

# SYSTEMIQUE

Emergence

Décembre 2019

Alexandre MAKAROVITSCH



# LA SYSTEMIQUE

Une approche

Une démarche



# SYSTEME

- **von Bertalanffy:** « ensemble d'unités en interrelations mutuelles »
- **de Saussure:** « une totalité organisée, faite d'éléments solidaires ne pouvant être définis que les uns par rapport aux autres en fonction de leur place dans cette totalité »
- **Lesourne:** « ensemble d'éléments liés par un ensemble de relations »
- **de Rosnay:** « ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but »
- **Morin:** « unité globale organisée d'interrelations entre éléments, actions ou individus »
- **Ladrière:** « objet complexe, formé de composants distincts reliés entre eux par un certain nombre de relations »

# Systeme ??

Quelque chose

Qui, dans quelque chose

Pour quelque chose

Fait quelque chose

Par quelque chose

Deviens quelque chose

Identité

Environnement

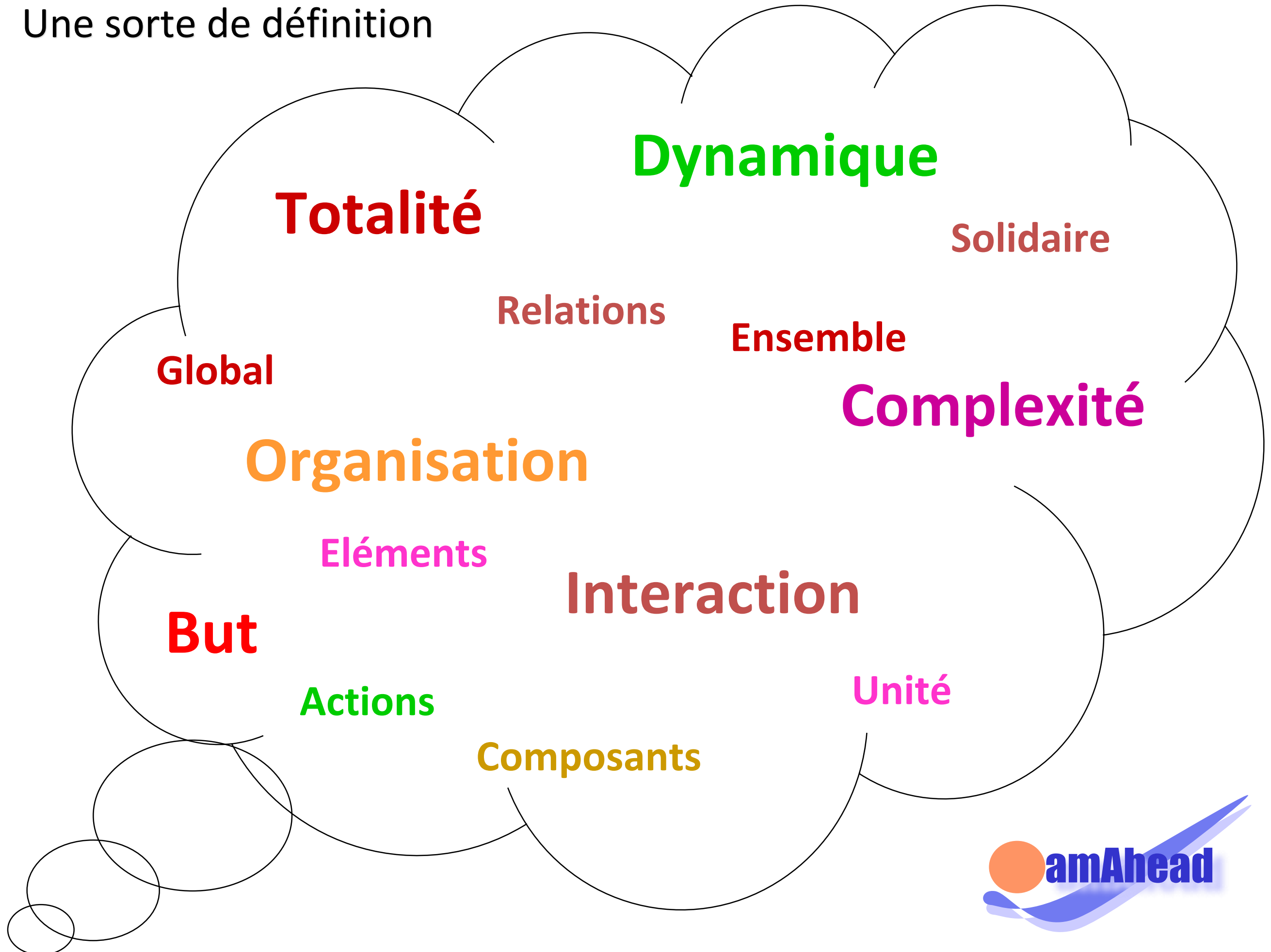
Finalité

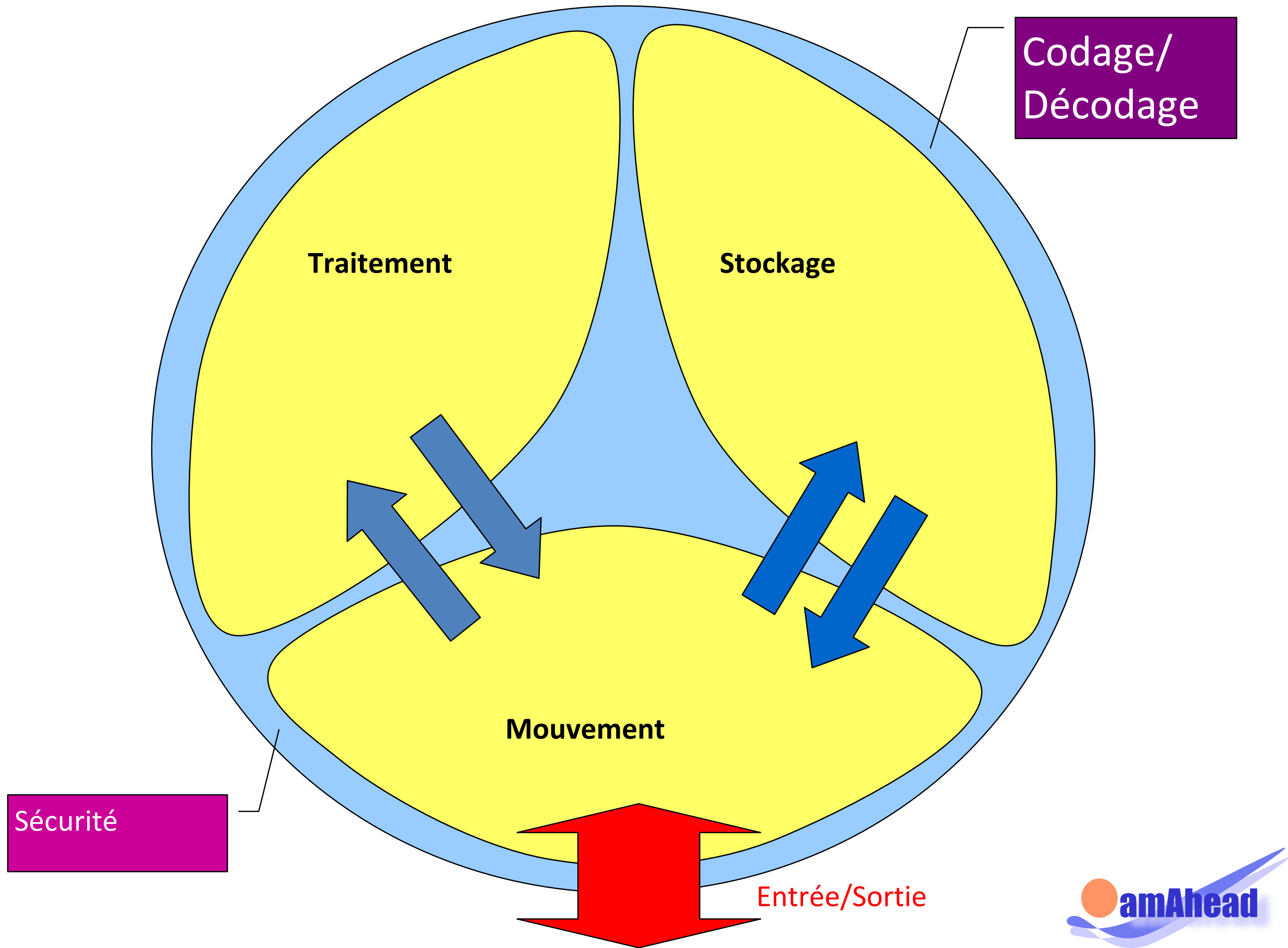
Activité/Fonctionnement

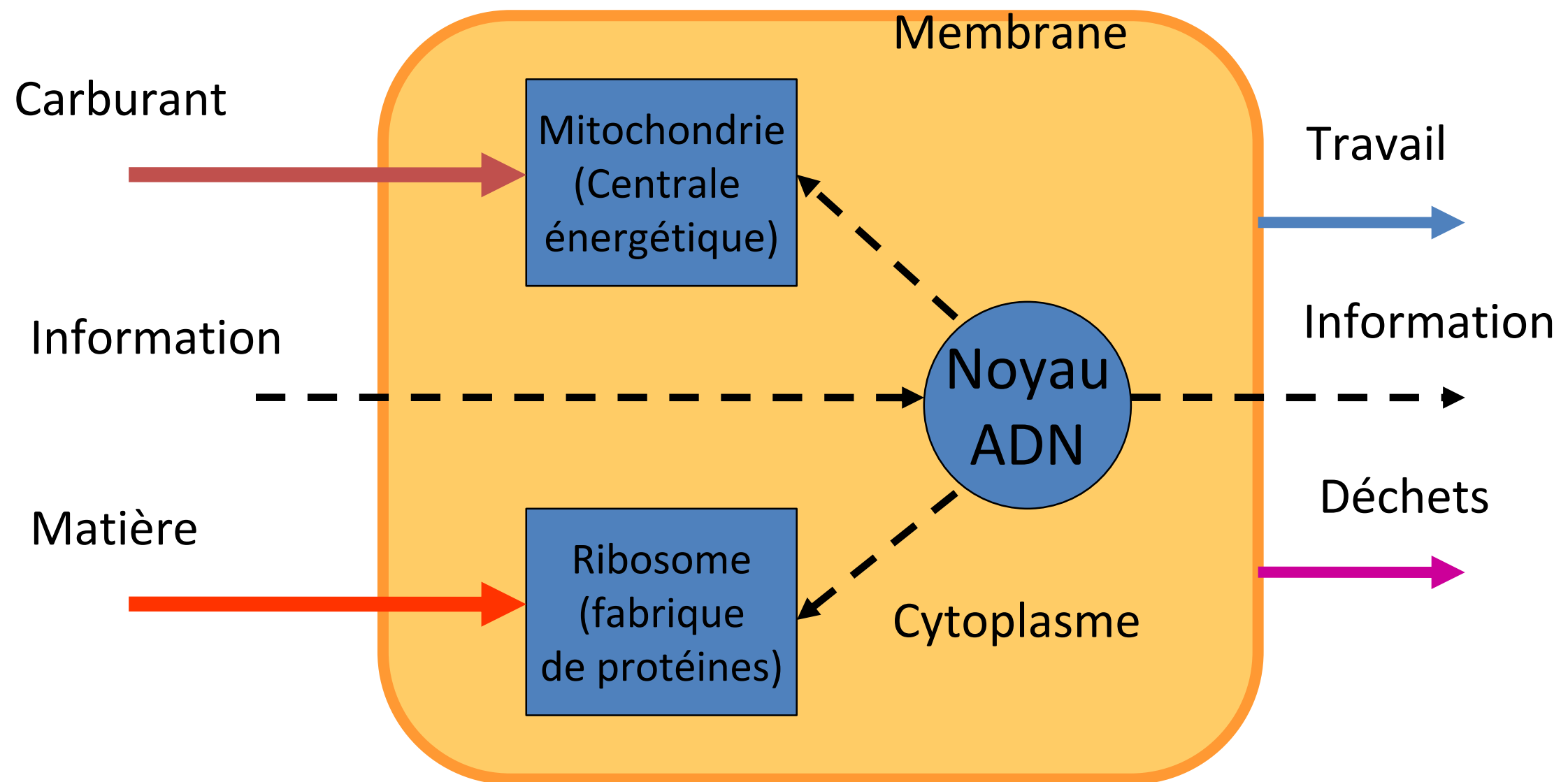
Structure

Evolution

Une sorte de définition

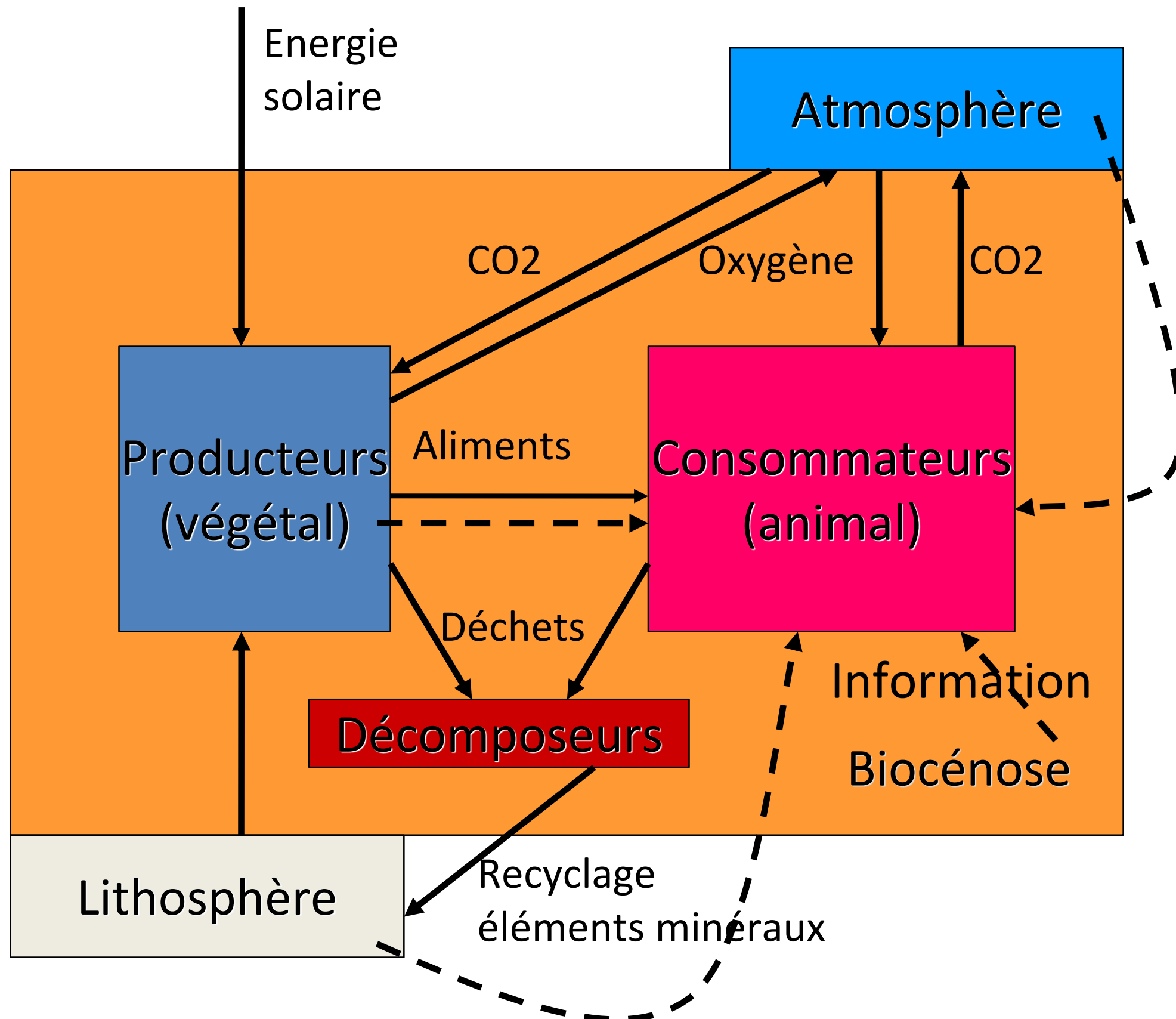






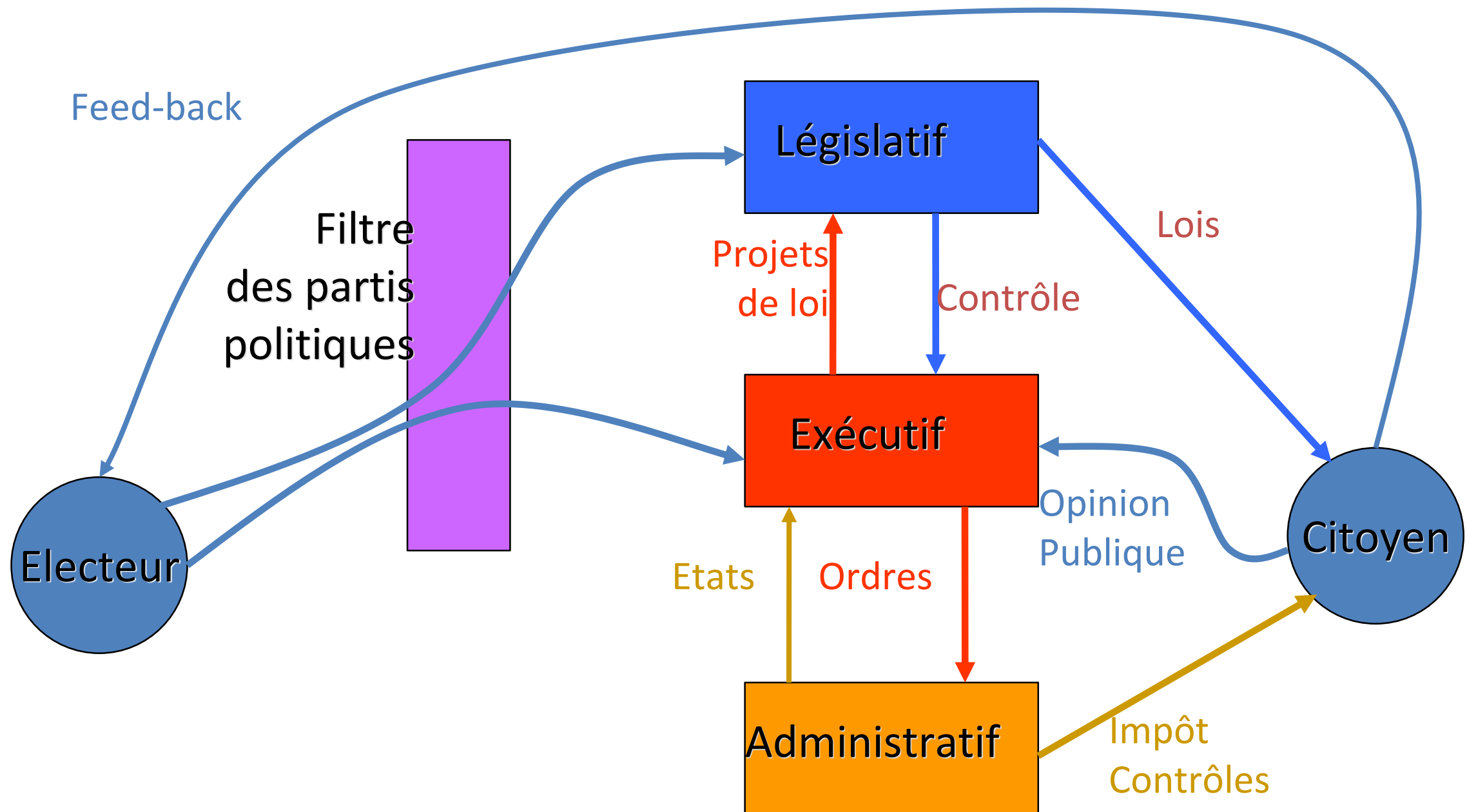
Un système cellule très simplifié

(d'après D.Durand)



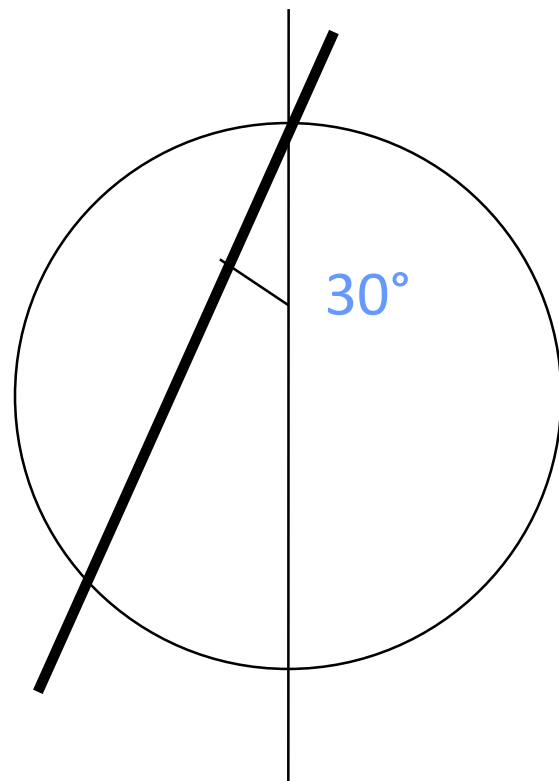
Un écosystème très simplifié

(d'après D.Durand)

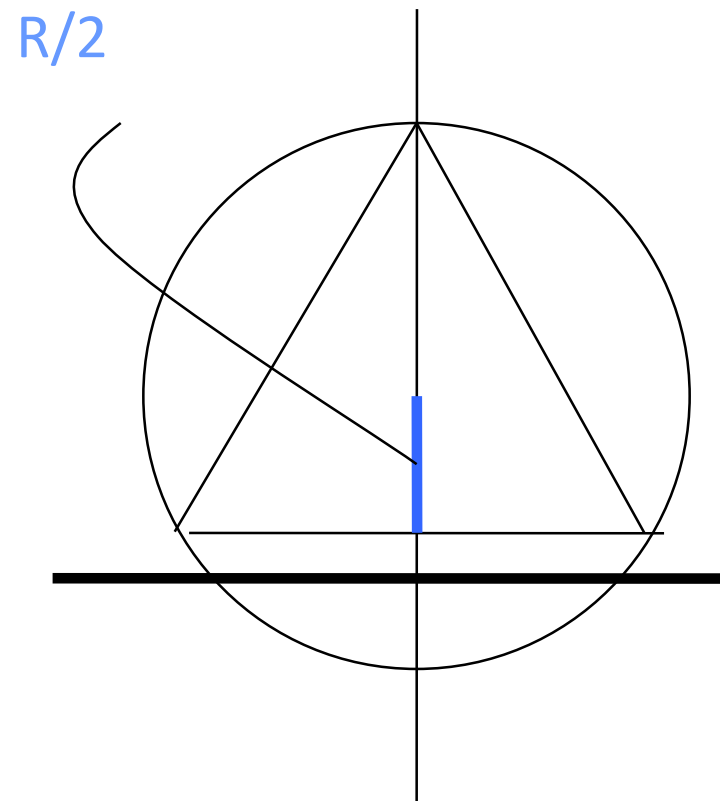


Un système politique démocratique très simplifié

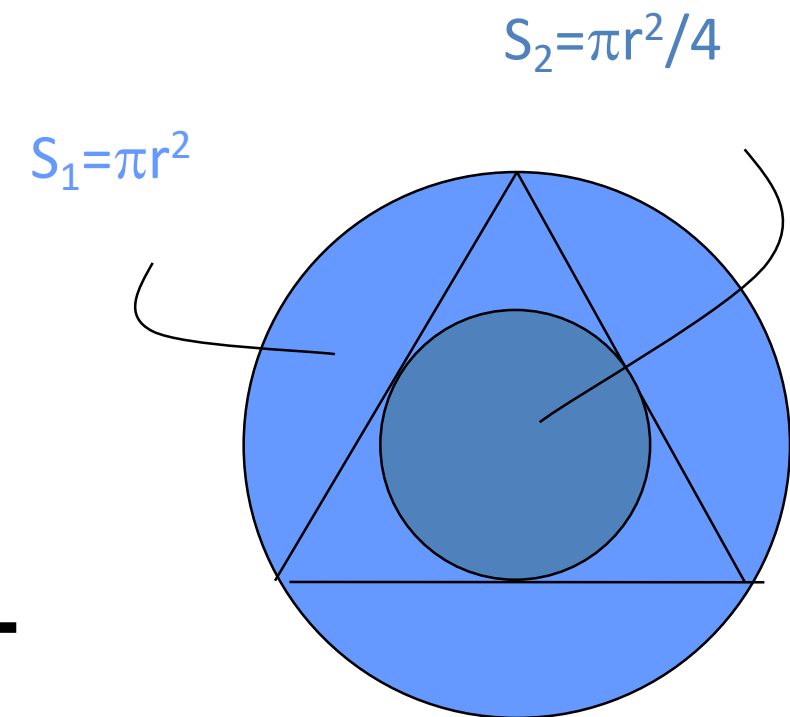
**Question:** quelle est la probabilité pour que le segment à l'intérieur du cercle d'une droite quelconque sécant un cercle soit plus grande que le côté du triangle équilatéral inscrit?



$$P=1/3$$



$$P=1/2$$



$$P=1/4$$

La probabilité dépend du protocole utilisé pour l'établir

# Historique

« Toute partie tend à se réunir à son tout, pour échapper ainsi à sa propre imperfection »

Léonard de VINCI

« Je tiens pour impossible de connaître les parties sans connaître le tout, non plus que de connaître le tout sans connaître particulièrement les parties »

Blaise PASCAL

Henri POINCARÉ

Ludwig von BERTALANFFY

John von NEUMANN

Norbert WIENER

Stanislas ULAM

Claude SHANNON

Jay FORRESTER

Ilya PRIGOGINE

René THOM

Benoît MANDELBROT

Stuart KAUFFMAN

Murray GEL-MANN

John HOLLAND

Mélanie MITCHELL

Chris LANGTON

John CASTI

Edgar MORIN

Steven WOLFRAM

Lotfi ZADEH

# La systémique:

Un outil conceptuel (assez nouveau) pour aider à résoudre des problèmes complexes

- **créer** des artefacts
- **comprendre** le fonctionnement  
des êtres vivants  
des sociétés  
des grandes organisations
- **conduire** des entités organisées

# Description Fonctionnelle

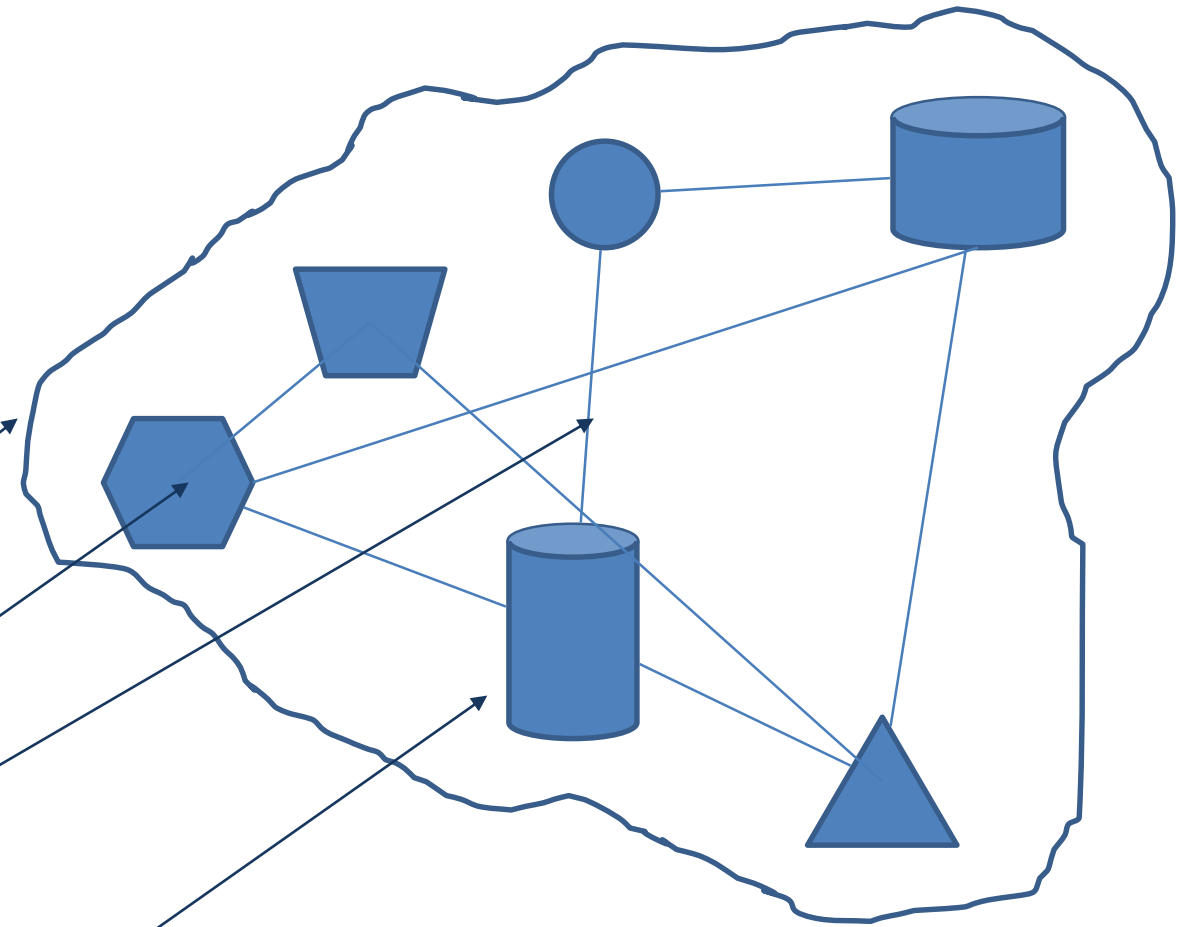
Un système comporte des:

- flux (matières, énergie, information,...produits, monnaies,...)
- centres de décision (action sur les flux suite à information reçue)
- boucles de proaction et rétroaction (information sur ce qui se passe en amont ou aval)
- délais (mémoires)

# Description Structurelle

Un système comprend:

- une frontière
- des éléments (identifiables)
- un réseau de transport et de communication
- des réservoirs



# Les Concepts fondamentaux

- ◆ L'Interaction entre éléments
- ◆ La Totalité
- ◆ L'Organisation
- ◆ La Complexité
- ◆ L'information

# L 'Organisation

- Agencement de relations entre les composants qui permet l 'émergence de nouvelles propriétés
  - » exemple des isomères: même formule chimique et même masse, structure différente, comportement différent.
- Aspect structurel: l 'organigramme
- Aspect fonctionnel: le programme
- Implique:
  - Une certaine stabilité
  - But(s)

# La complexité

- Implique de l' **aléatoire**, de l' **inconnu** , du **flou**
- Pour résoudre un problème complexe il faut du temps de la méthode et de l' intelligence

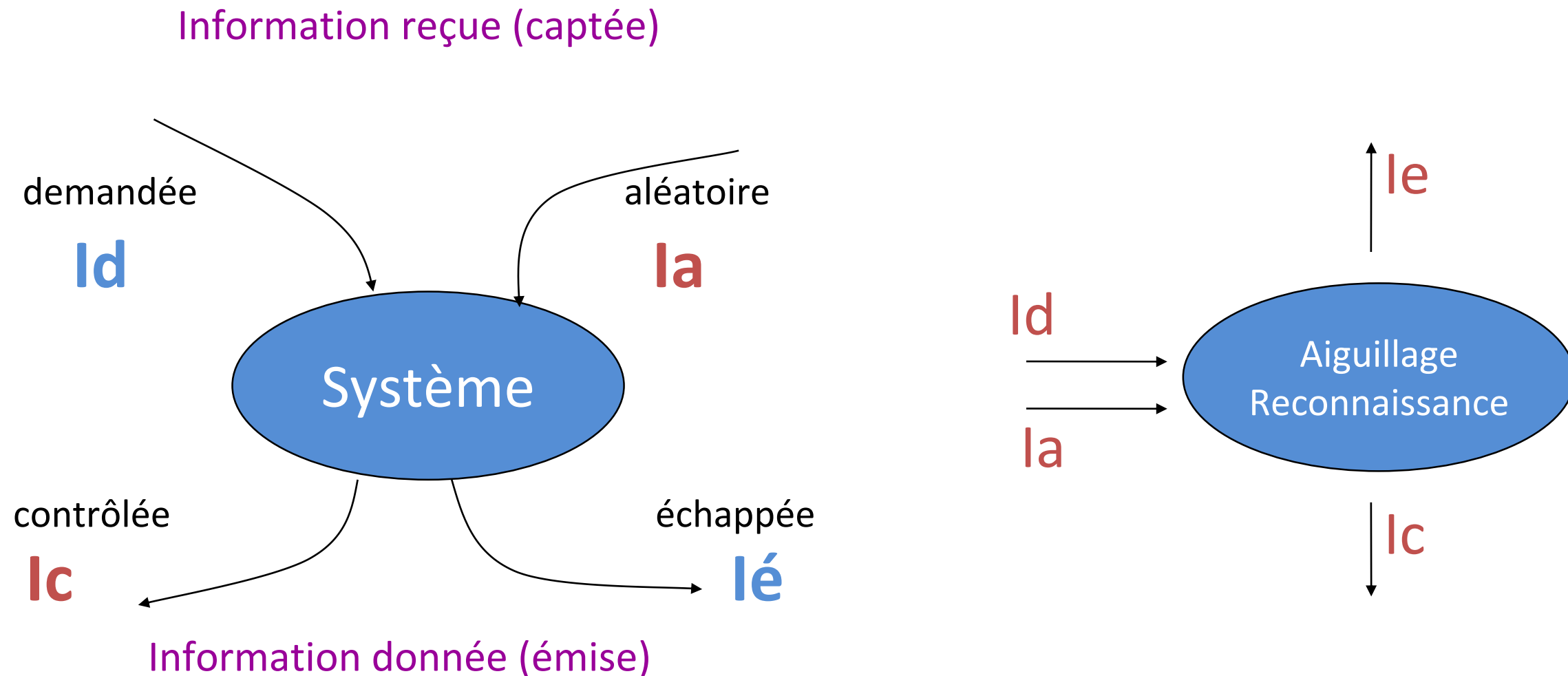
ne pas faire la confusion entre  
complexe et compliqué

- Dépend des éléments et de leurs relations (nombre et autres paramètres)

le Macroscopie de J.de Rosnay: instrument intellectuel pour comprendre  
et maîtriser la complexité

- Est devenue une discipline en soi, est une **dimension**  
**essentielle des systèmes**

# Information



Déplacement (transmission)

dans le temps >> **mémoire**

dans l'espace >> **mouvement**

Changement (transformation)

de forme >> **codage/décodage**

de contenu >> **calcul**

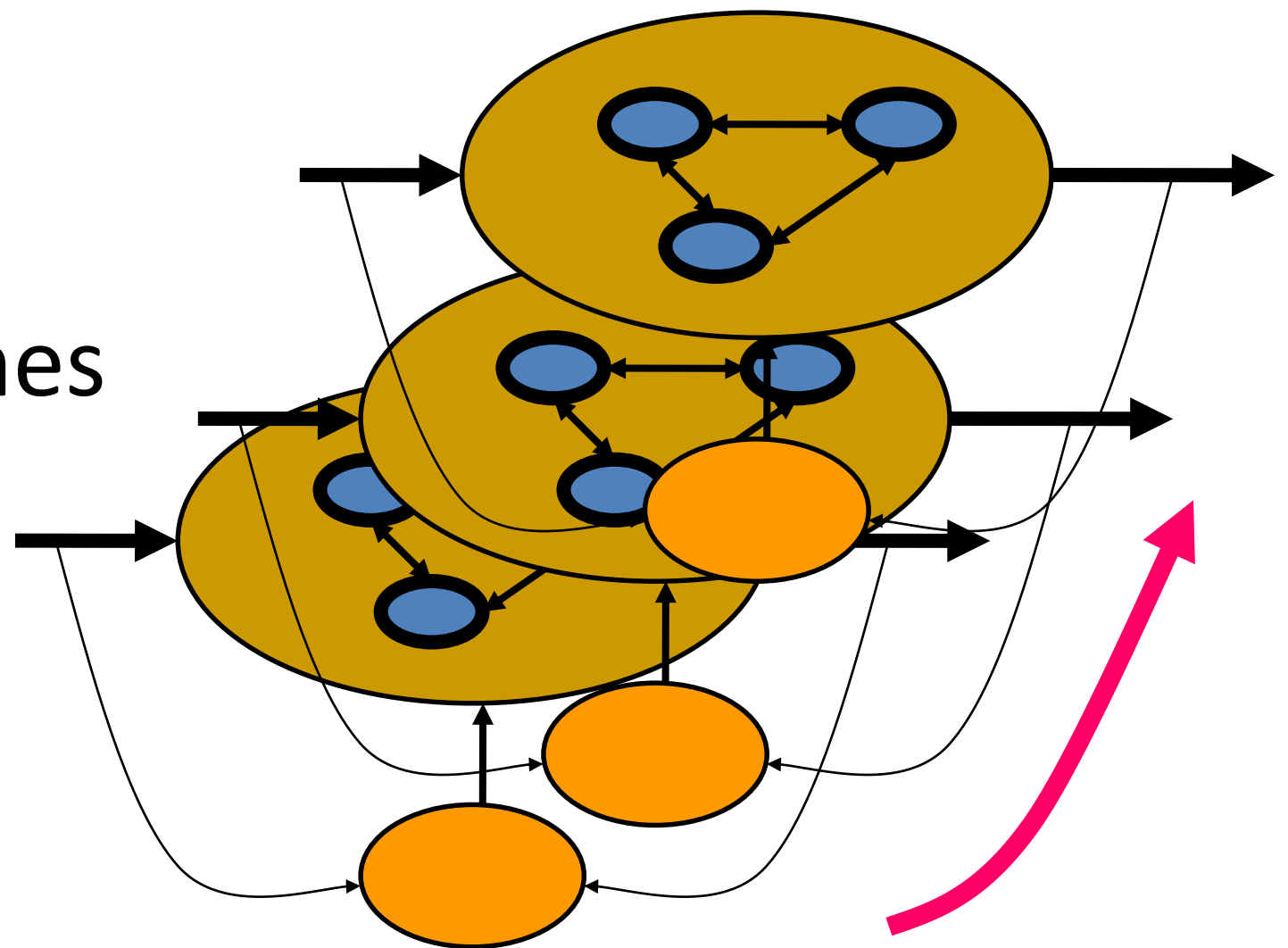
Contrôle

# La Problématique

- ◆ Relations avec l'environnement
- ◆ Organisation
- ◆ Conservation
- ◆ Variété
- ◆ Evolution

# Différents éclairages

- **Systeme et environnement**
  - La boîte noire
- **Systeme et sous-systèmes**
  - Le contenu de la boîte
- **Systeme et temps**
  - Le changement
- **Régulation des systemes**
  - Le contrôle



# Types de relations d'entrée-sortie

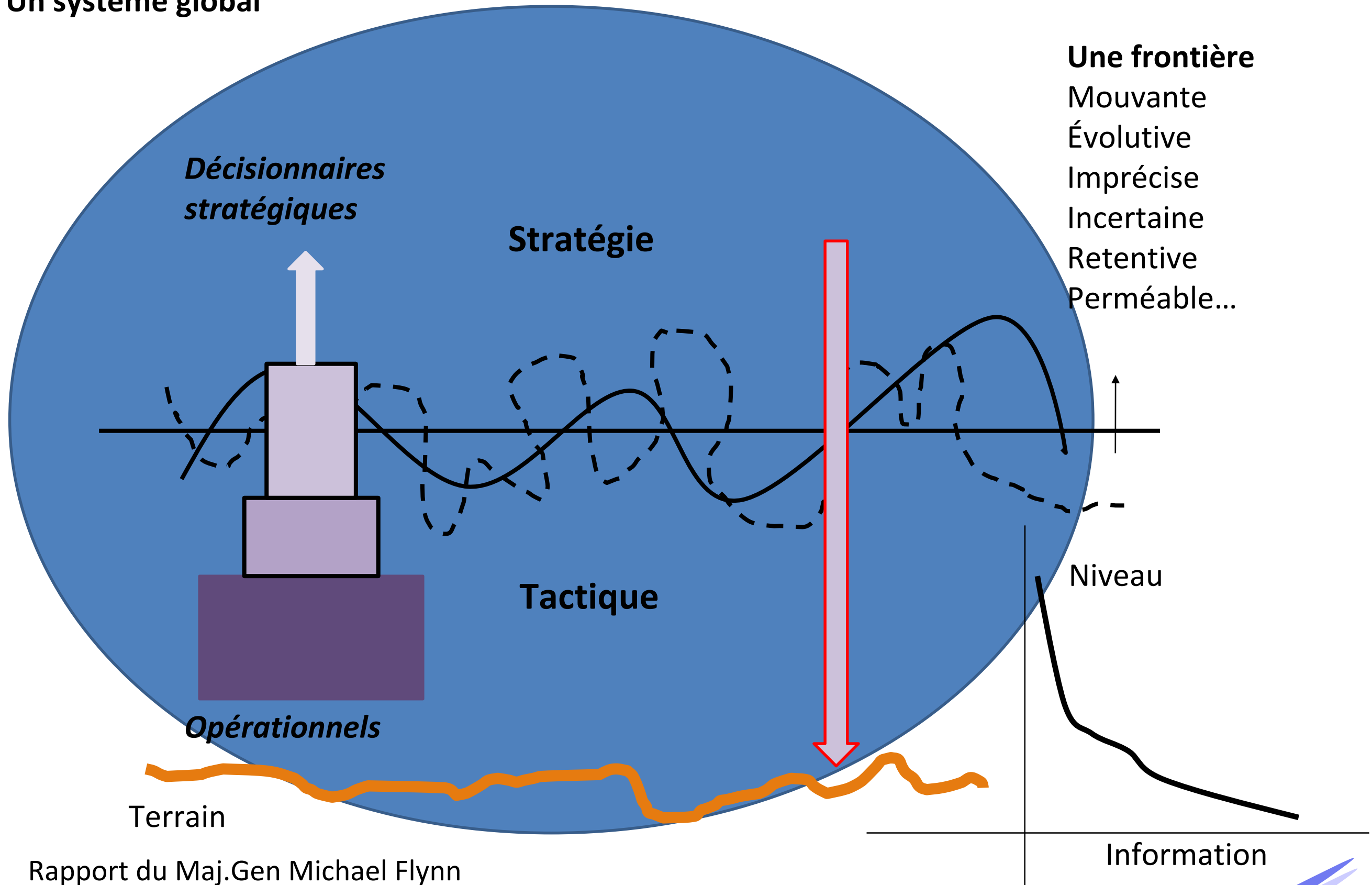
- Transformations qualitatives
- Transformations quantitatives
- Commutation (aiguillage)
- Stockage (mouvement dans le temps)
- Transport (mouvement dans l'espace)

# Frontières d'un système

- Délimitation arbitraire de la frontière = regroupe en général les éléments dont les propriétés sont homogènes et cohérentes
- Forme informative ou support matériel ou énergétique, inerte ou active vis à vis de l'environnement.
- Frontière, statique, floue, fluctuante, floue et fluctuante
- Frontière perméable aux éléments internes ou externes, matérialisée ou non matérialisé transgressible ou intransgressible
- Intégration (ou abandon) par le système de zones successives de l'environnement.

**La frontière est un élément essentiel pour l'étude et la compréhension d'un système**

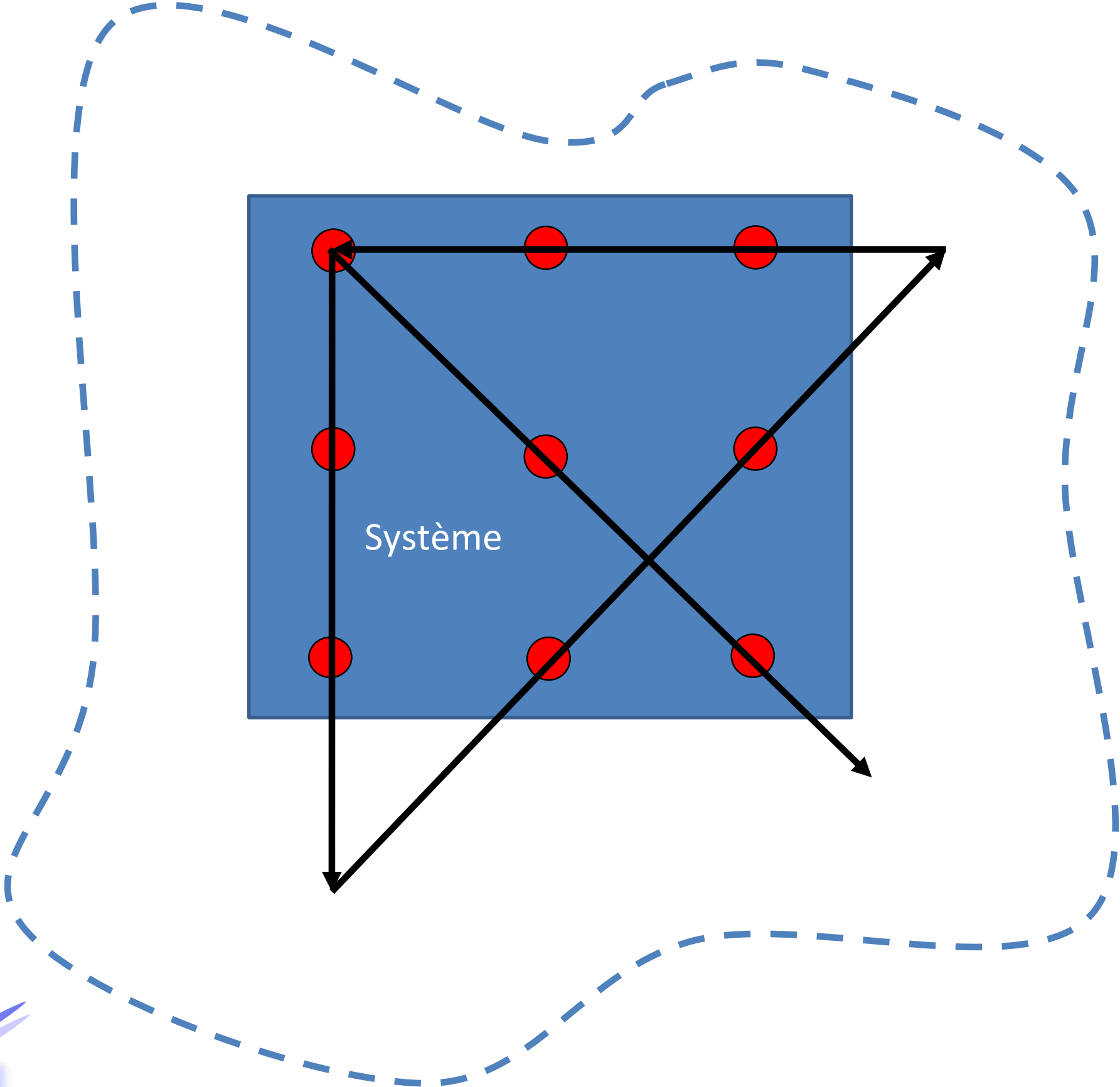
# Un système global



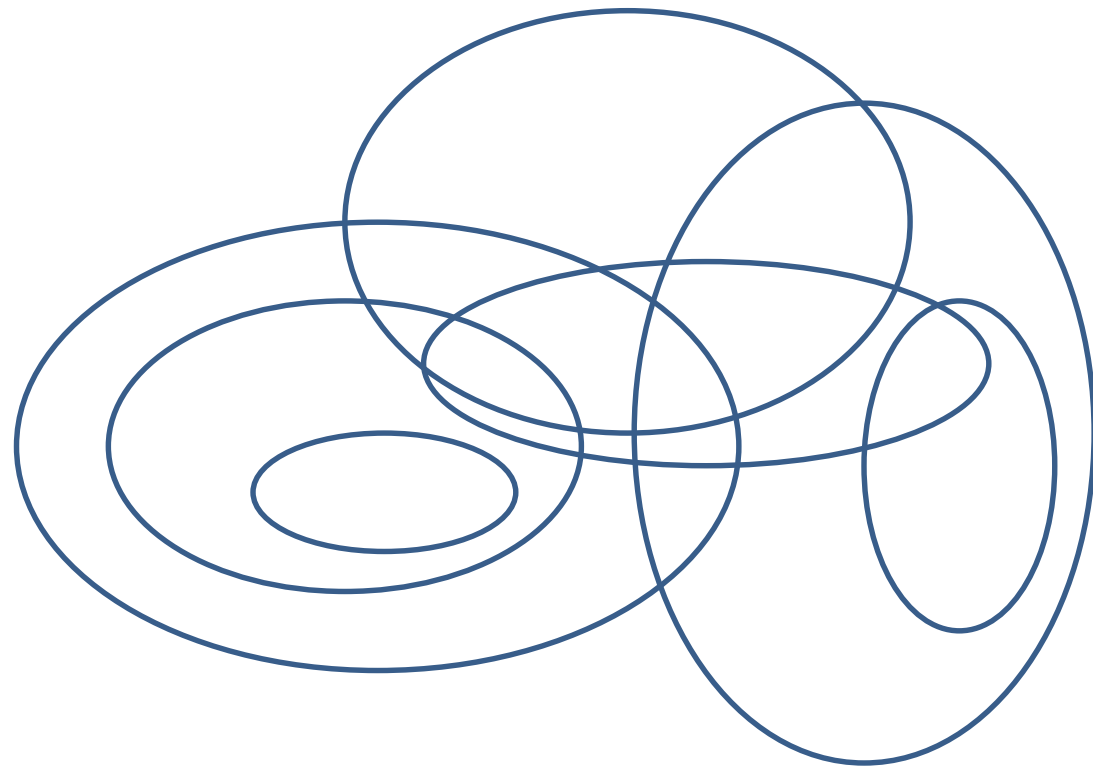
**Une frontière**  
Mouvante  
Évolutive  
Imprécise  
Incertaine  
Retentive  
Perméable...

Rapport du Maj.Gen Michael Flynn  
« Fixing Intel: A Blueprint for Making Intelligence Relevant in Afghanistan »

Environnement



## Des frontières partout

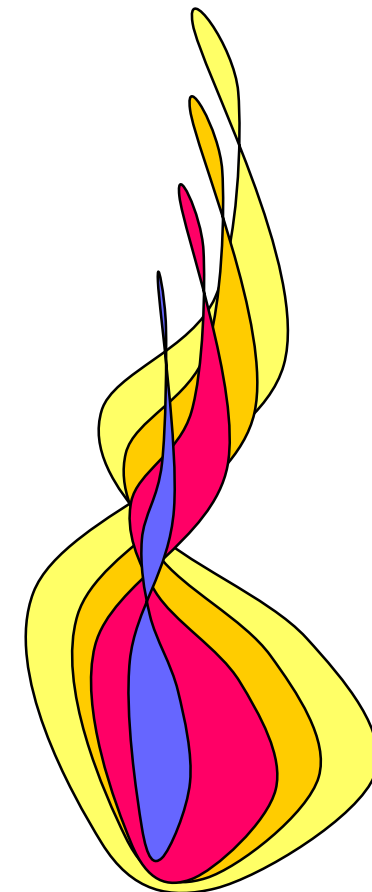


### Quelle est la frontière de l'Europe?

- Ou est-elle?
- Comment évolue-t-elle?
- Quelle est sa visibilité?
- Pour qui?

### Quelle est la frontière d'une flamme?

- Ou est-elle?
- Pour combien de temps?
- Peut-on l'identifier précisément?



# Quelques généralités sur les frontières

➤ Les frontières peuvent être qualifiées comme:

- nettes
- floues
- stables
- instables
- permanentes
- transientes (passagères)
- matérielles
- énergétiques
- informationnelles
- virtuelles

... et probablement avec d'autres propriétés aussi.

- Le concept de FRONTIERE est complexe.
- Penser est former, ce qui veut dire mettre des frontières
- C'est l'un des concepts les plus fréquents
- Les frontières sont partout et dépendent des personnes qui les manipulent ou en parlent

# Les frontières comme freins

- Elles sont d'abord considérées comme barrières, limites,...
- Physiques et/ou virtuelles
- Les limites de la connaissance impliquent des frontières, un ensemble de frontières qui sont la cause des émergences.
- Un passage de frontière peut causer des problèmes, avoir des conséquences dramatiques (ex: guerre)
- Autorisations nécessaires pour les passer
- Permettent l'isolation (dedans/dehors)
- Les filtres sont aussi des freins: standards, procédures, instructions,...

# **Les frontières comme « boosters »**

- **Nous essayons de pousser les frontières aussi loin que possible, ou les éviter, ou les franchir**
- **Leur existence même est une injonction pour les passer**
- **Les objectifs fixent des frontières à dépasser**
- **L'Ambition est une caractéristique liée au franchissement de frontières**
- **Le processus de management est un mix de mise en place de frontières**
- **Les standards sont des frontières qui peuvent avoir un effet de « booster »**

# Nouveaux types de frontières

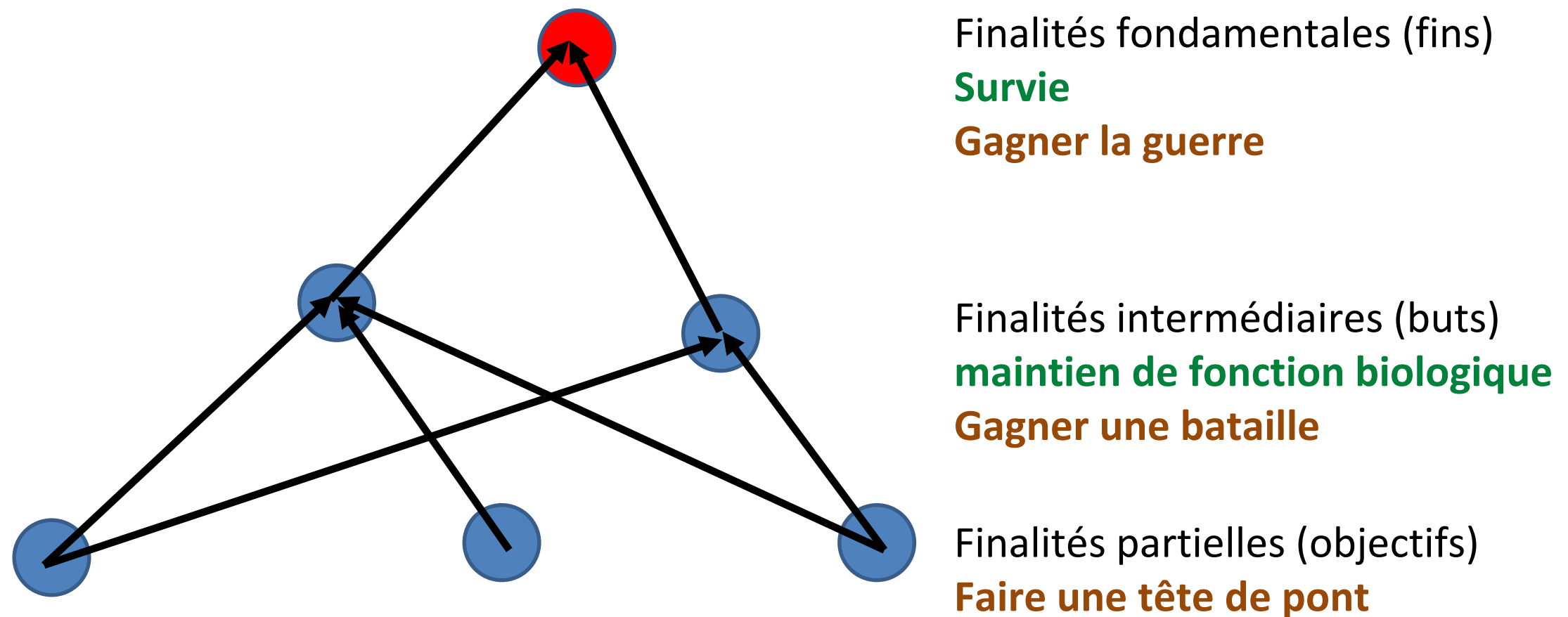
- **Crées par l'évolution, aujourd'hui par l'évolution technologique**
- **Les réseaux ont des frontières qui posent problèmes**
  - comment les franchir, les éviter
  - comment les percevoir
  - comment manager ce système
- **La robotique pose des questions difficiles**
  - comment les interfacer avec les humains
- **La nanotechnologie n'a pas de frontières clairement définies**
- **Les techniques de management et les diverses doctrines créent tous les jours des frontières dont il faudra tenir compte**

## **Petite conclusion:**

- *Les frontières sont partout*
- *On construit des frontières tout le temps*
- *Les frontières ne doivent pas être sous-estimées*
- *Les frontières sont un outil pour le manager, le commandant*
- *Le « monde sans frontières » est une illusion dangereuse*

# Finalité

- Hiérarchisation des finalités d'un système:



Ex. **Organisme**, **Guerre**

# Le comportement

- Un système est adaptatif s'il peut adopter un comportement favorable à ses finalités en tenant compte de l'environnement
  - **Fuite**
    - Changement de lieu
    - Abandon de l'environnement
  - **Lutte**
    - Modification de l'environnement
  - **Adaptation** 
    - Utilisation de ses variables internes pour modifier les effets des entrées (les atténuer ou les compenser)

# Le comportement

**Le comportement dépend :**

**De l'environnement**

Stable ou fluctuant

Transitoire ou durable

**Des finalités**

Recherche de stabilité, d'optimalité ou de satisfaction

**Des moyens**

Disponibilité / Manque

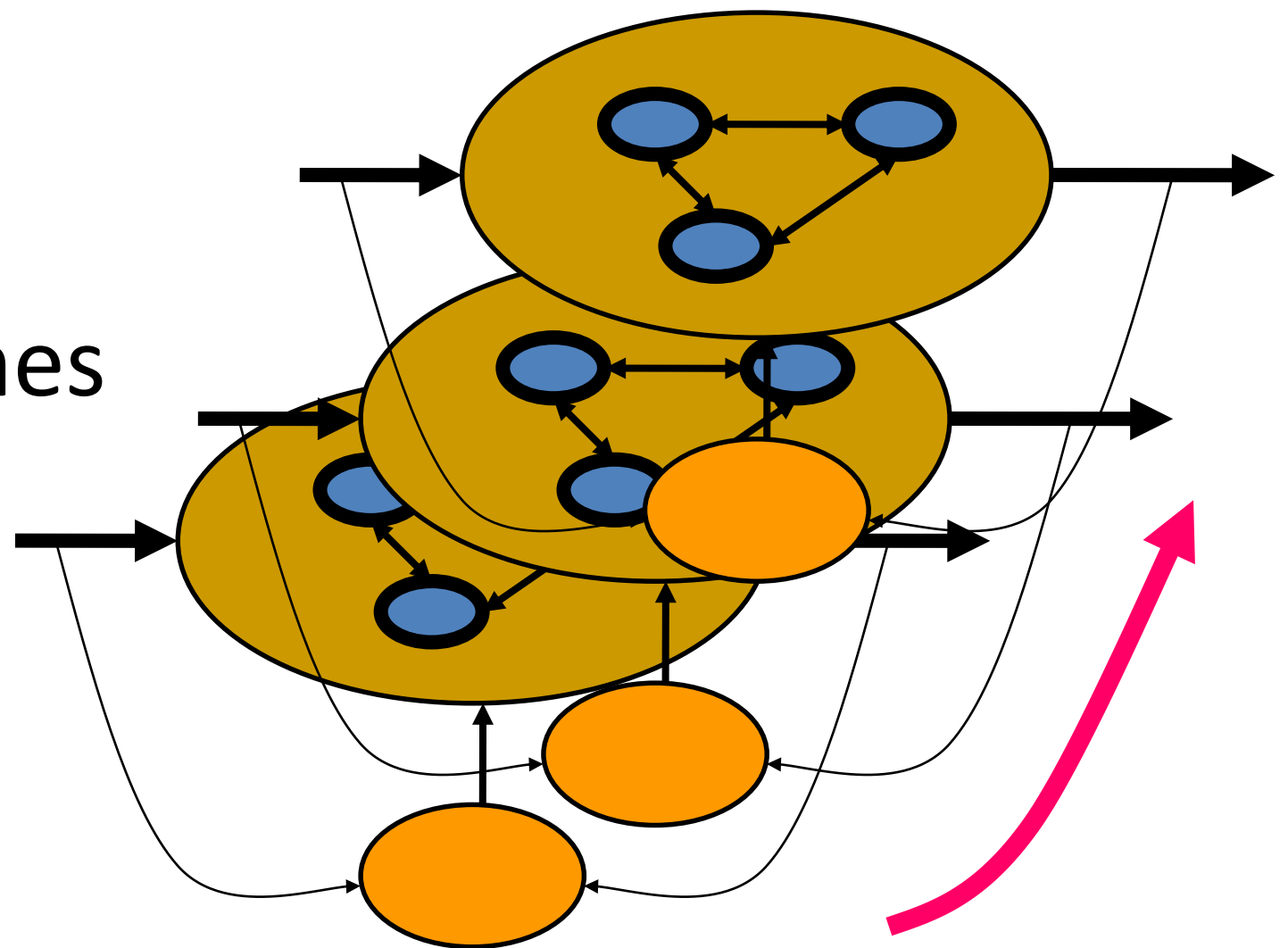
Coût

## **Le comportement et des relations qui en découlent**

- Relation **environnement / finalité**
  - Favorable / défavorable
- Relation **action système / environnement**
  - Modifiabilité de l'environnement
- Relation **action système / finalité**
  - Mobilisation

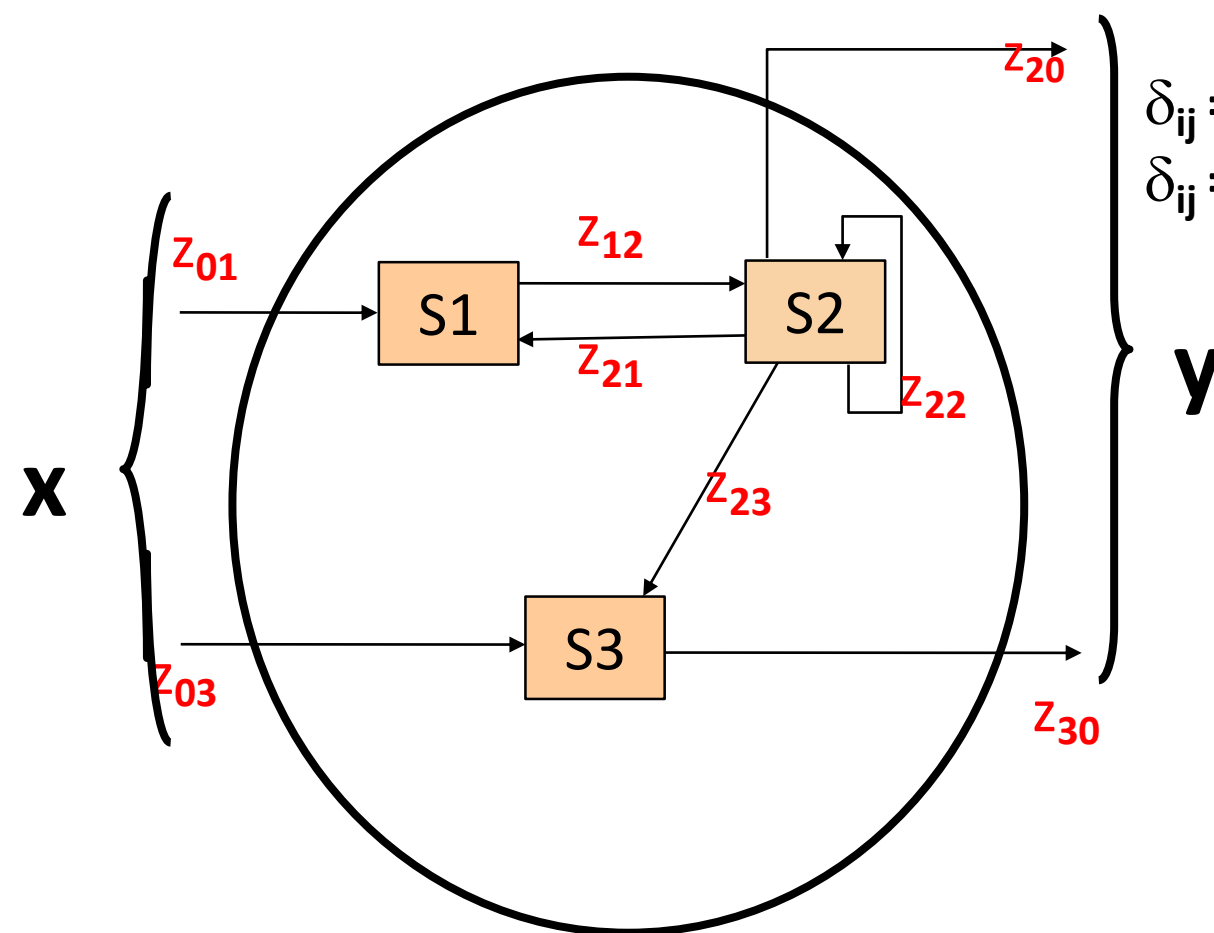
# Différents éclairages

- Système et environnement
  - La boîte noire
- **Système et sous-systèmes**
  - Le contenu de la boîte
- Système et temps
  - Le changement
- Régulation des systèmes
  - Le contrôle



# Systemes, sous-systemes et environnement

- Matrice de couplage global



$S_0 = \text{Environnement}$

$\Delta = \delta_{ij}$  tel que

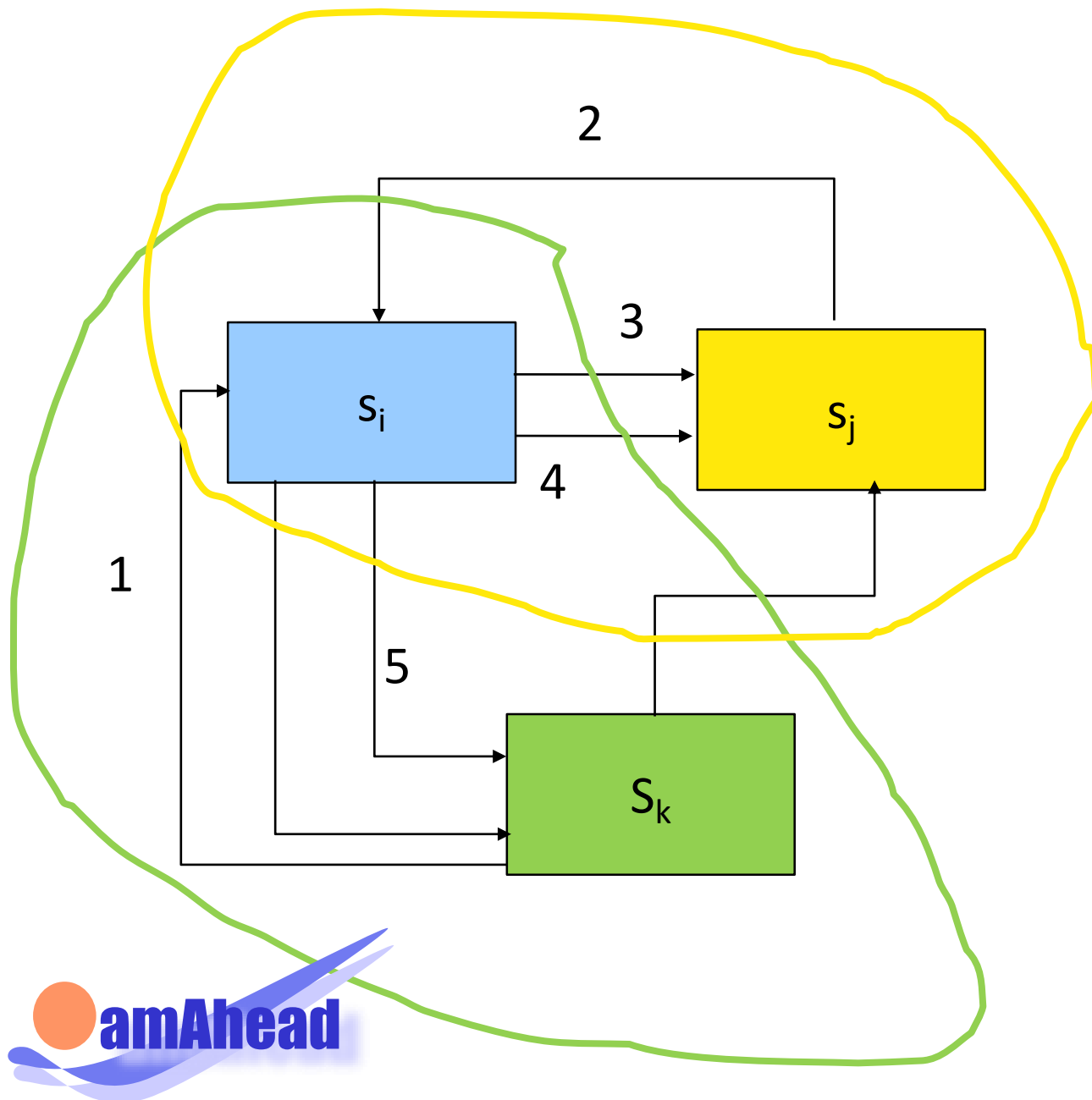
$\delta_{ij} = 1$  s'il existe une relation de  $S_i$  vers  $S_j$

$\delta_{ij} = 0$  s'il n'existe pas de relation de  $S_i$  vers  $S_j$

|    | S0 | S1 | S2 | S3 |
|----|----|----|----|----|
| S0 | 0  | 1  | 0  | 1  |
| S1 | 0  | 0  | 1  | 0  |
| S2 | 1  | 1  | 1  | 1  |
| S3 | 1  | 0  | 0  | 0  |

# Systemes, sous-systemes et environnement

- Matrices d'interaction



| $\Delta_{ij}$ | Si1 | Si2 | Si3 | Si4 | Si5 | Si6 |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Sj1           | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| Sj2           | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| Sj3           | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   |
| Sj4           | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   |

| $\Delta_{ik}$ | Si1 | Si2 | Si3 | Si4 | Si5 | Si6 |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Sk1           | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   |
| Sk2           | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   |
| Sk3           | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| Sk4           | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |

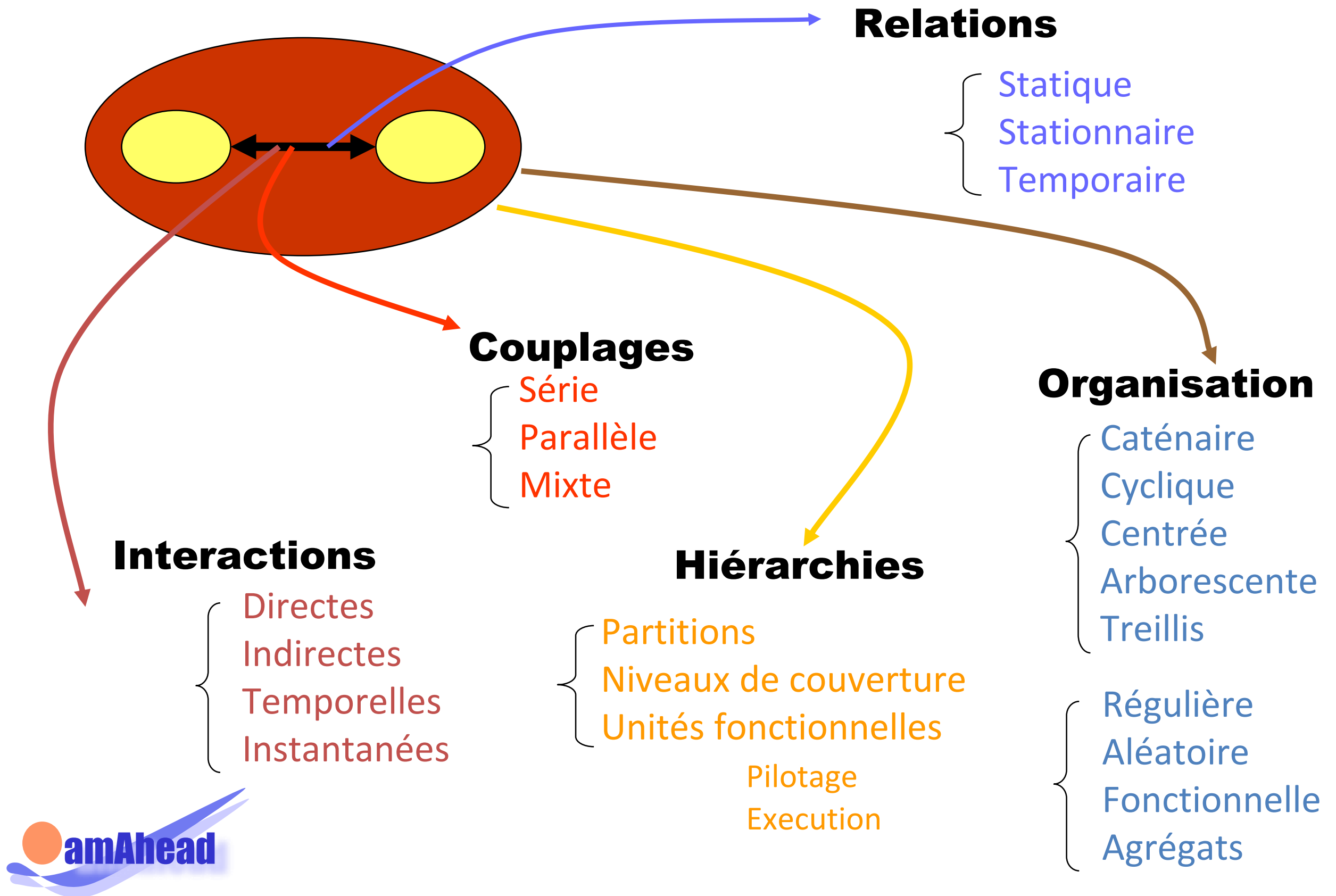
# Propriétés macro/microscopiques d'un système

- Microscopique:
  - spécifiques de chacun des sous-systèmes
- Macroscopique
  - définies seulement au niveau global du système
- Principe d'agrégation (postulat):
  - Les propriétés macroscopiques du système **émergent** et résultent de la conjonction:
    - Propriétés microscopiques des sous-systèmes
    - Caractéristiques des réseaux d'interaction

# Propriétés macro/microscopiques d'un système

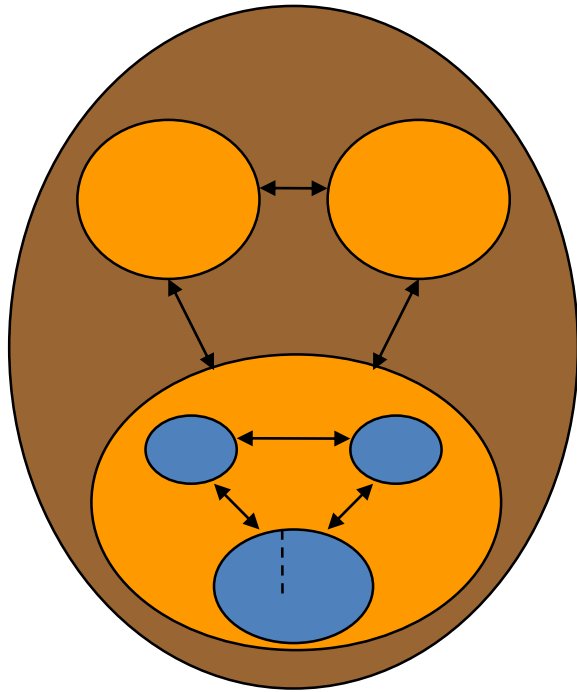
- Conséquences:
  - Processus d'intégration: des propriétés des systèmes ne sont parfois pas des propriétés des sous systèmes mais sont *dues aux caractéristiques du réseau d'interaction* on les nomme des **propriétés émergentes**
  - Des propriété restant au niveau des sous-systèmes se nomment des **propriétés immergentes**.

# Systeme et Sous-systemes



# Systeme et Sous-systèmes

## Emboîtement

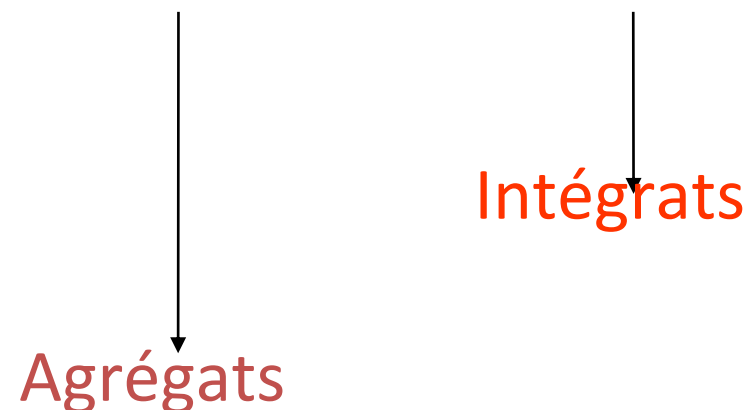


## Emergence/Immérgence

|          |          | Système | S-Système |
|----------|----------|---------|-----------|
| Comport. | Simple   |         |           |
|          | Complexe |         |           |
|          |          |         |           |
|          |          |         |           |

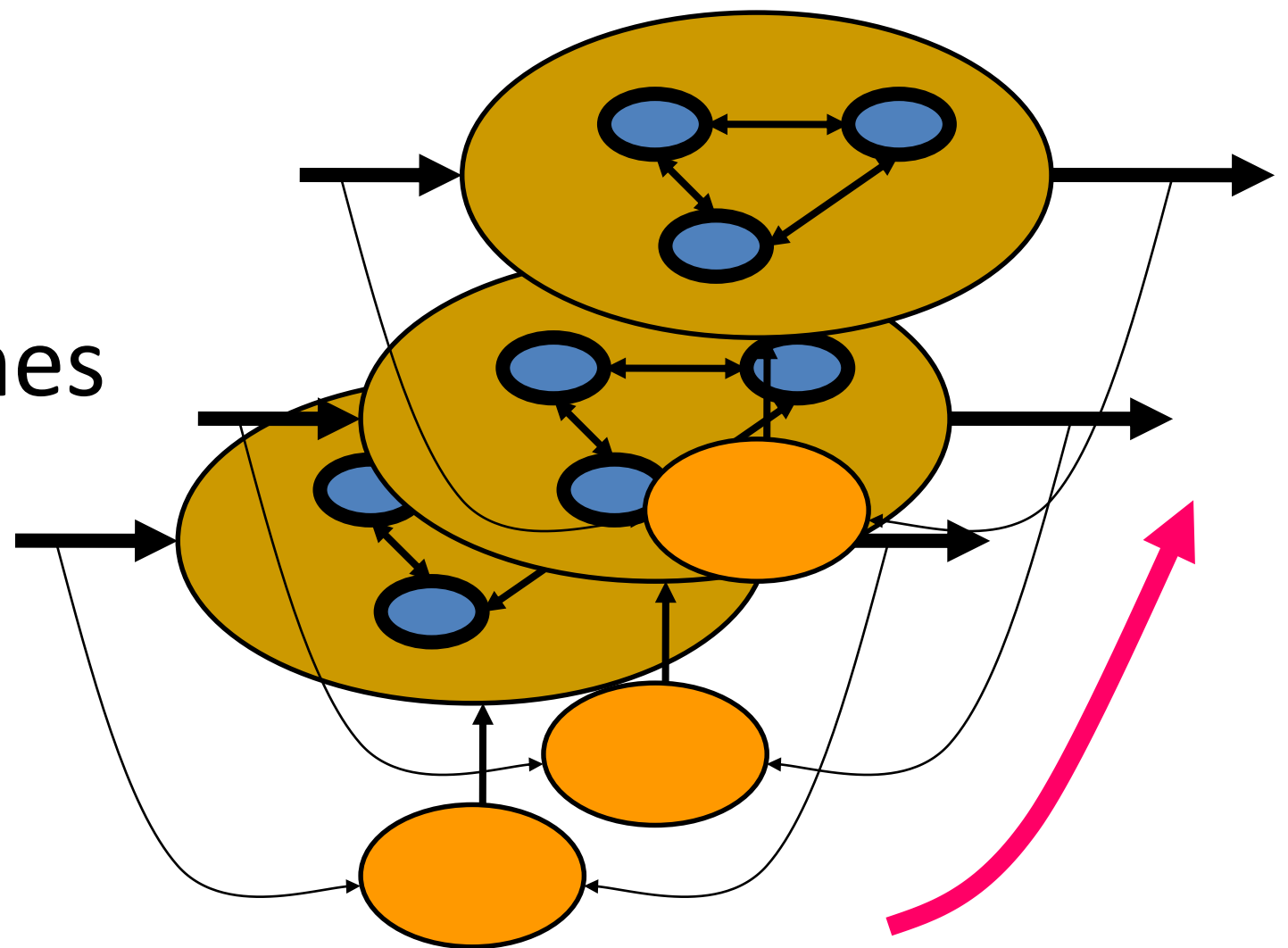
Propriétés microscopiques  
Propriétés macroscopiques

## Agrégation/Intégration

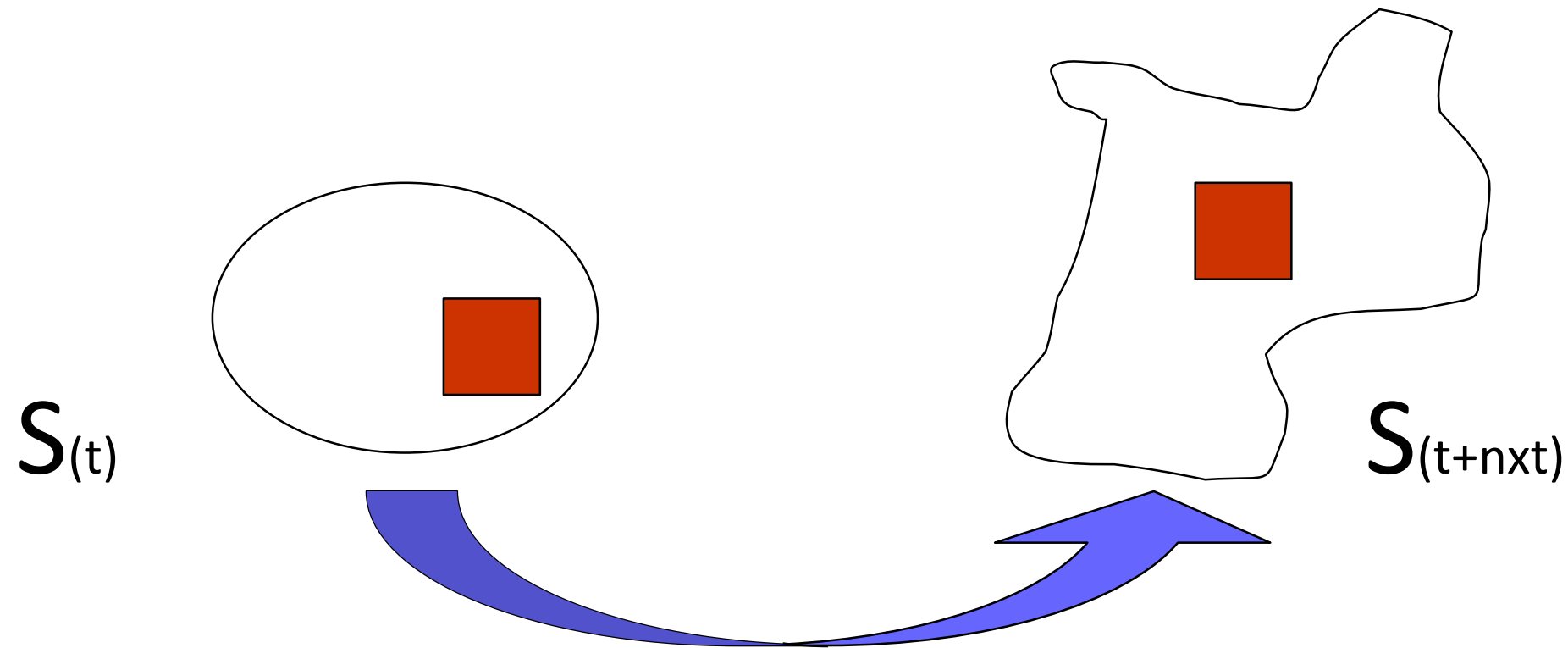


# Différents éclairages

- **Systeme et environnement**
  - La boîte noire
- **Systeme et sous-systèmes**
  - Le contenu de la boîte
- **Systeme et temps**
  - Le changement
- **Régulation des systemes**
  - Le contrôle

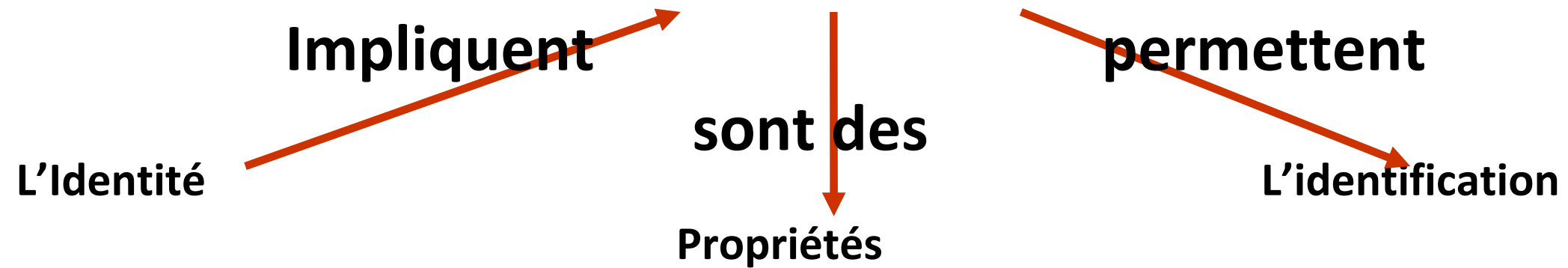


# Systeme et Temps



- \* **Caractéristiques:** les invariants, le changement
- \* **Hierarchies:** structurelles, temporelles
- \* **Propriétés dynamiques:** réversibilité, convergence, auto-organisation

# Invariants



\*Perspective stationnaire

- Autonomie (vs.environnement)
- Cohérence (entre SS)

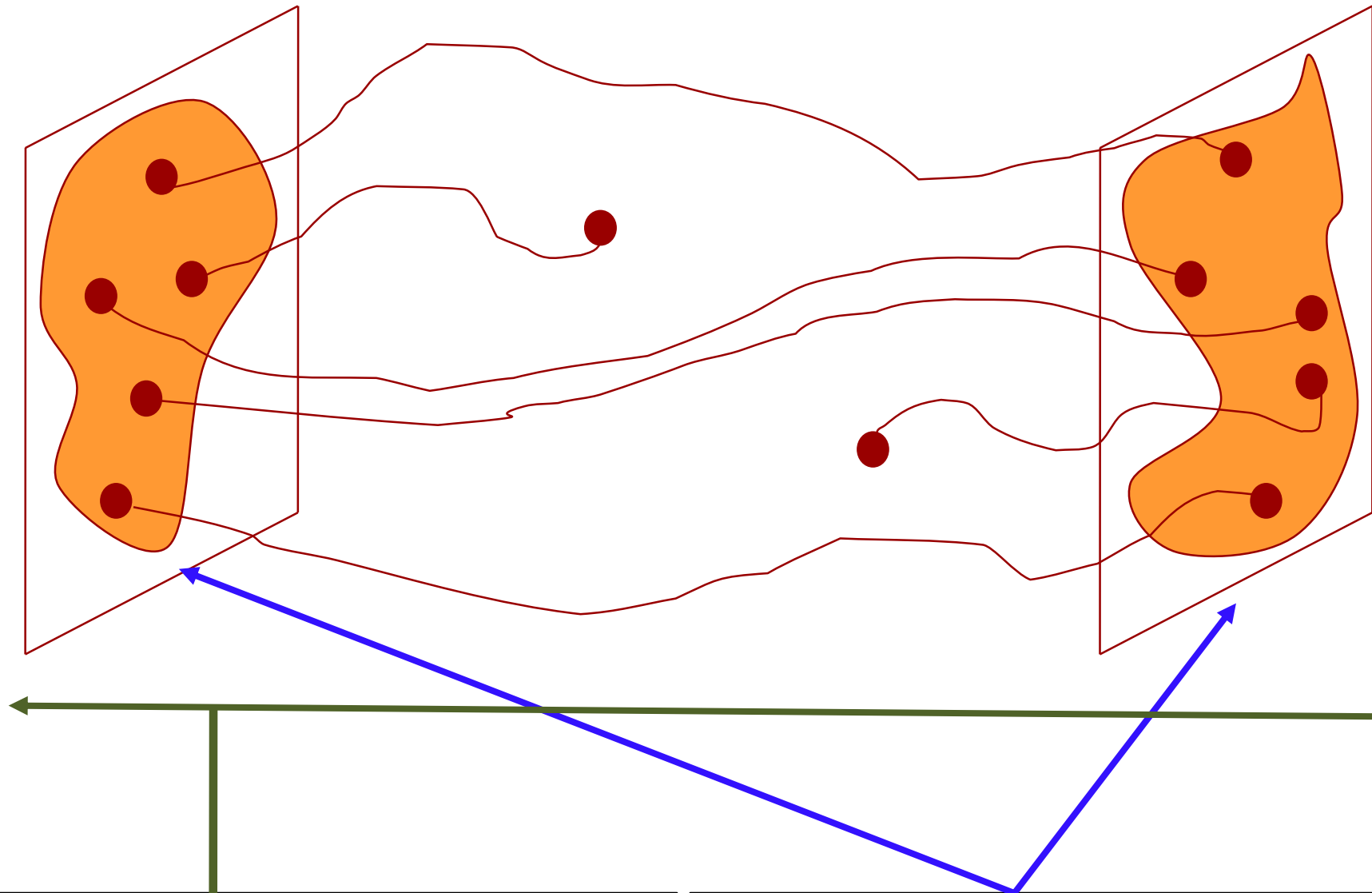
\*Perspective temporelle

- Fonctionnement
- Evolution

# Synchronisme/Diachronisme

Stabilité  
Adaptation  
Apprentissage

Ouverture  
Equilibre  
Organisation



Propriétés concernant  
les relations entre  
mêmes caract.  
À « t » et « t+dt »

Analyse  
longitudinale

Propriétés concernant  
les relations entre  
caract. du système  
à « t » ou « t+dt »

Analyse  
transversale

Toute structure a une genèse, toute genèse est transition entre structures

# Systeme et Temps

## Changement

Conjoncturel

Structurel

### Vision

#### Synchrone

- Ouverture
- Equilibre
- Organisation

#### Diachrone

- Adaptation
- Stabilité
- Apprentissage

## Invariants

Longue durée

Courte durée

Fluctuations

## Evolution

Aléatoire

Monotone

Périodique

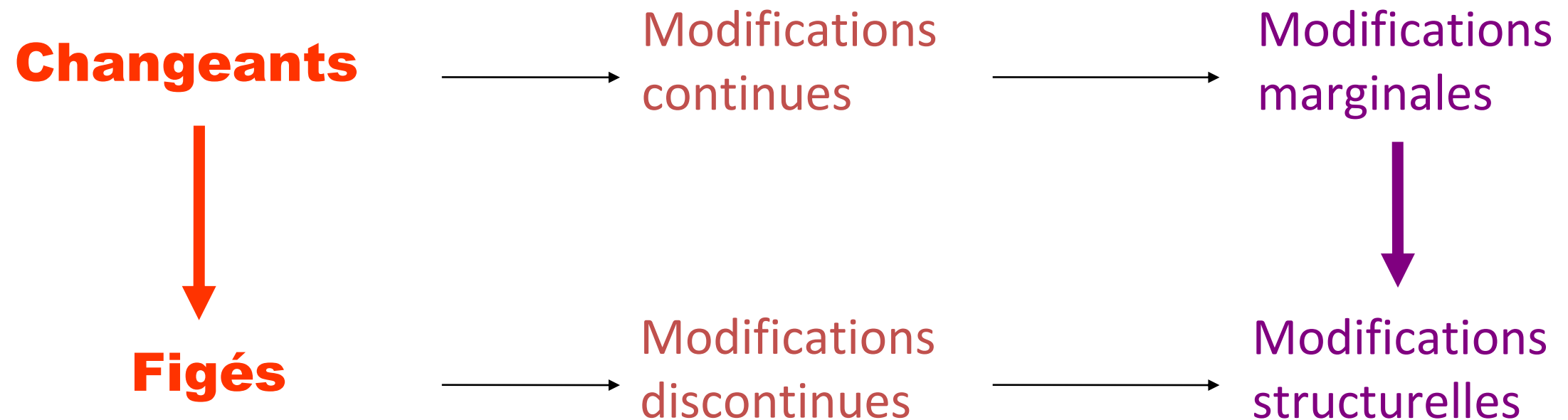
## Rythme

Phénomène principal

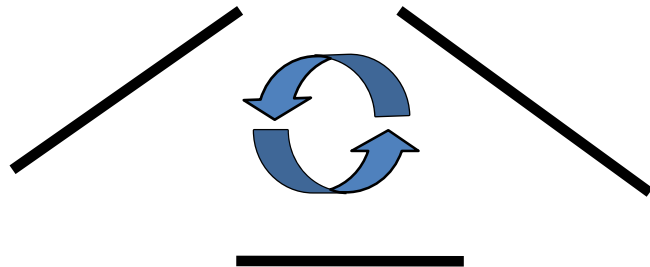
Perturbation

# Systeme et Temps

## Les niveaux de changement



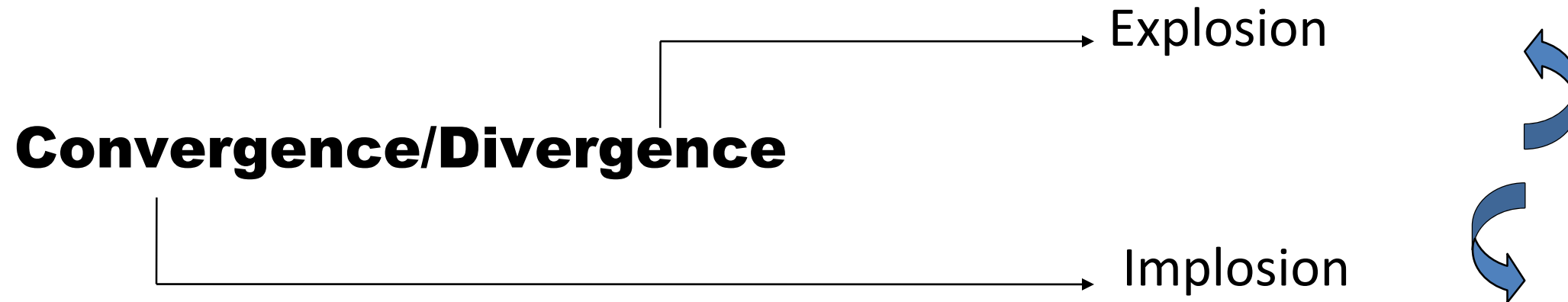
## Relations croisées



## Types de sous-systèmes

- Substituable
- Fonctionnel
- Neutre
- Disfonctionnel
- Complémentaire
- Antagoniste
- Indépendant

# Systeme et Temps



## Organisation

- Hiérarchies → Spécialisation
- Emboîtements → Adaptation/Rejet

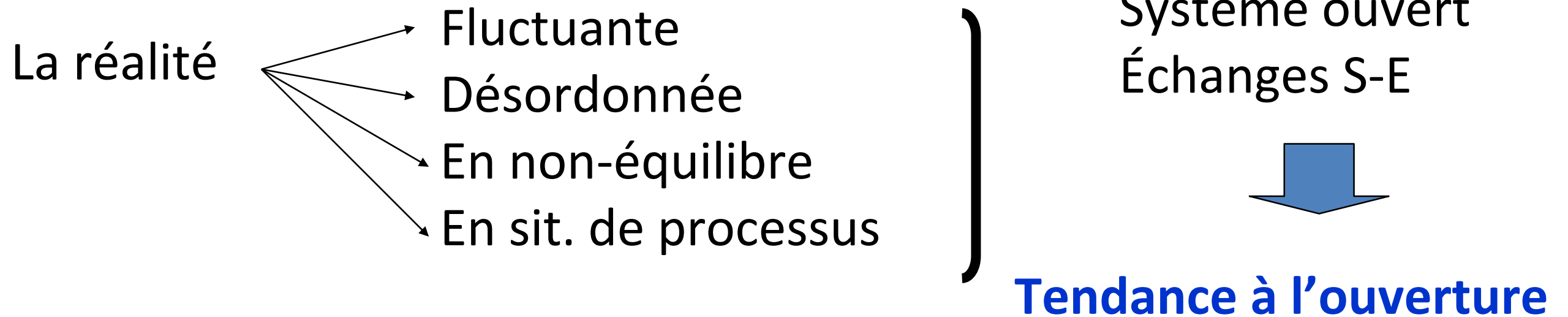
## Apprentissage

Complexification

# Réversibilité/Irréversibilité

Système **réversible** >>>>> changement **transitoire**

Système **irréversible** >>>>> changement **définitif**



**Temps**

[ Réversible  
Irréversible

**Structure**

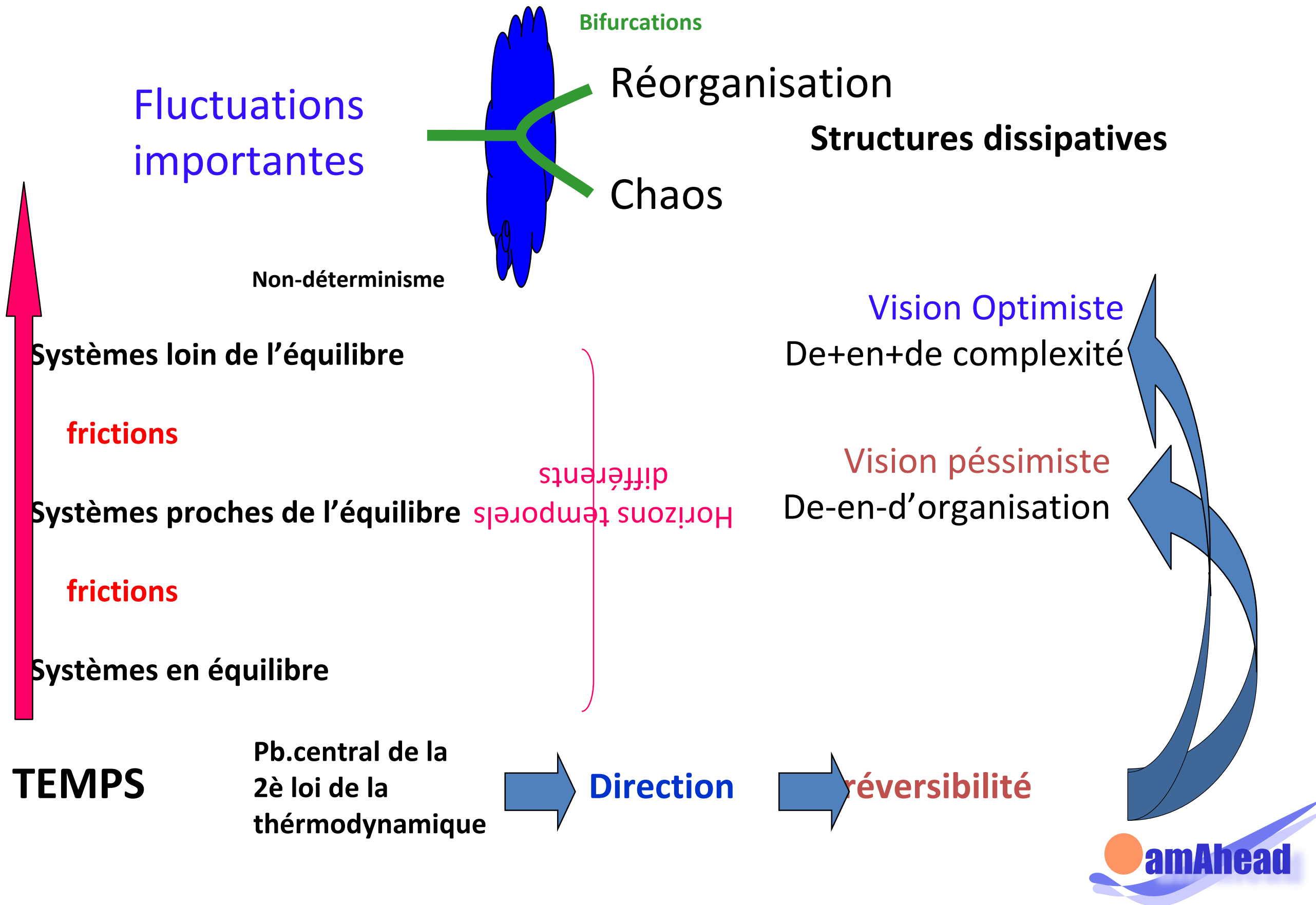
[ Ordre  
Désordre

**Déterminisme**

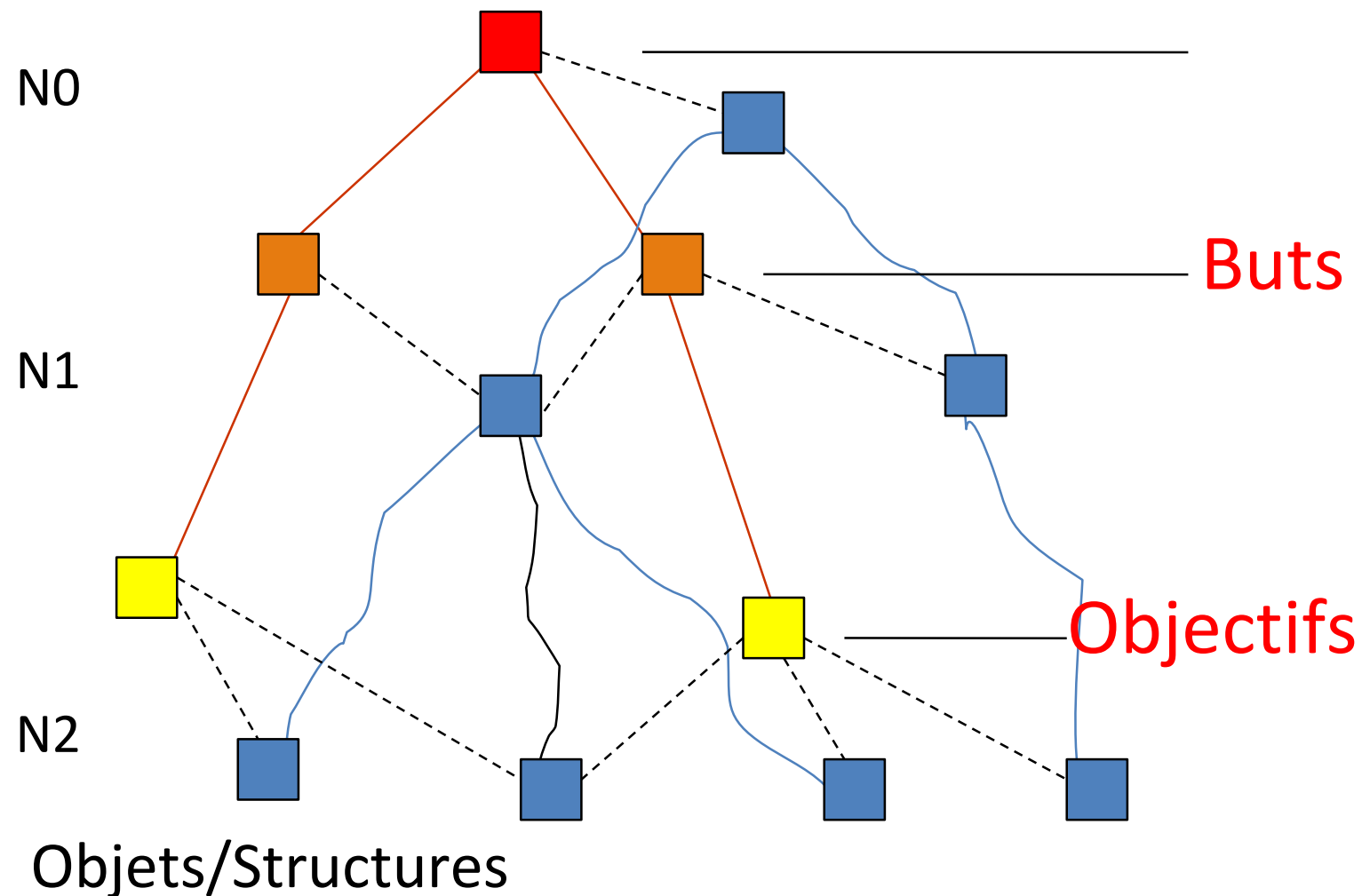
[ Chance  
Nécessité

**Chacun joue son rôle en partenaire dans la destinée**

# Réversibilité/Irréversibilité



# Hiérarchie des invariants temporels et hiérarchie des Finalités



Par rapport à une fonction:

**Le Système peut être:**

- Fonctionnel
- Dysfonctionnel
- Afunctionnel

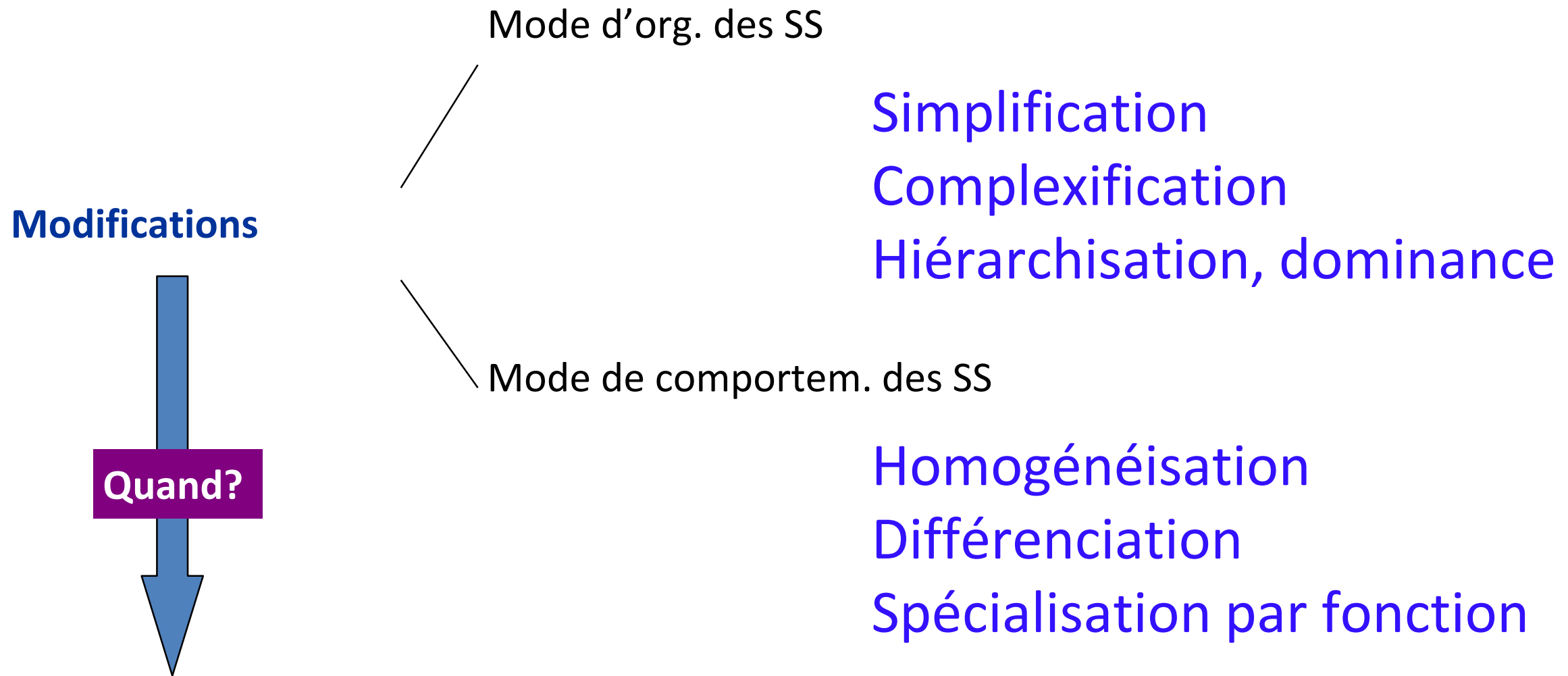
**Les SS peuvent être:**

- Substituables
- Complémentaires
- Antagonistes
- Indépendants

L'expression des finalités du niveau X par des caract. invariantes du niveau correspondant à X dans la structure (caract. structurelles d'ordre X)

# Auto-organisation

Evolution permettant de mieux suivre les finalités



Lors de modifications lentes et continues de l'environnement

**ex: Croissance (emboîtements)**

Lors de modifications brutales provoquées par l'environnement

**ex: greffe (adaptation ou rejet)**

# Auto-apprentissage

Adaptation à l'environnement actuel en fonction de l'expérience

Les structures d'un système peuvent être:

- favorables aux finalités
- défavorables aux finalités

L'auto-apprentissage se base sur:

- **la mémorisation**
- **l'essai/erreur**
- **la relation E/S (la réponse aux stimuli)**

Exemples:

- les systèmes physiques n'ont pas d'a-a
- les systèmes bio sont typiques de l'a-a (anticorps)
- les systèmes sociaux ont de l'a-a (école, milieu)

# Prise en compte du temps

- Temps continu

Mise en valeur des caract. continues

- Temps discret

Ex: Musique

Mise en valeur du changement

- Exogène ( $t$ ,  $t+\delta t$ ,  $T+2\delta t$ )

Met en valeur des variations régulières  
des caractéristiques

Ex: Automate Cellulaire

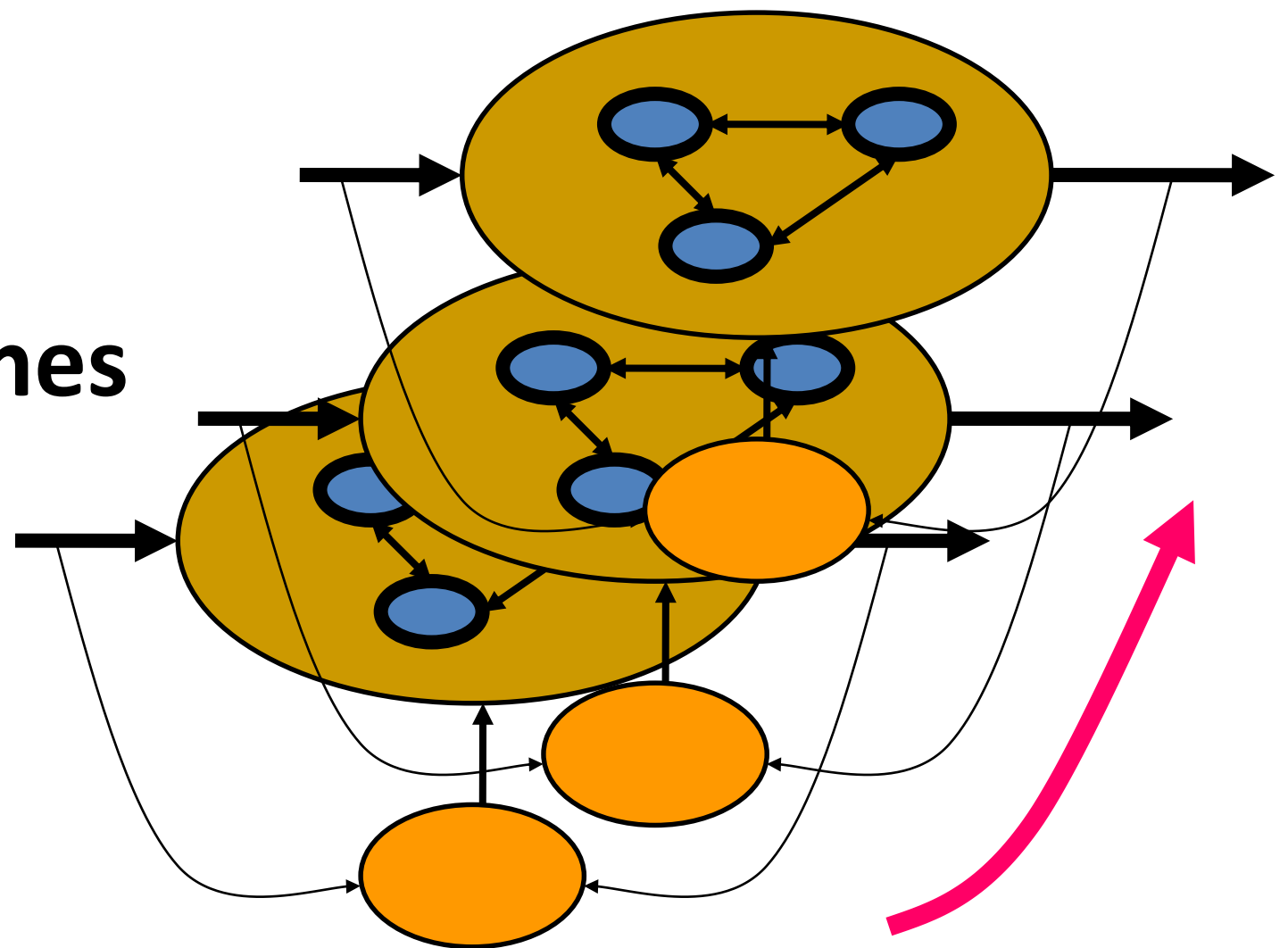
- Endogène (au moment d'un événement)

Met en valeur des mutations, phases,  
transitions de phase

Ex: vapeur/eau/glace

# Différents éclairages

- Système et environnement
  - La boîte noire
- Système et sous-systèmes
  - Le contenu de la boîte
- Système et temps
  - Le changement
- **Régulation des systèmes**
  - Le contrôle



# La régulation des systèmes

Déplacement continu des tensions entre système, sous-systèmes et environnement



Régulation et autorégulation

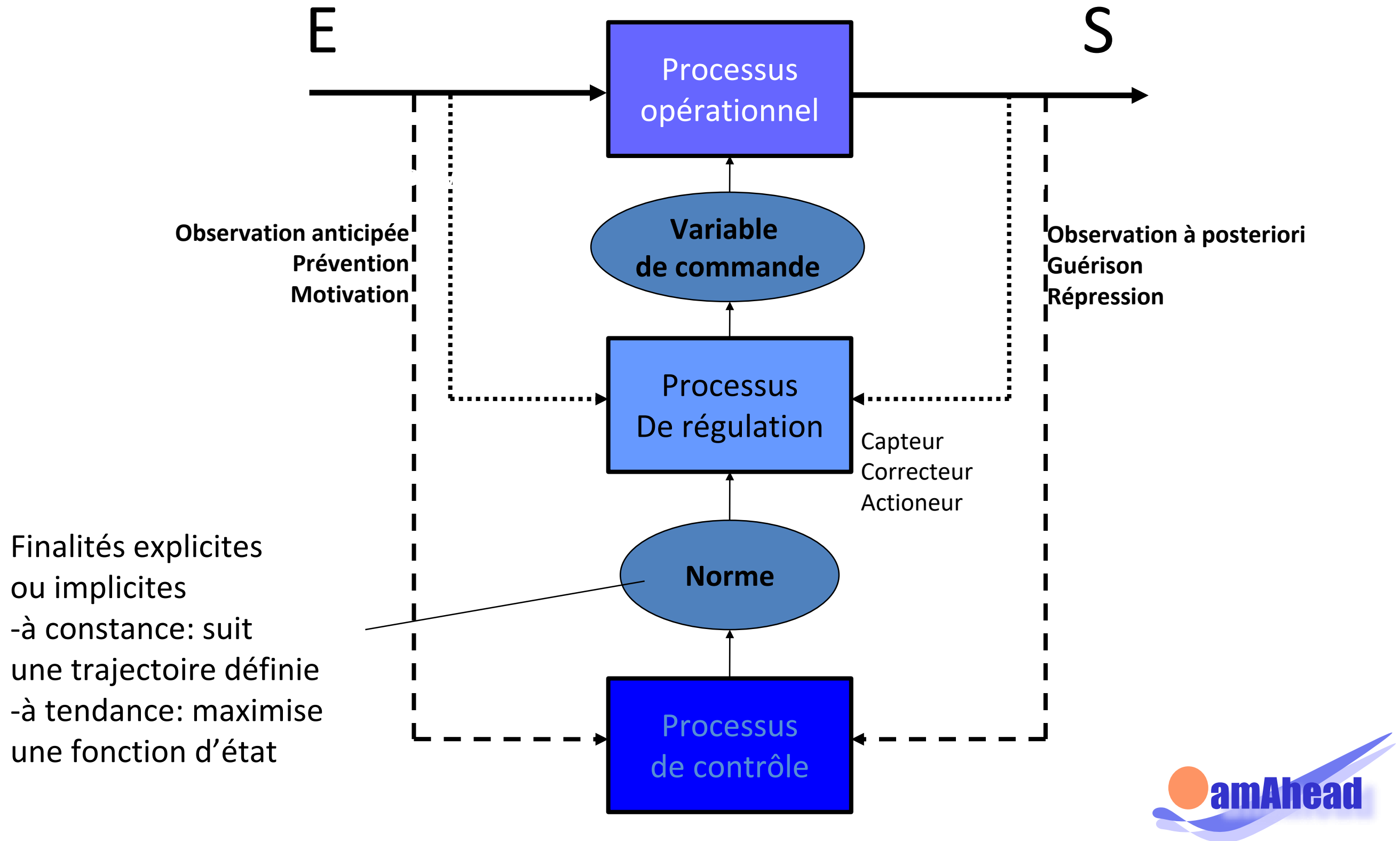
**Passive** >> atténuer les perturbations (filtre, tampon)

- isolants
- carapace
- protectionnisme

**Active** >> absorber les perturbations (compensateur)

- thermostats
- processus homéostatique
- planification

# Régulation Active



# La régulation des systèmes

|                      | Passive | Active | Inter. | Retro. |
|----------------------|---------|--------|--------|--------|
| Sensibilité/Finesse  |         |        |        |        |
| Vitesse de réaction  |         |        |        |        |
| Souplesse/Stabilité  |         |        |        |        |
| Fiabilité/Robustesse |         |        |        |        |

Systèmes artificiels : **Interaction**

>sensibilité, finesse, fiabilité par fabrication,  
souplesse inutile car spécialisés

Systèmes biologiques : **Rétroaction**

>souplesse d'adaptation, fiabilité, pas de vitesse,  
sensibilité faible

Systèmes pscho-sociaux : **Interaction et Rétroaction**

>Balance entre finesse et robustesse

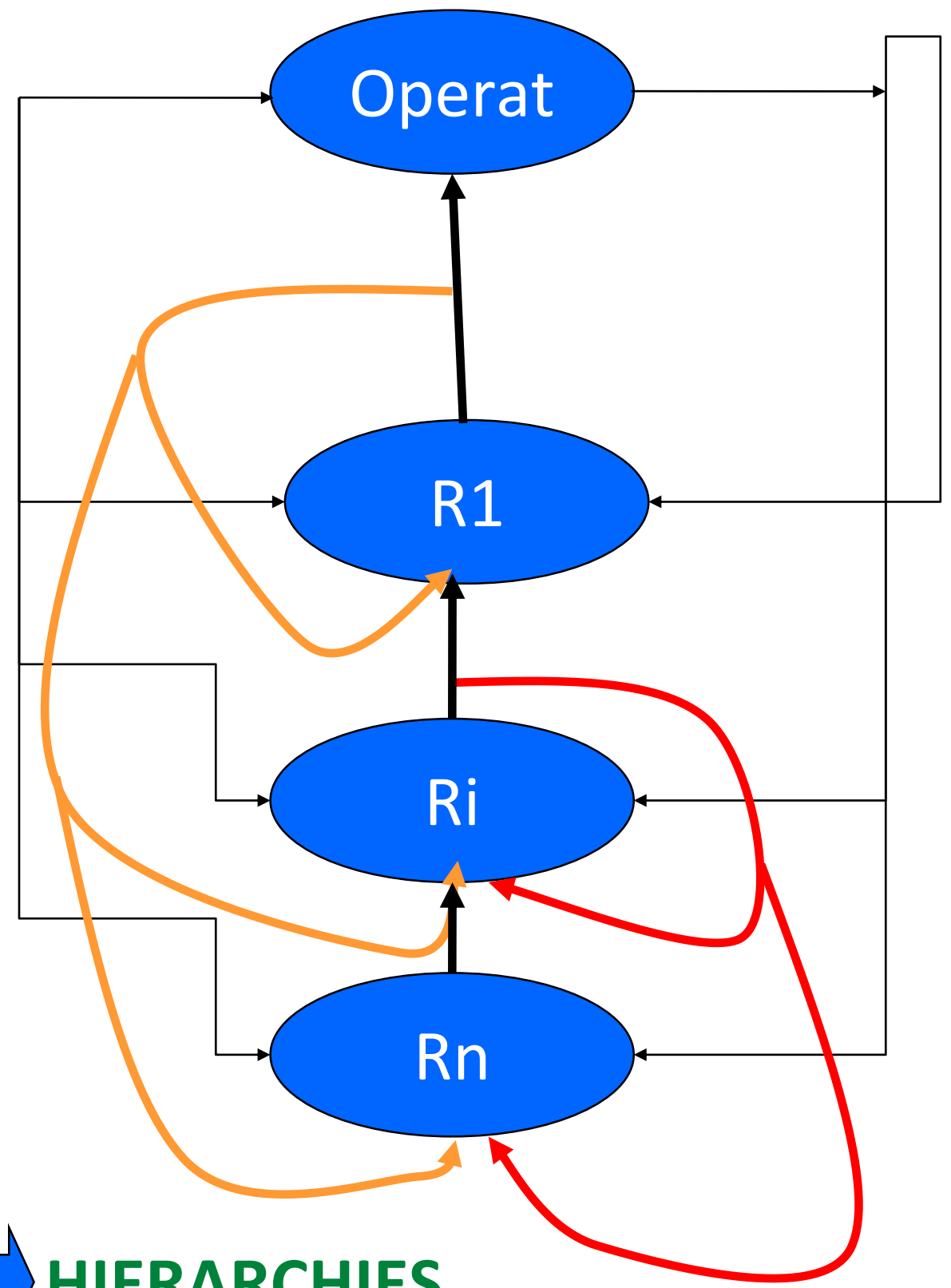
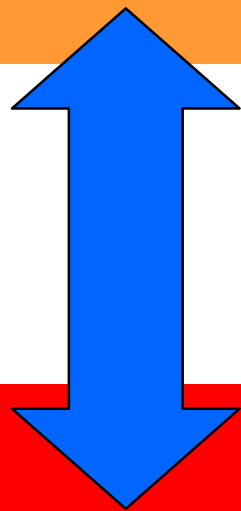
# Réseaux de régulation

## Niveaux de régulation:

- opérationnel → execution
- tactique → régulation
- stratégique → contrôle
- politique → coordination

Court terme  
Rythme rapide  
Objectifs

Long terme  
Rythme lent  
Finalités globales



➡ **HIERARCHIES**

Pour aujourd'hui c'est tout!

**Questions?**

Je vous remercie