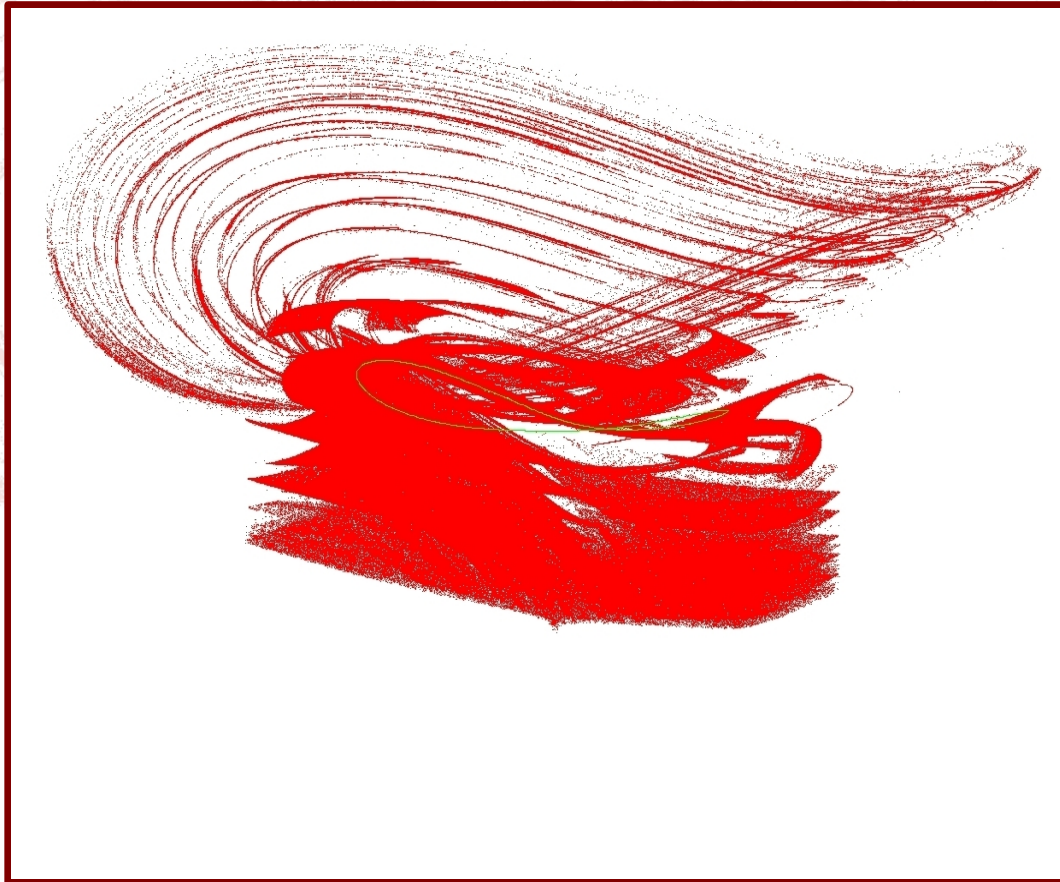
Isochrons

Impression  
d'une donnée

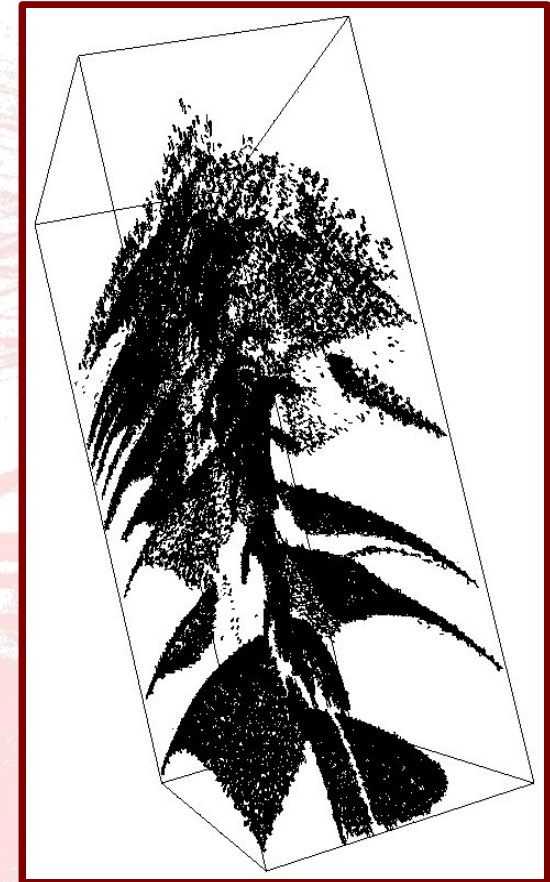
Traitement de  
l'information

Perspectives

- Isochrons de quelques systèmes classés par leurs symétries et leurs dimension.



Oscillateur tridimensionnel  
(système de Lorenz périodique)



Maillage fait par  
Claudio Lobos.

## Plan

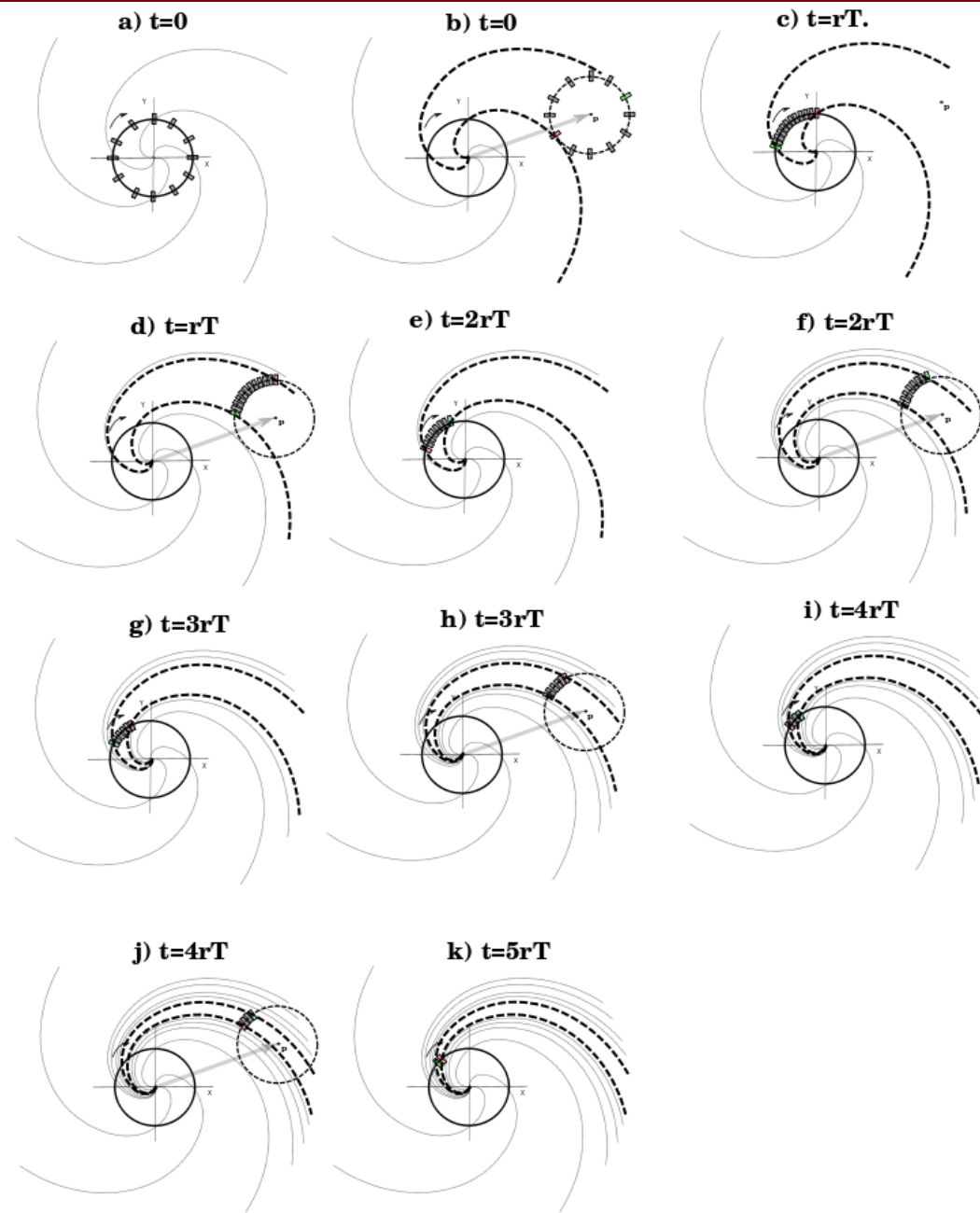
Épistémologie

Isochrons

Impression  
d'une donnée

Traitement de  
l'information

Perspectives



## Plan

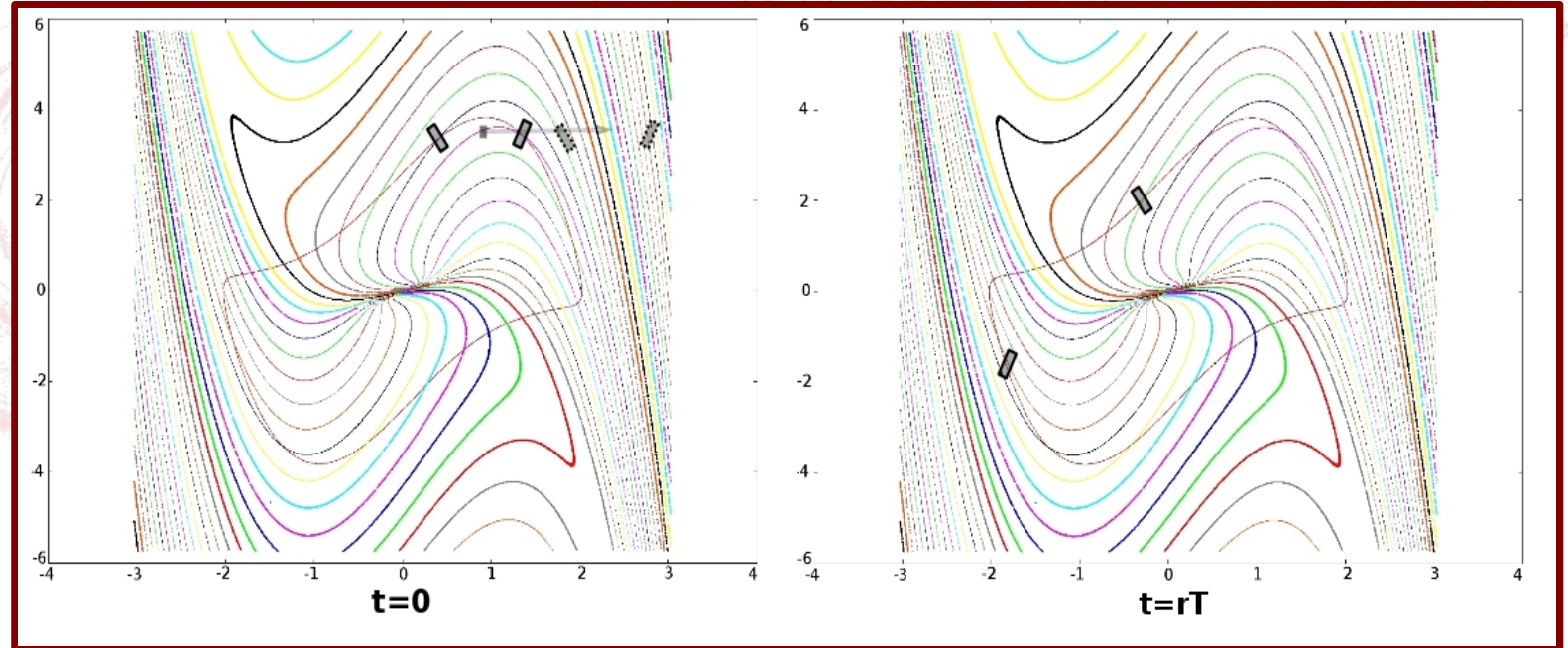
*Épistémologie*

*Isochrons*

*Impression  
d'une donnée*

*Traitement de  
l'information*

*Perspectives*



Déphasage induit par une perturbation

- Impression d'une donnée spatiale

## Plan

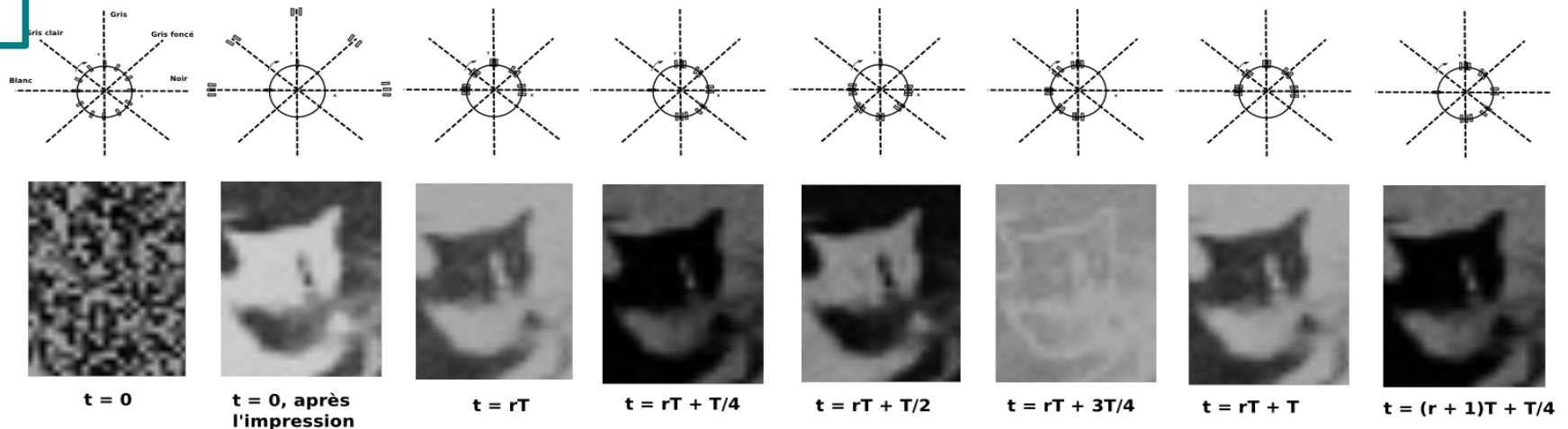
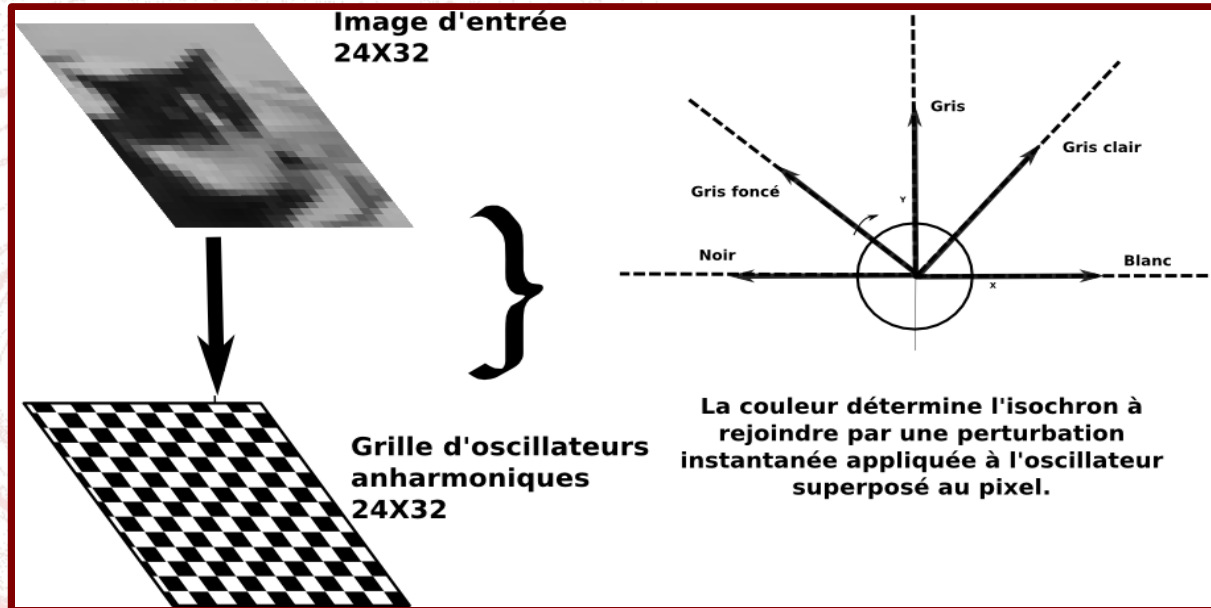
Épistémologie

Isochrons

Impression  
d'une donnée

Traitement de  
l'information

Perspectives



## Plan

Épistémologie

Isochrons

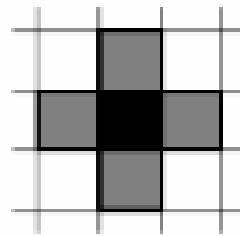
Impression  
d'une donnée

Traitement de  
l'information

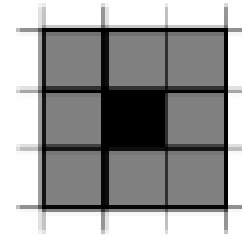
Perspectives

- Couplage par pulsation (Strogatz et Mirollo 1990)

$$\begin{cases} \frac{dx_i}{dt} = \frac{-x_i}{\tau} + \tanh(\lambda x_i) - \tanh(\lambda y_i) + \sum_{j \in V(i)} c(x_i - x_j)H(x_j) \\ \frac{dy_i}{dt} = \frac{-y_i}{\tau} + \tanh(\lambda x_i) + \tanh(\lambda y_i) \end{cases}$$



**von Neumann**



**Moore**

- Couplage par pulsation (Strogatz et Mirollo 1990)

## Plan

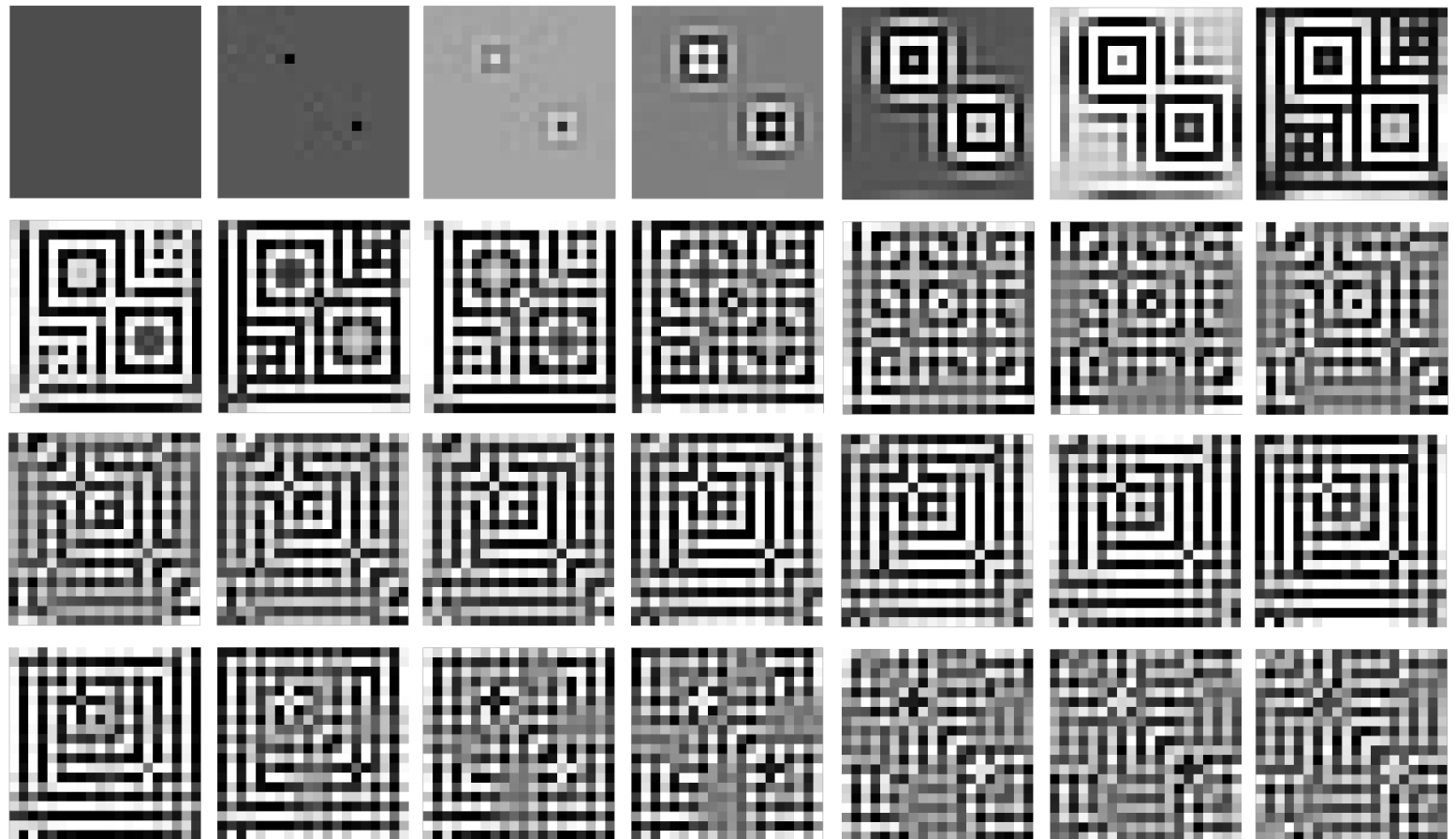
*Épistémologie*

*Isochrons*

*Impression  
d'une donnée*

*Traitement de  
l'information*

*Perspectives*



Évolution d'une grille selon un voisinage de Moore

## Plan

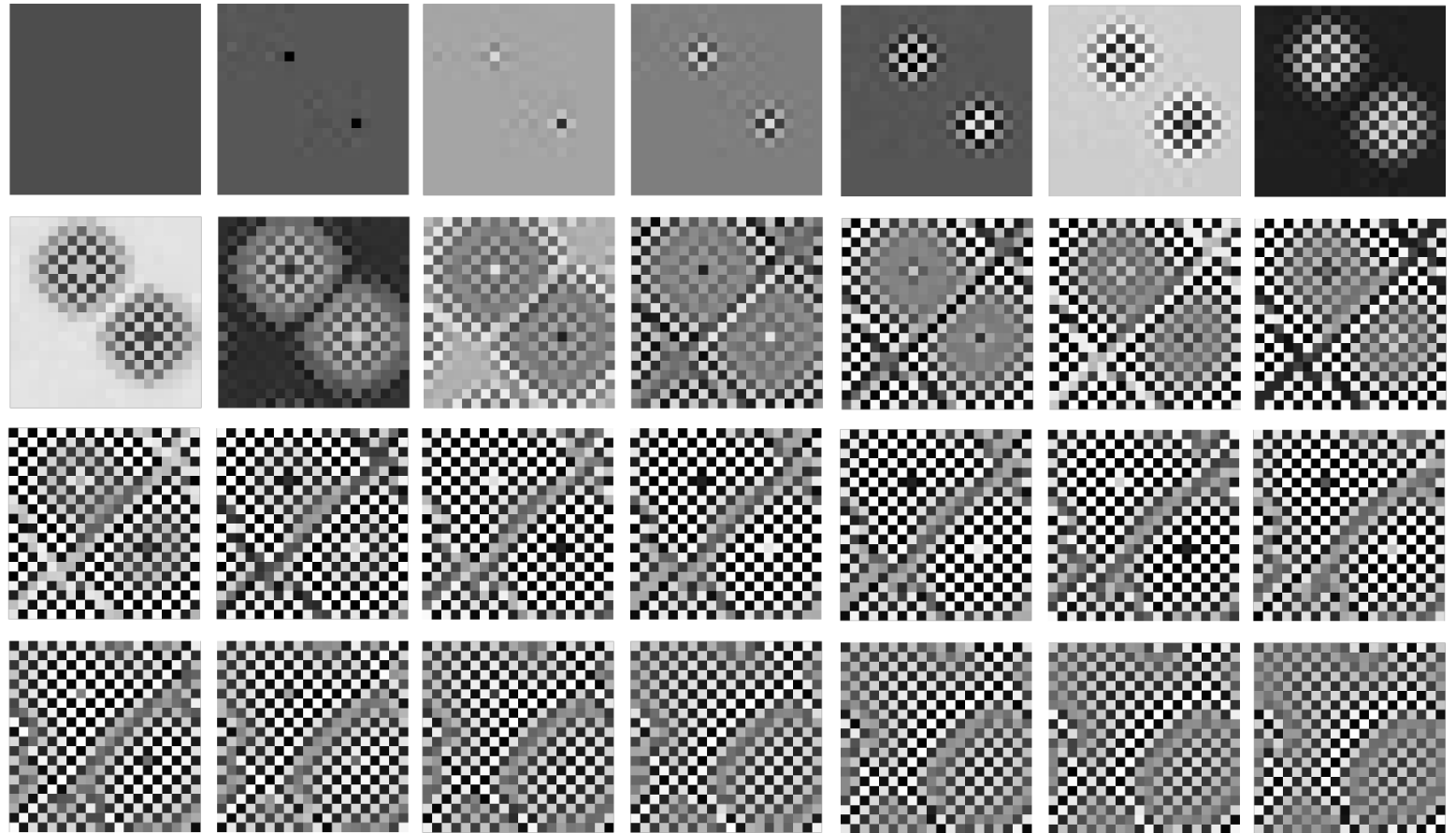
*Épistémologie*

*Isochrons*

*Impression  
d'une donnée*

*Traitement de  
l'information*

*Perspectives*



Évolution d'une grille selon un voisinage de von Neumann

## Plan

Épistémologie

Isochrons

Impression  
d'une donnée

Traitement de  
l'information

Perspectives

- Couplage continu (Tonnelier et al. 1999)

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx_1}{dt} = \frac{-x_1}{\tau} + \tanh(\lambda x_1) - \tanh(\lambda y_1) \\ \frac{dy_1}{dt} = \frac{-y_1}{\tau} + \tanh(\lambda x_1) + \tanh(\lambda y_1) \\ \frac{dx_2}{dt} = \frac{-x_2}{\tau} + \tanh(\lambda x_2) - \tanh(\lambda y_2) \\ \frac{dy_2}{dt} = \frac{-y_2}{\tau} + \tanh(\lambda x_2) + \tanh(\lambda y_2) - cy_1 \end{array} \right.$$

# • Couplage continu (Tonnelier et al. 1999)

## Plan

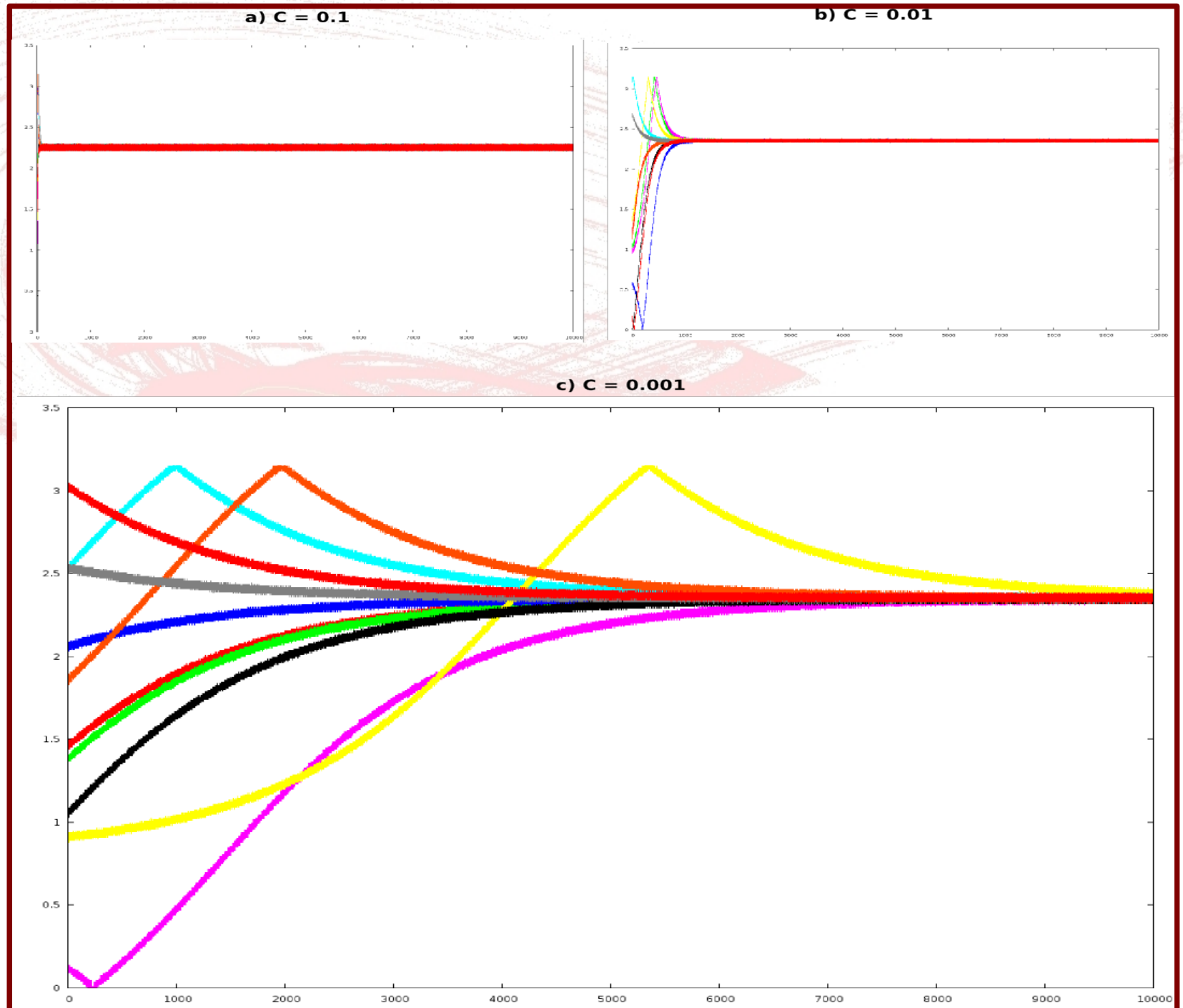
Épistémologie

Isochrons

Impression  
d'une donnée

Traitement de  
l'information

Perspectives



## Plan

Épistémologie

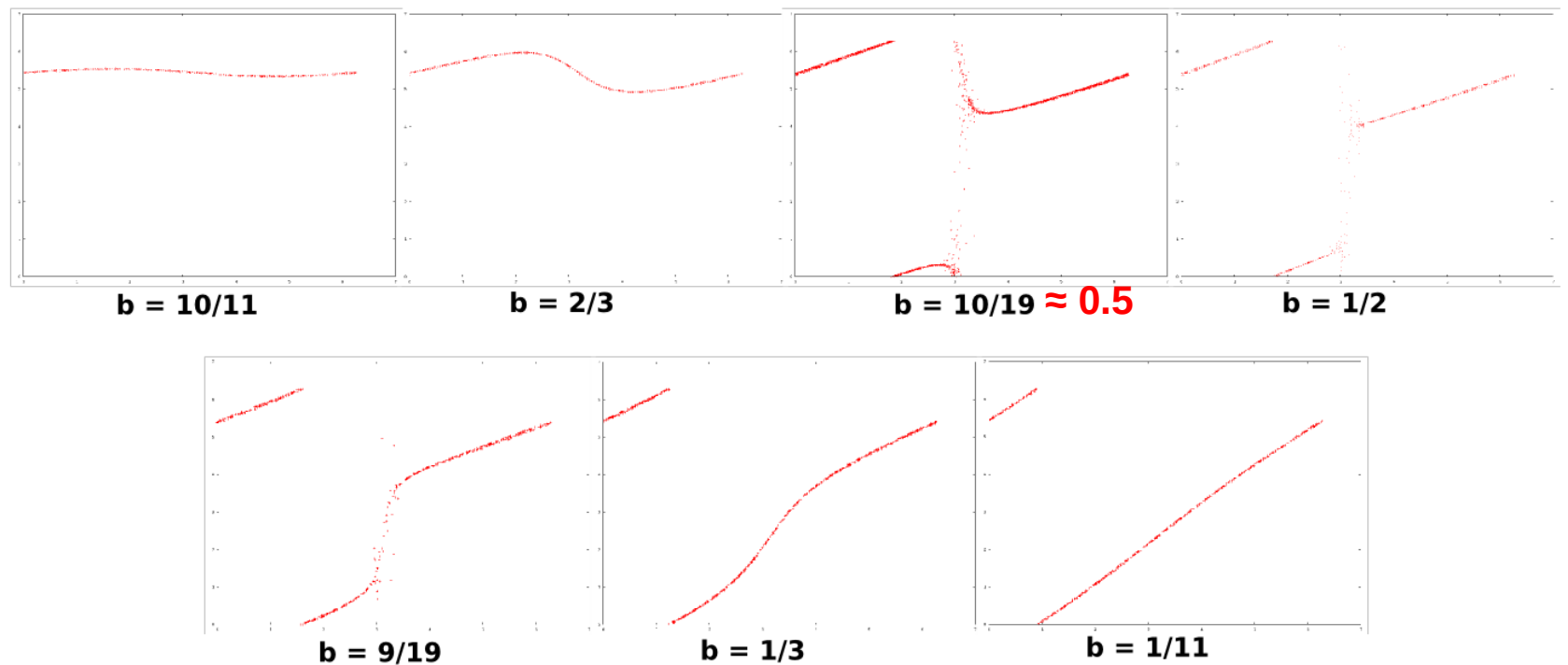
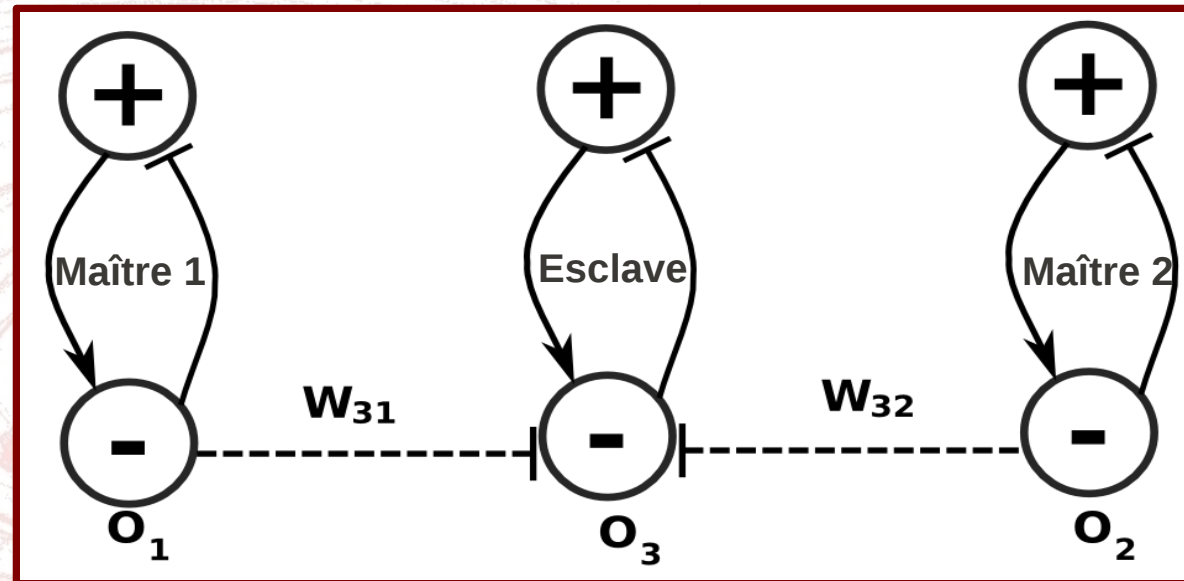
Isochrons

Impression  
d'une donnée

Traitement de  
l'information

Perspectives

- Couplage continu (Tonnelier et al. 1999)



## Plan

Épistémologie

Isochrons

Impression  
d'une donnée

Traitement de  
l'information

Perspectives

## • Un système de détection de contours :

### Couche maître:

$$O_{M,i,j} \begin{cases} \frac{dX_{M,i,j}}{dt} = \frac{-X_{M,i,j}}{\tau} + \tanh(\lambda X_{M,i,j}) - \tanh(\lambda Y_{M,i,j}) \\ \frac{dY_{M,i,j}}{dt} = \frac{-Y_{M,i,j}}{\tau} + \tanh(\lambda X_{M,i,j}) + \tanh(\lambda Y_{M,i,j}) \\ \quad + C_{M,pulsation}(i,j) \end{cases}$$

### Couche esclave:

$$O_{E,i,j} \begin{cases} \frac{dX_{E,i,j}}{dt} = \frac{-X_{E,i,j}}{\tau} + \tanh(\lambda X_{E,i,j}) - \tanh(\lambda Y_{E,i,j}) \\ \frac{dY_{E,i,j}}{dt} = \frac{-Y_{E,i,j}}{\tau} + \tanh(\lambda X_{E,i,j}) + \tanh(\lambda Y_{E,i,j}) \\ \quad + C_{E,pulsation}(i,j) + C_{M \rightarrow E,continu}(i,j) \end{cases}$$

### Couplage intra couche:

$$C_{M,pulsation}(i,j) = \sum_{(k,l) \in V(M,i,j)} \frac{\sigma_M}{|V(M,i,j)|} (Y_{M,i,j} - Y_{M,k,l}) H(Y_{M,k,l})$$

### Couplage de la couche maître à la couche esclave :

$$C_{M \rightarrow E,continu}(i,j) = -W_{M \rightarrow E,i,j} Y_{M,i,j} - W_{M \rightarrow E,i,j+1} Y_{M,i,j+1}$$

The background of the slide features a series of expressive, overlapping red brushstrokes. These strokes are primarily horizontal and curved, creating a sense of movement and depth. The color is a vibrant red, and the texture appears slightly grainy, as if made with a dry brush or pastel. The strokes are concentrated in the upper and middle portions of the slide, framing the central text.

# Merci

## Plan

Épistémologie

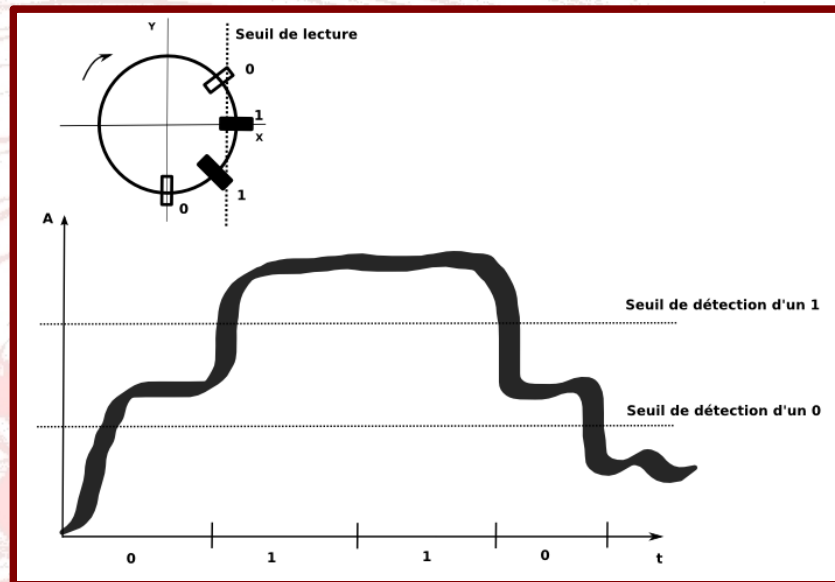
Isochrons

Impression  
d'une donnée

Traitement de  
l'information

Perspectives

- Impression d'une donnée séquentielle par la taille des groupements synchrones



- **Taille maximale :**
  - Wilson-Cowan,  $T = 3.81$ ,  $P(10, 10)$
  - 47 slots disponibles
  - impression maximale de 23 bits.
  - nombre maximal 230 oscillateurs

