

SYSTEMIQUE

Emergence

Décembre 2019

Alexandre MAKAROVITSCH

LA SYSTEMIQUE

Une approche

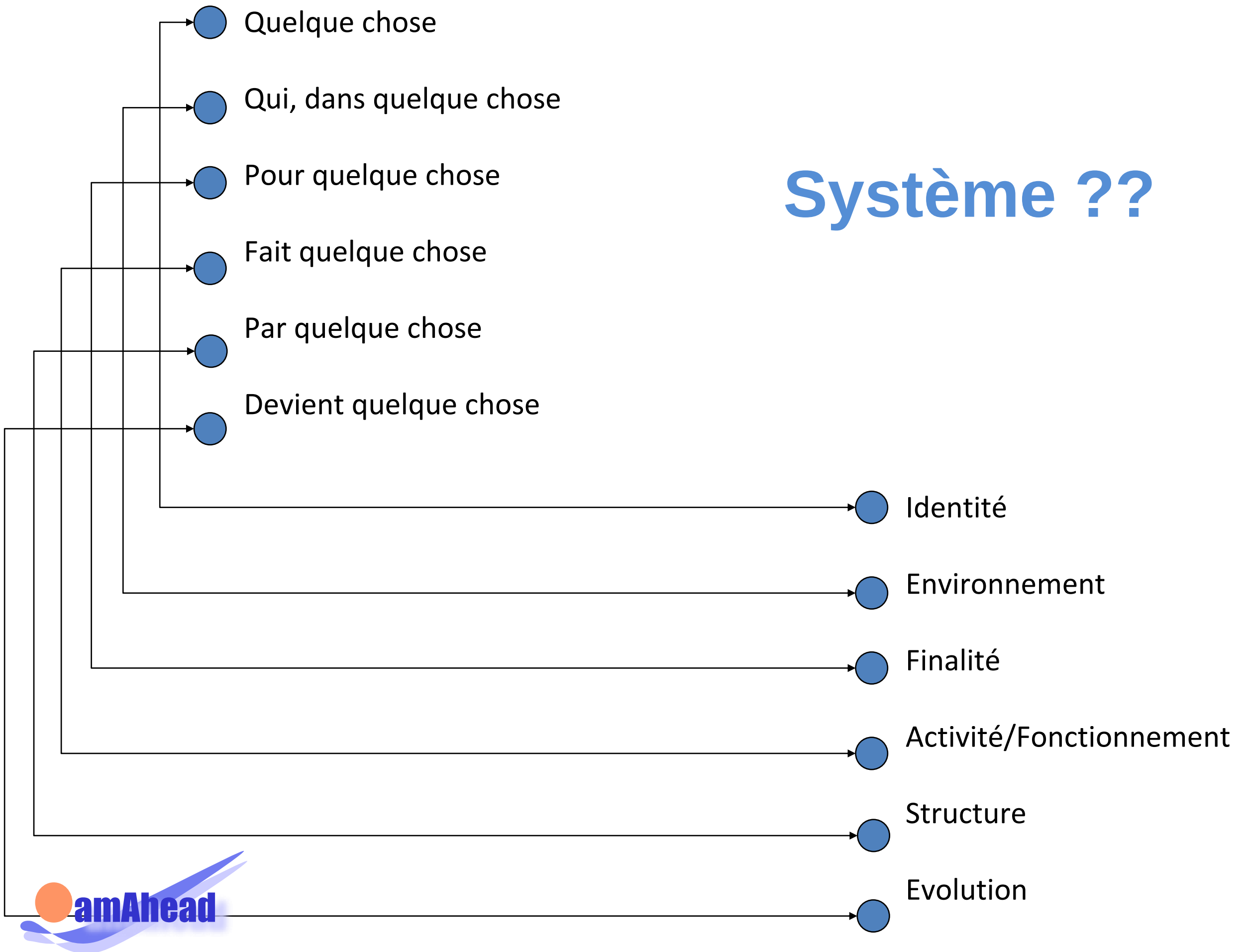
Une démarche



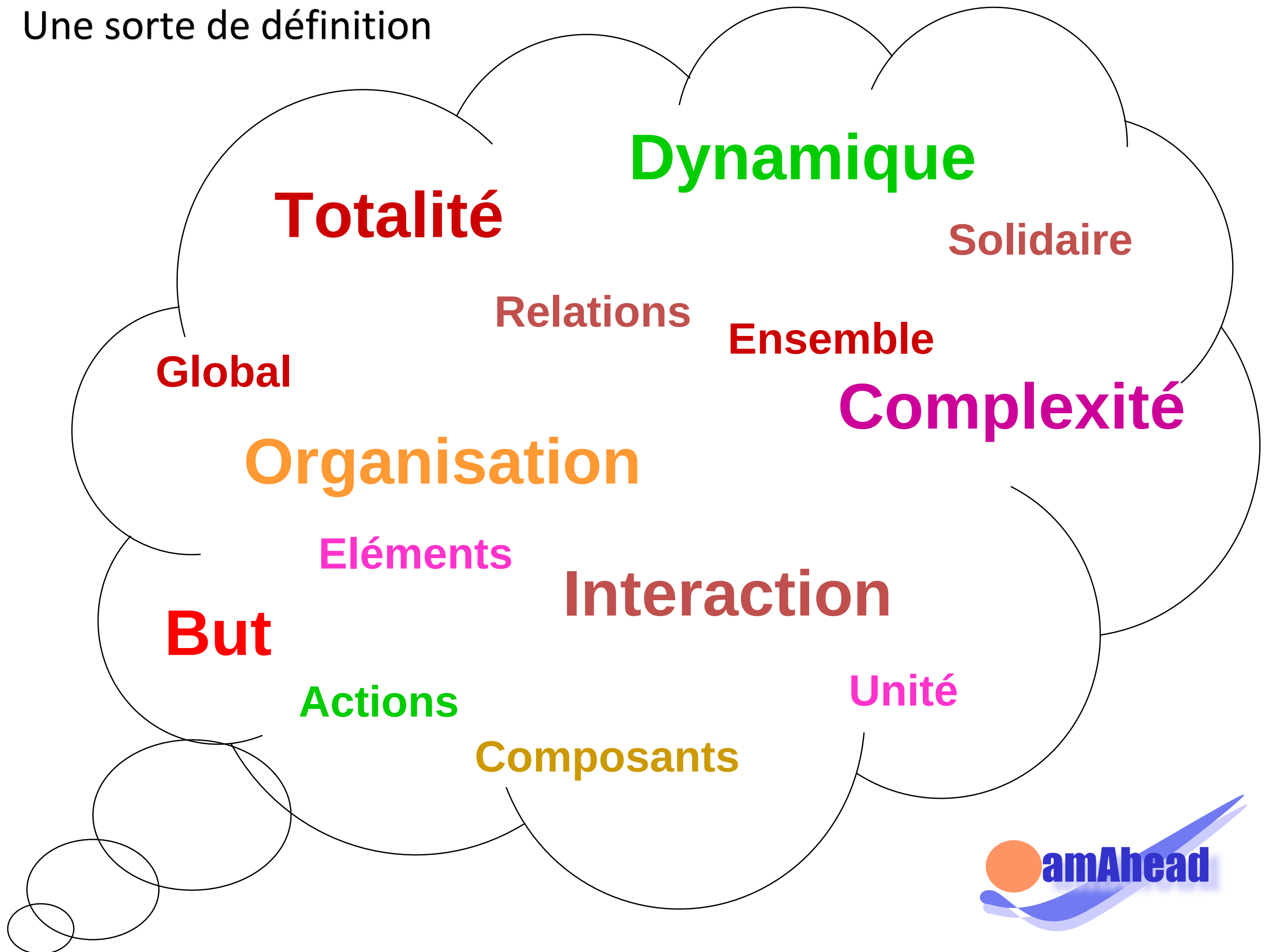
SYSTEME

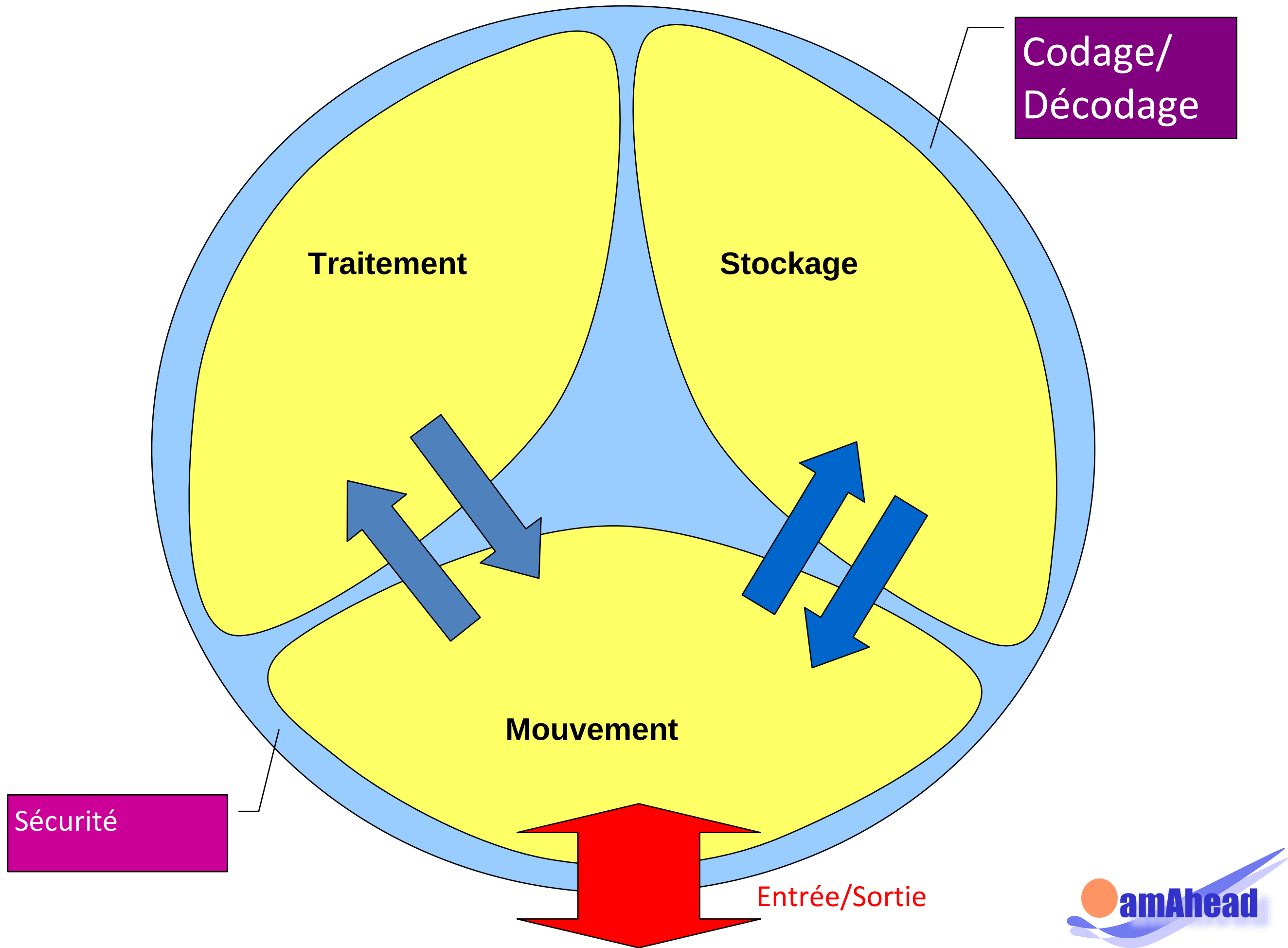
- **von Bertalanffy:** « ensemble d'unités en interrelations mutuelles »
- **de Saussure:** « une totalité organisée, faite d'éléments solidaires ne pouvant être définis que les uns par rapport aux autres en fonction de leur place dans cette totalité »
- **Lesourne:** « ensemble d'éléments liés par un 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 »

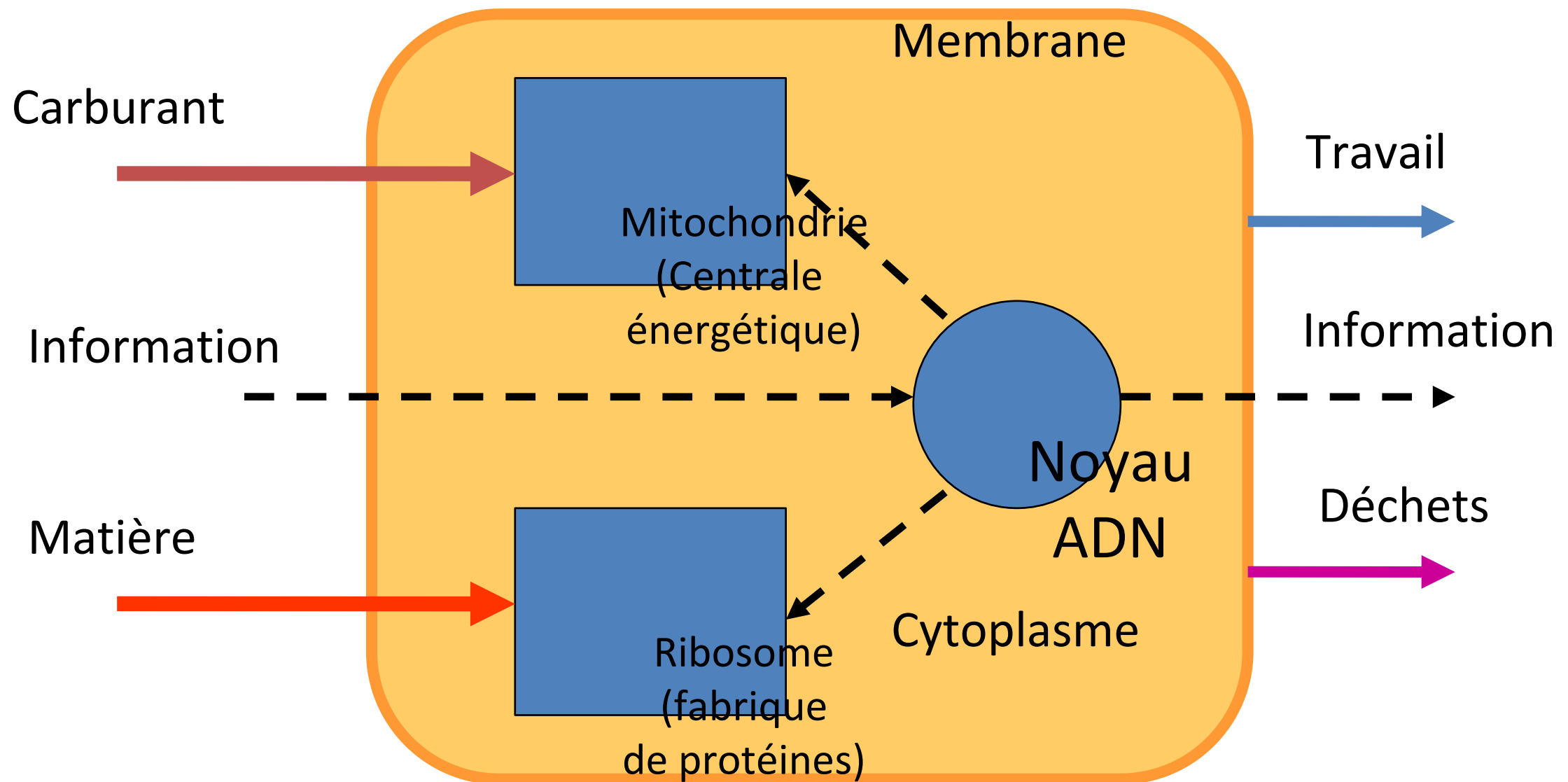
Systeme ??



Une sorte de définition

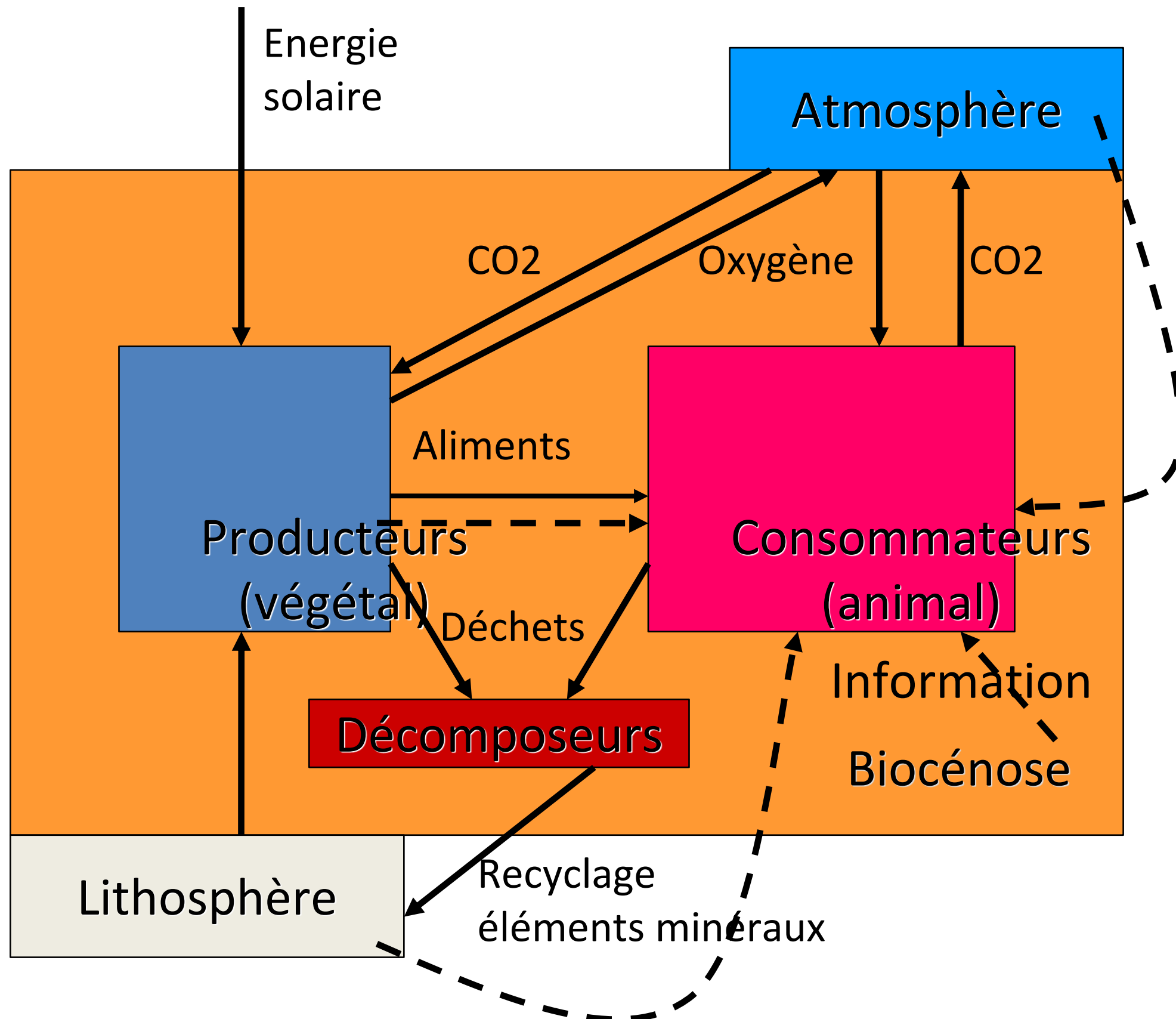






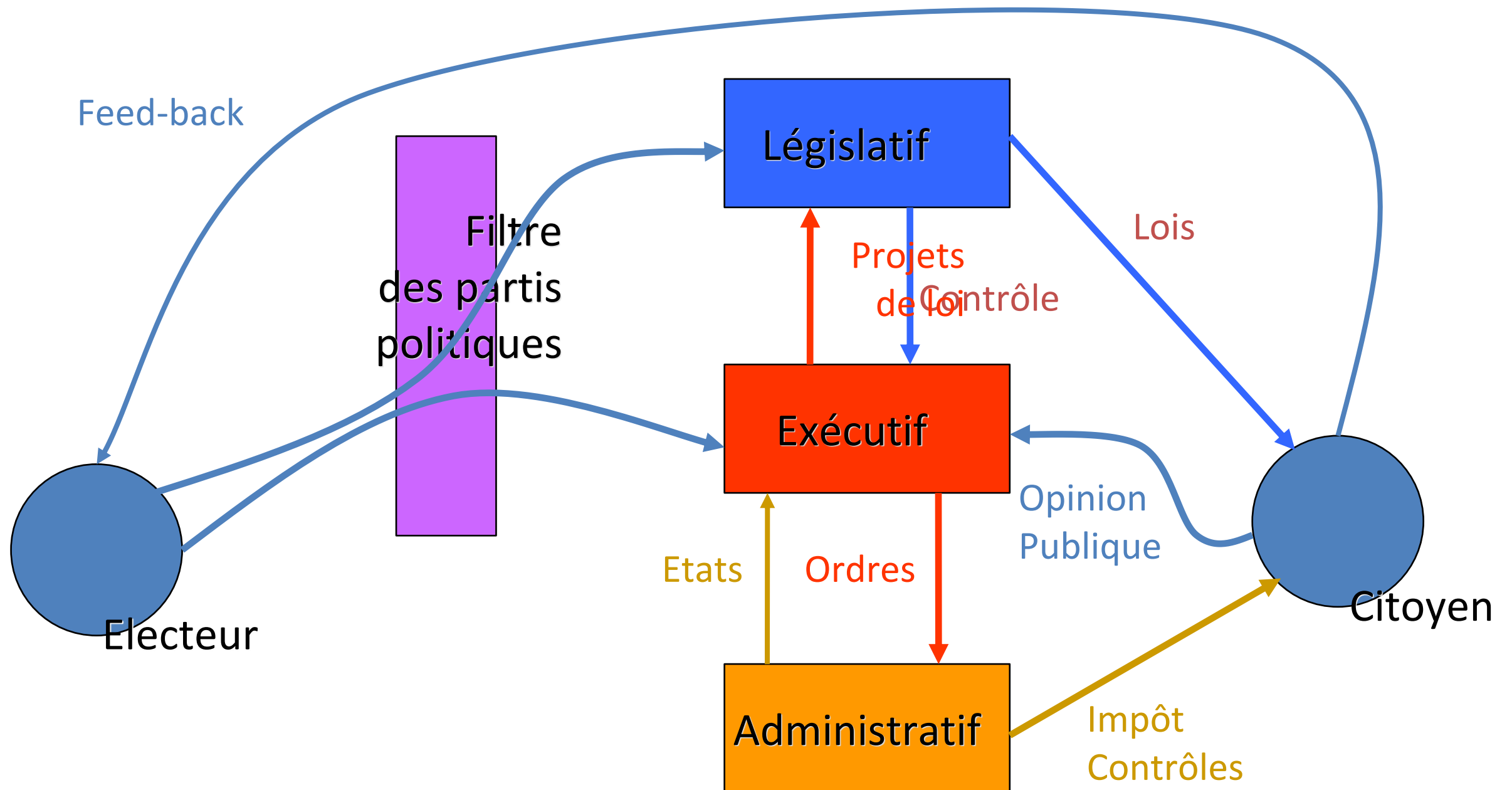
Un système cellule très simplifié

(d'après D.Durand)



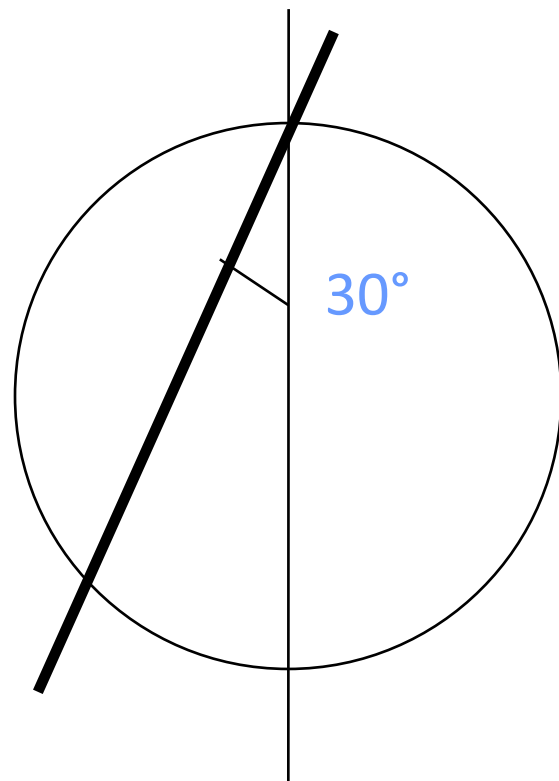
Un écosystème très simplifié

(d'après D.Durand)

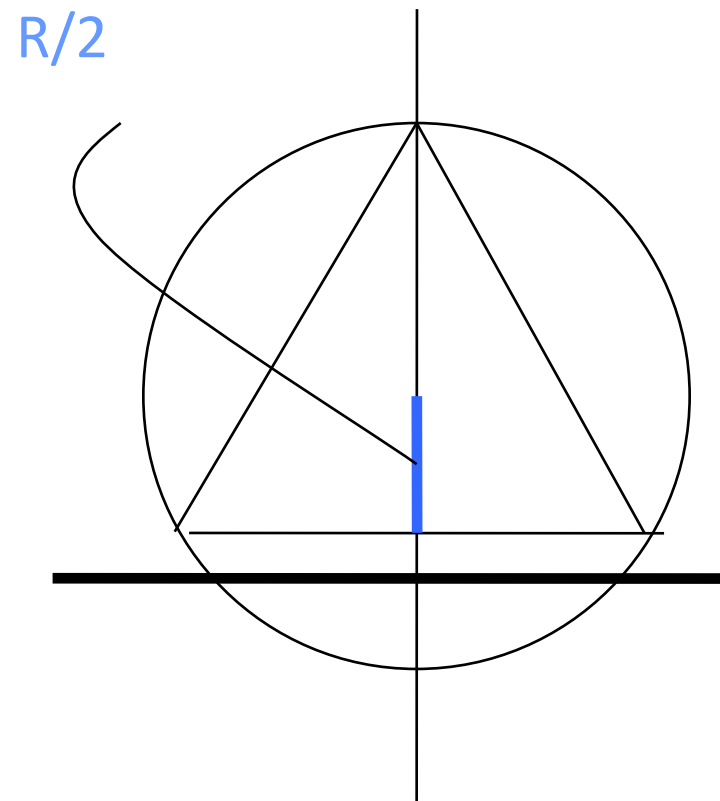


Un système politique démocratique très simplifié

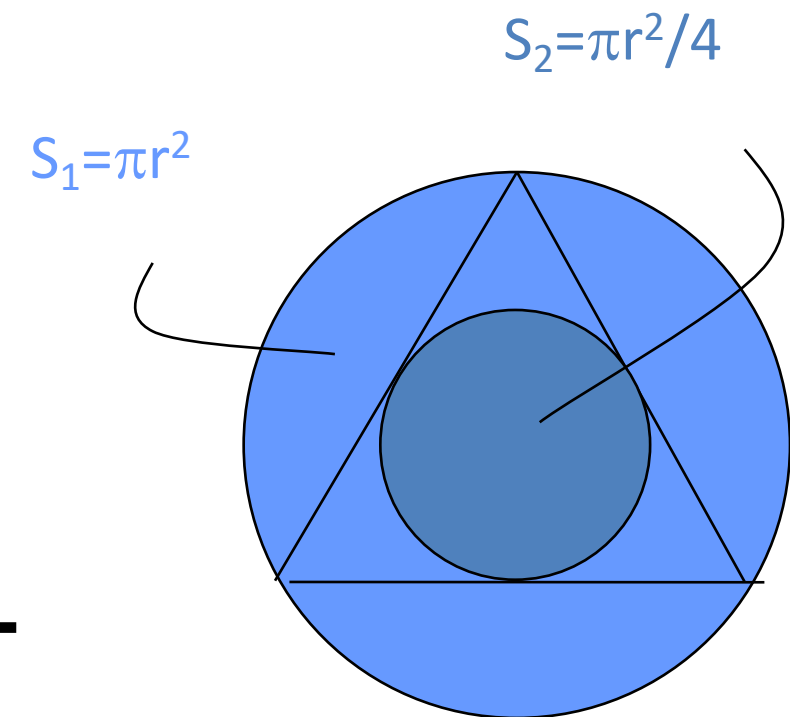
Question: quelle est la probabilité pour que le segment à l'intérieur du cercle d'une droite quelconque sécant un cercle soit plus grande que le côté du triangle équilatéral inscrit?



$$P=1/3$$



$$P=1/2$$



$$P=1/4$$

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

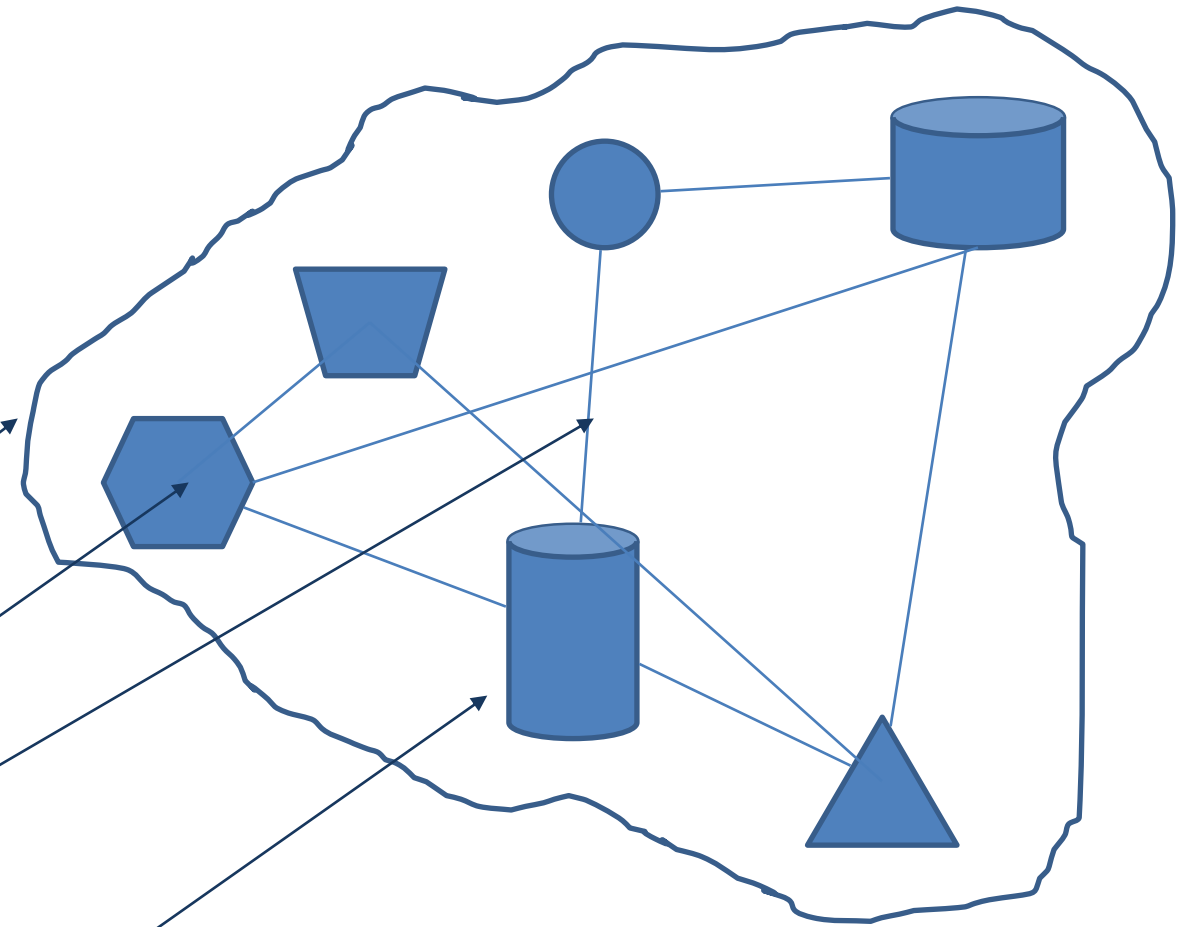
Un système comporte des:

- 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

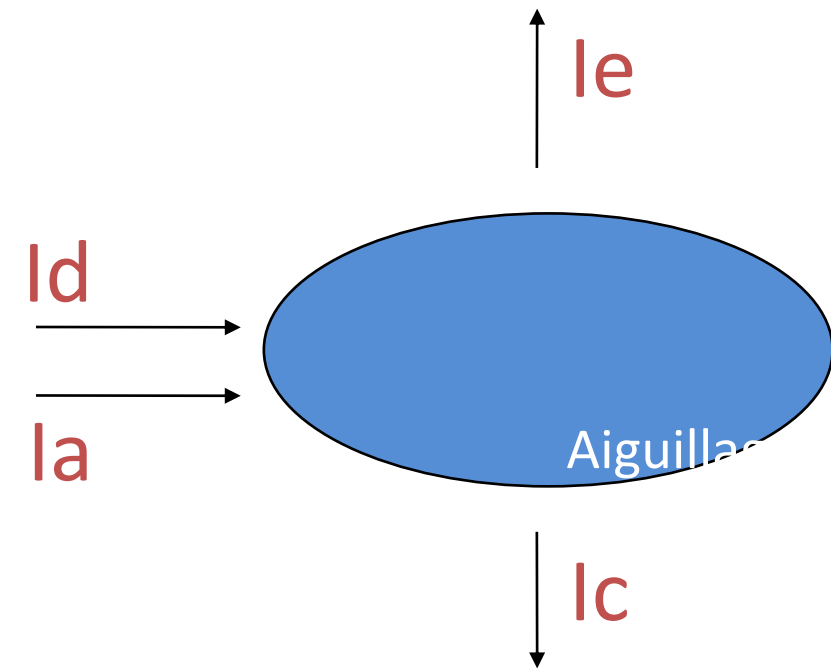
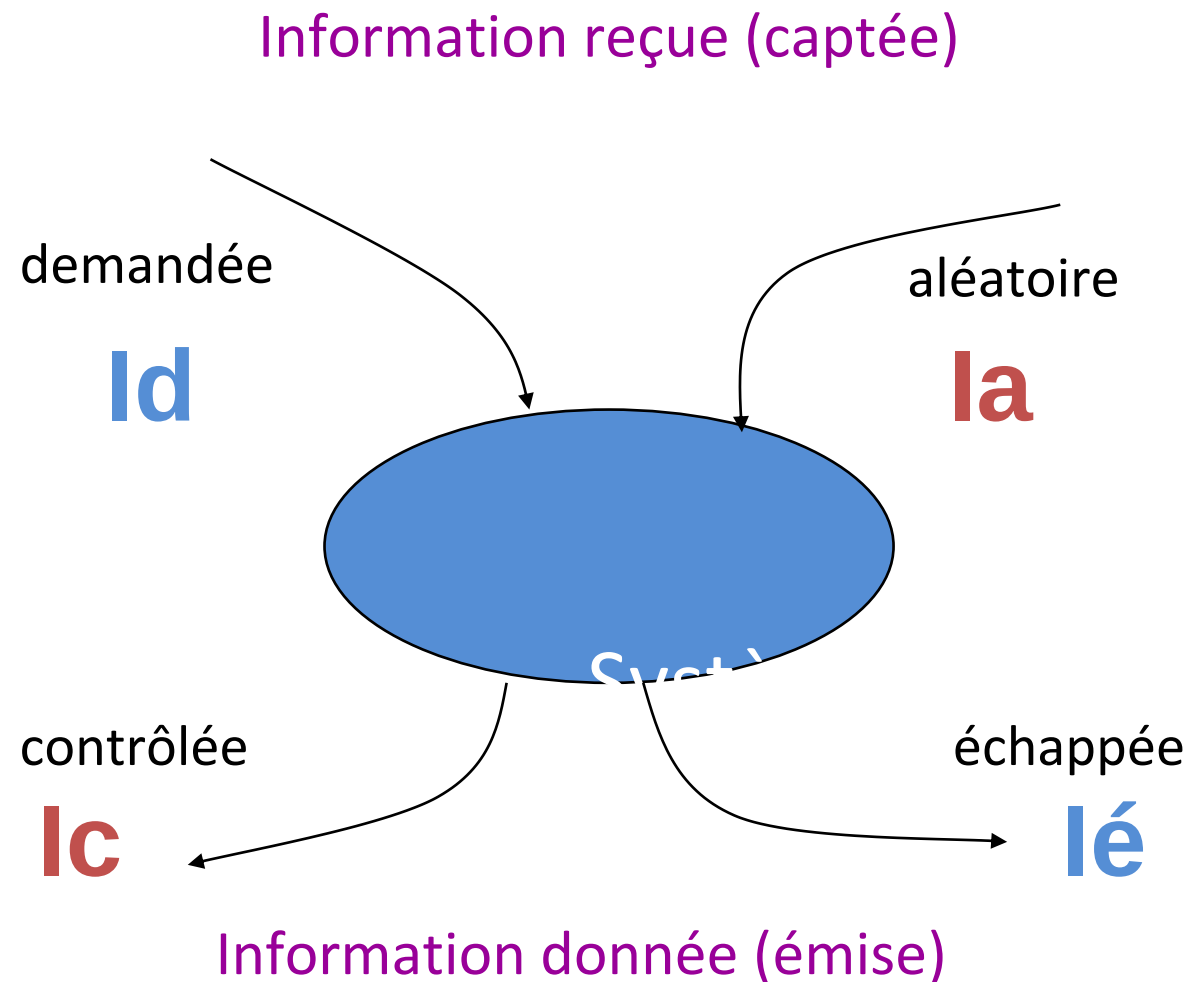
ne pas faire la confusion entre
complexe et compliqué

- 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**

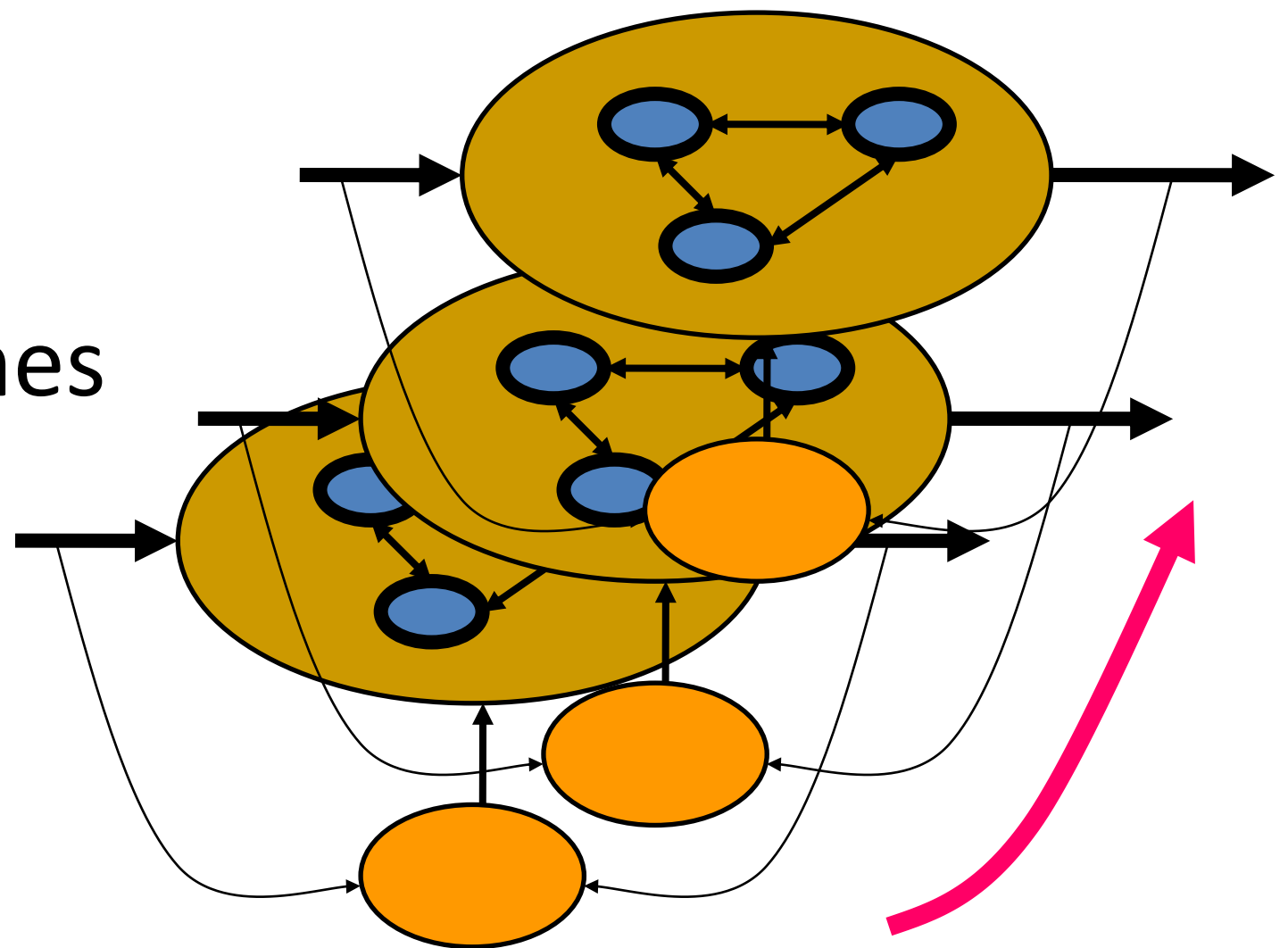
Contrôle

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

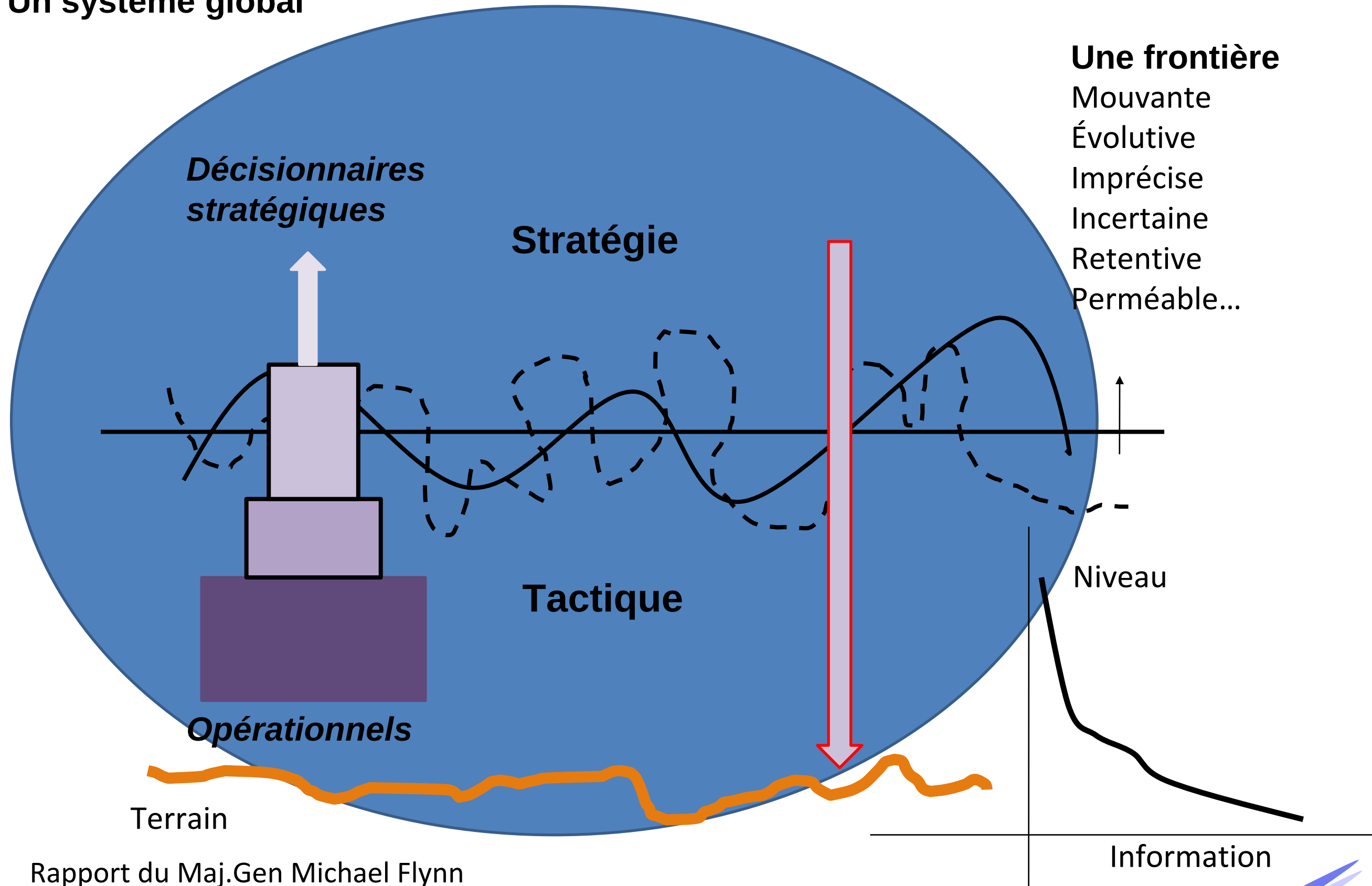
- Transformations qualitatives
- Transformations quantitatives
- Commutation (aiguillage)
- Stockage (mouvement dans le temps)
- Transport (mouvement dans l'espace)

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

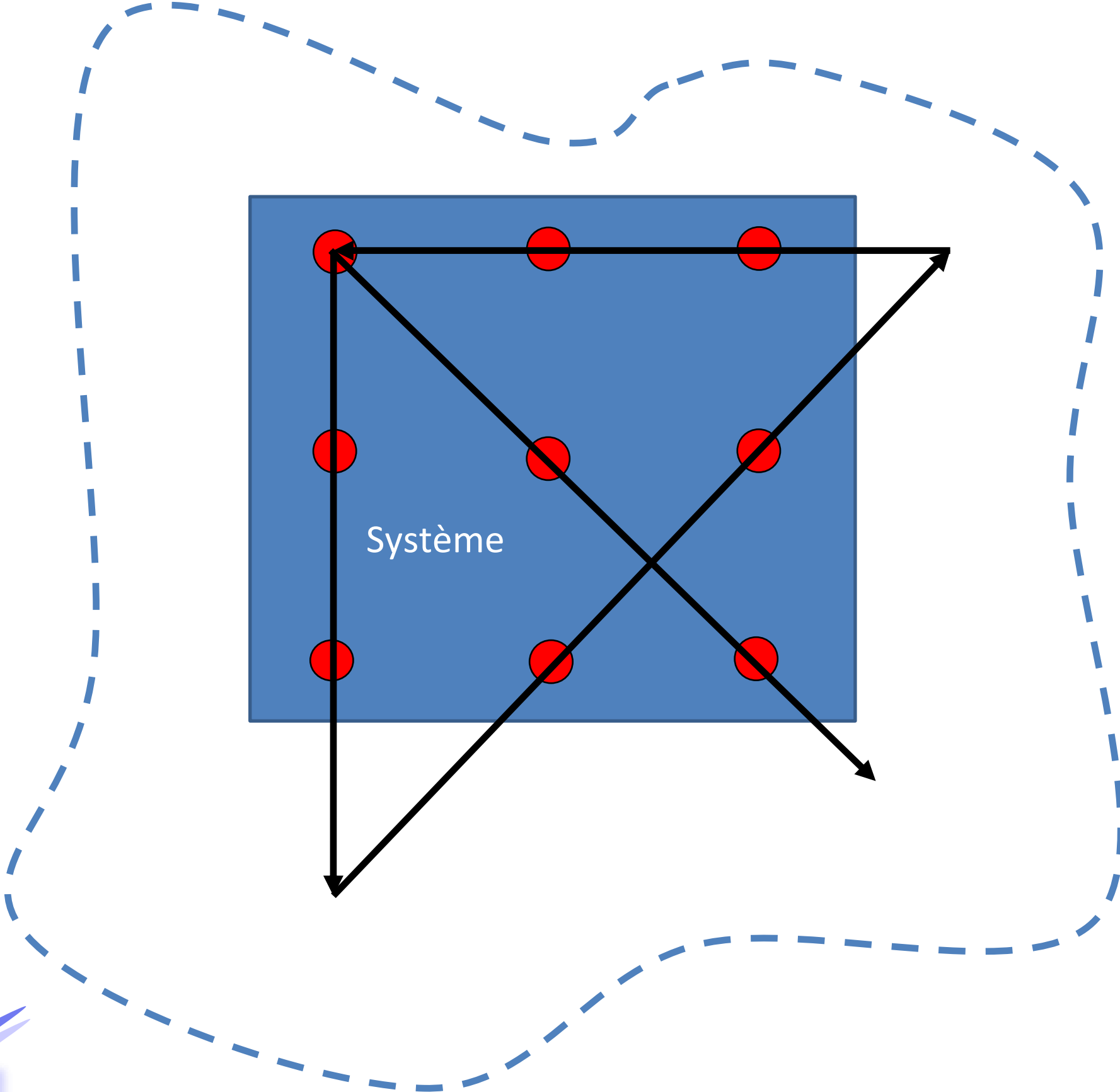
Un système global



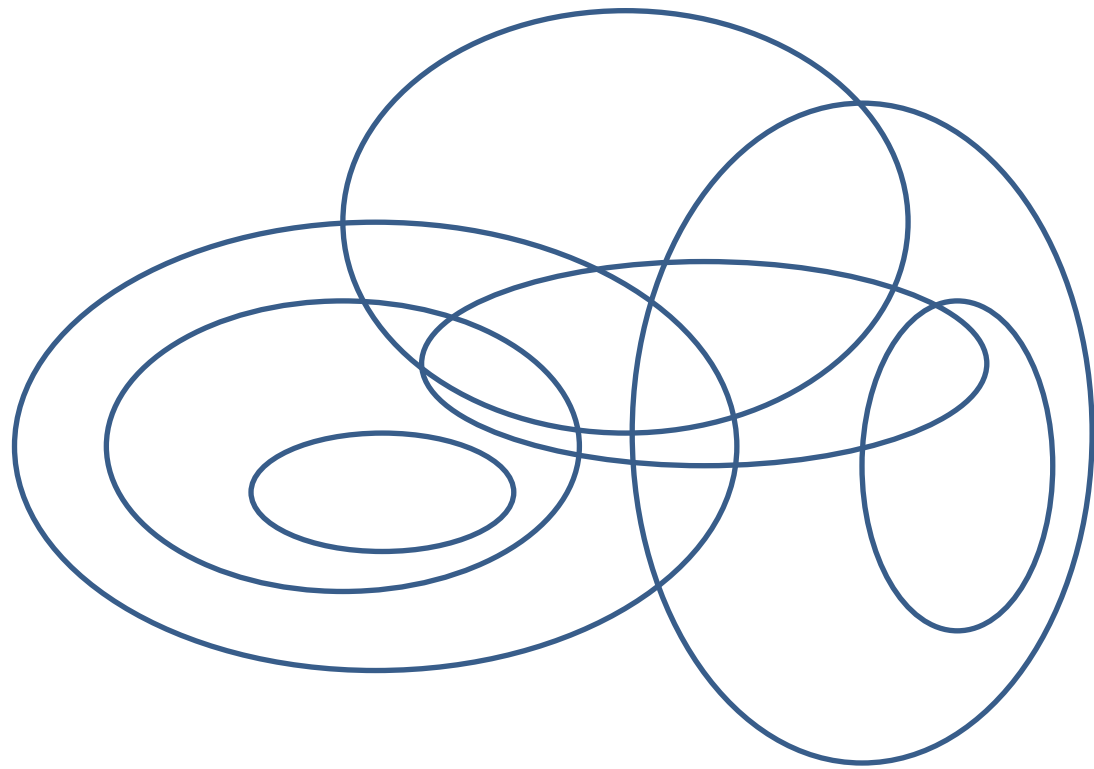
Rapport du Maj.Gen Michael Flynn

« Fixing Intel: A Blueprint for Making Intelligence Relevant in Afghanistan »

Environnement



Des frontières partout

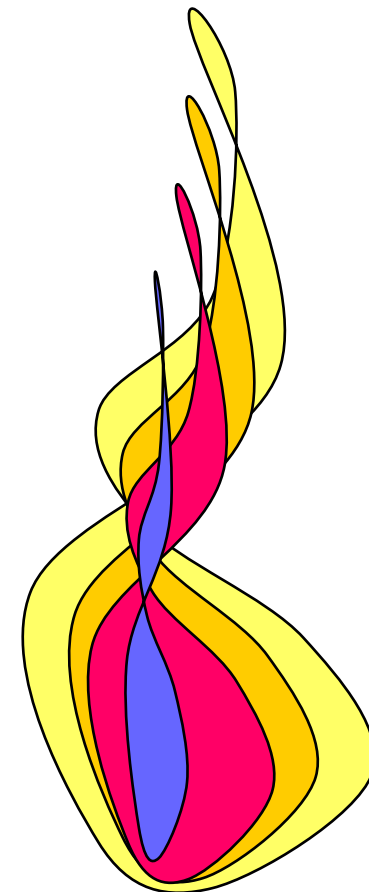


Quelle est la frontière de l'Europe?

- 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

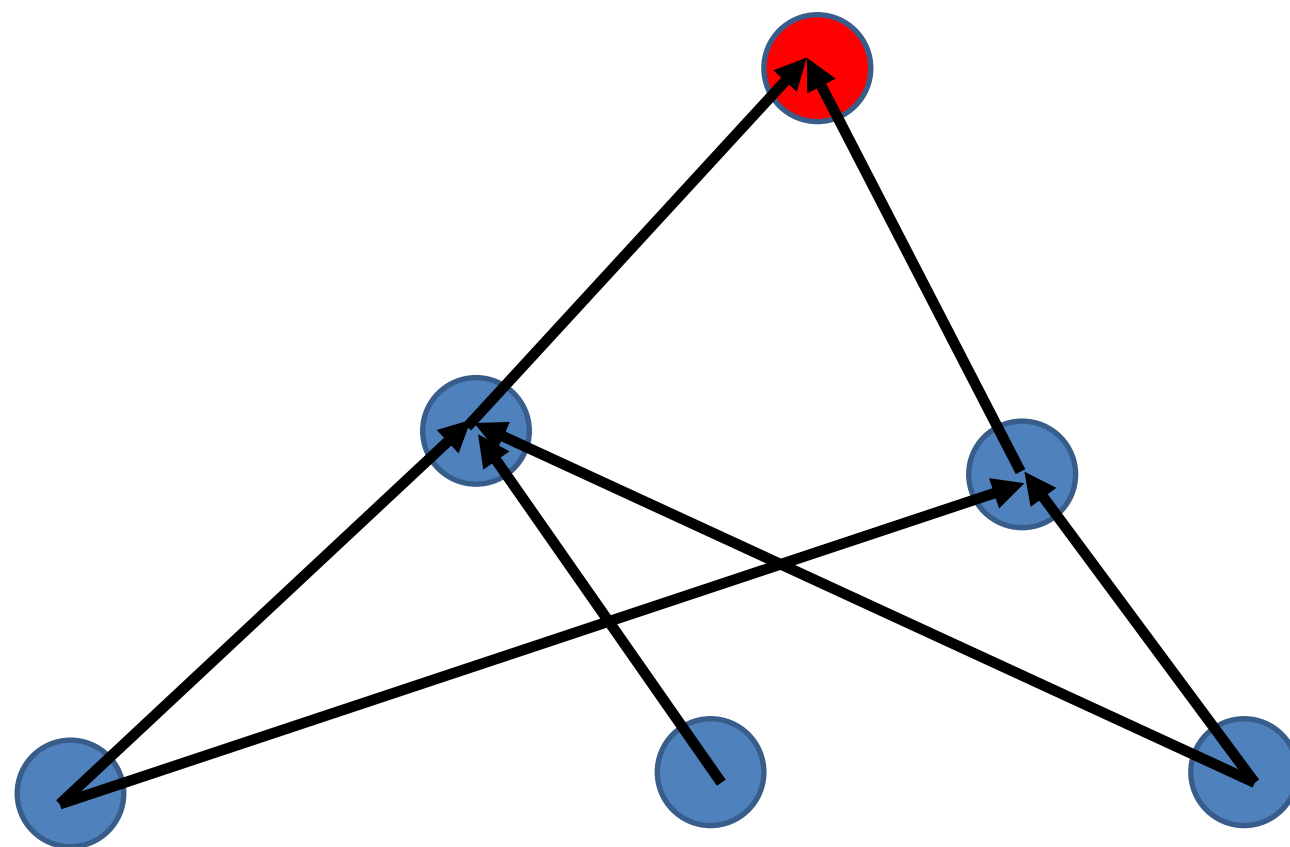
- **Crées par l'évolution, aujourd'hui par l'évolution technologique**
- **Les réseaux ont des frontières qui posent problèmes**
 - comment les franchir, les éviter
 - comment les percevoir
 - comment manager ce système
- **La robotique pose des questions difficiles**
 - comment les interfacer avec les 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:



Finalités fondamentales (fins)

Survie

Gagner la guerre

Finalités intermédiaires (buts)

maintien de fonction biologique

Gagner une bataille

Finalités partielles (objectifs)

Faire une tête de pont

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

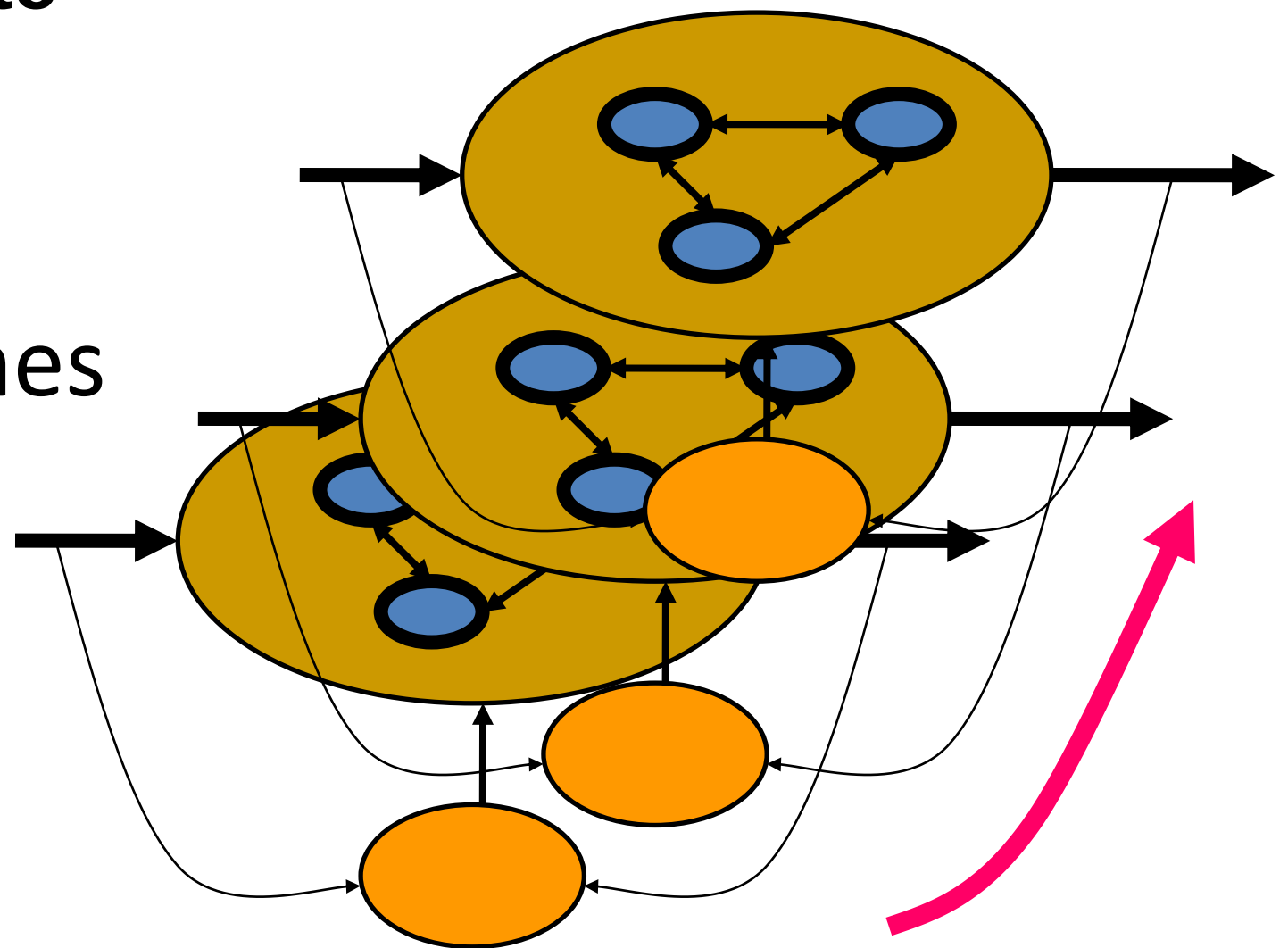
Coût

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



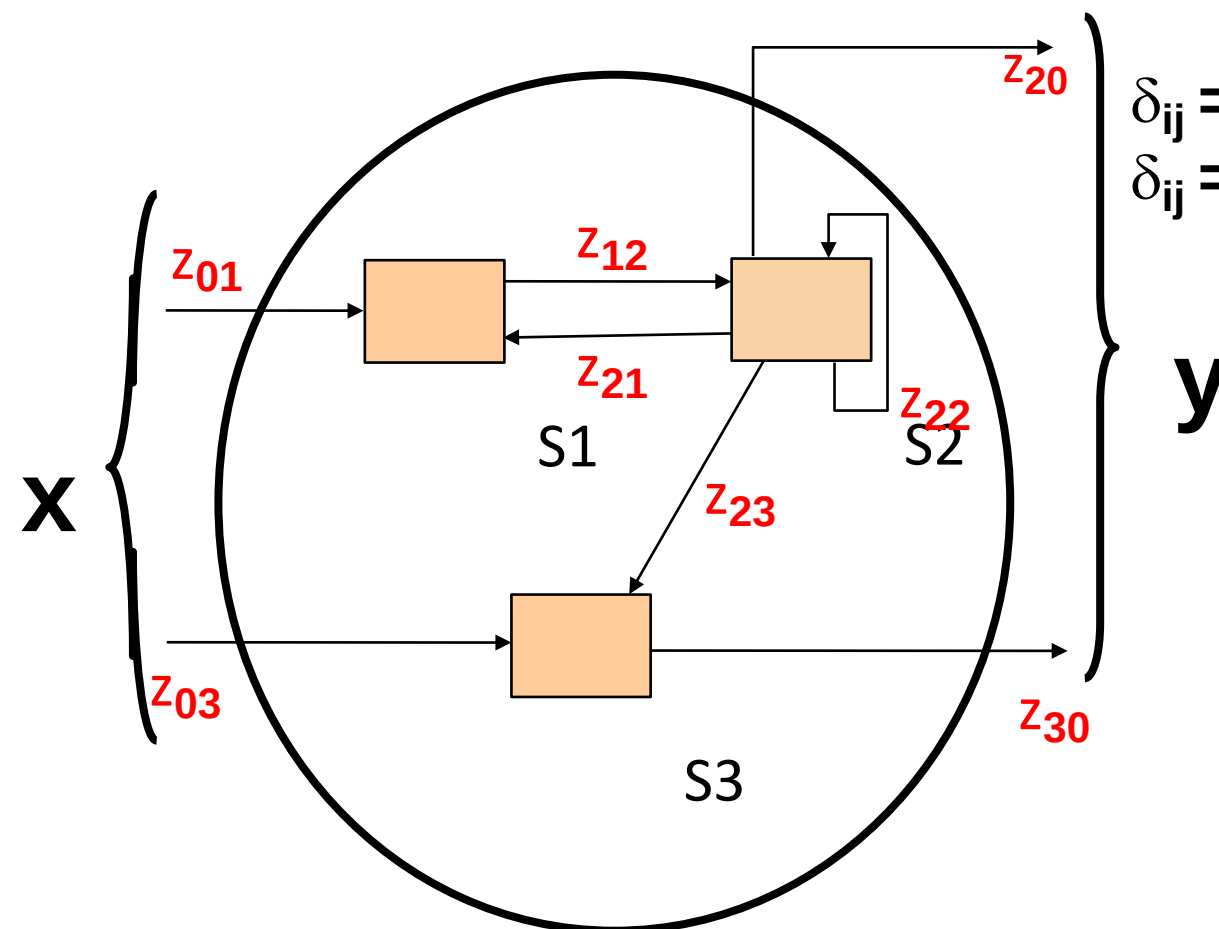
Systemes, sous-systemes et environnement

- Matrice de couplage global

$\Delta = \delta_{ij}$ 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

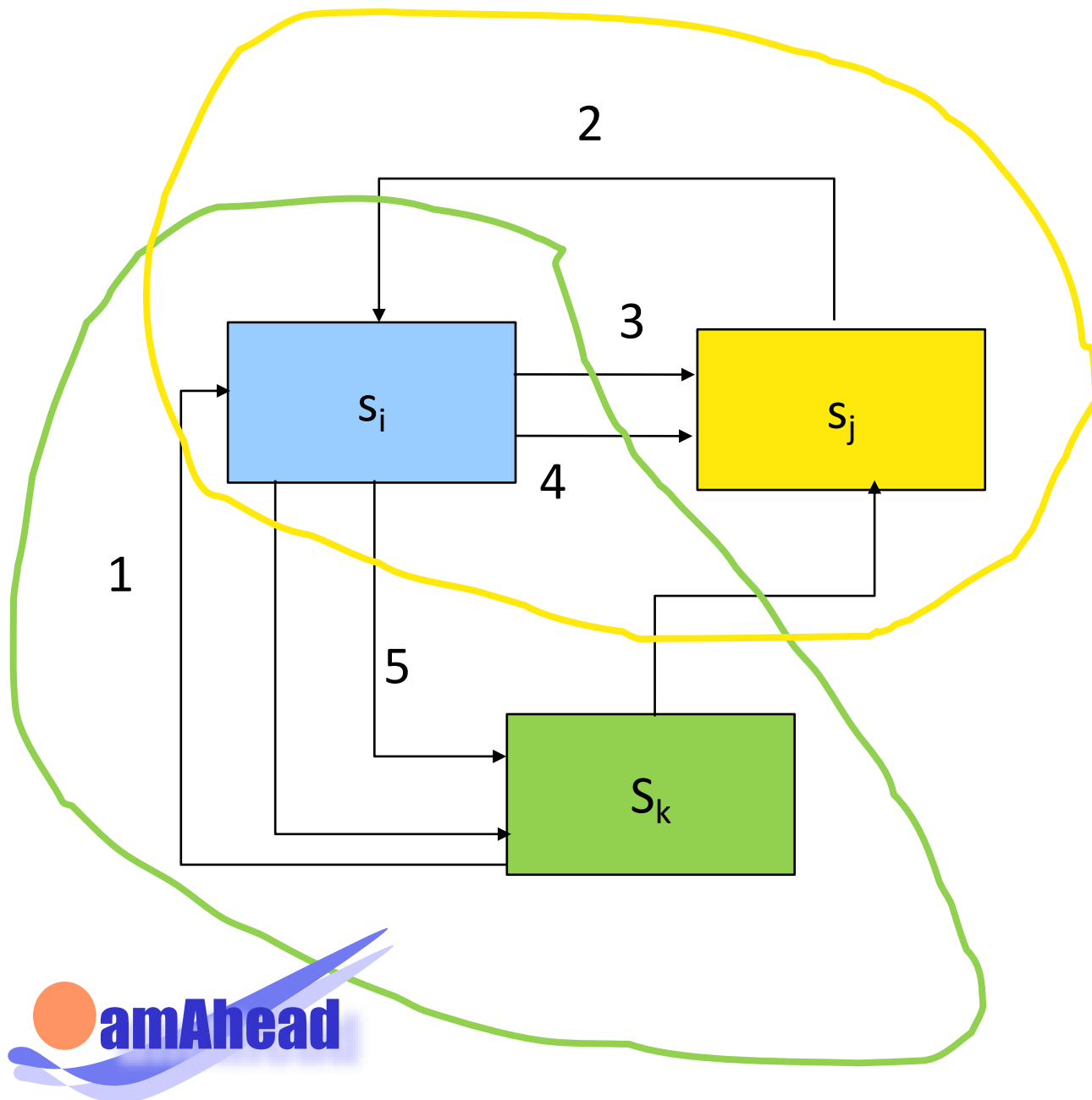


S_0 = Environnement

	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



Δ_{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

Δ_{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

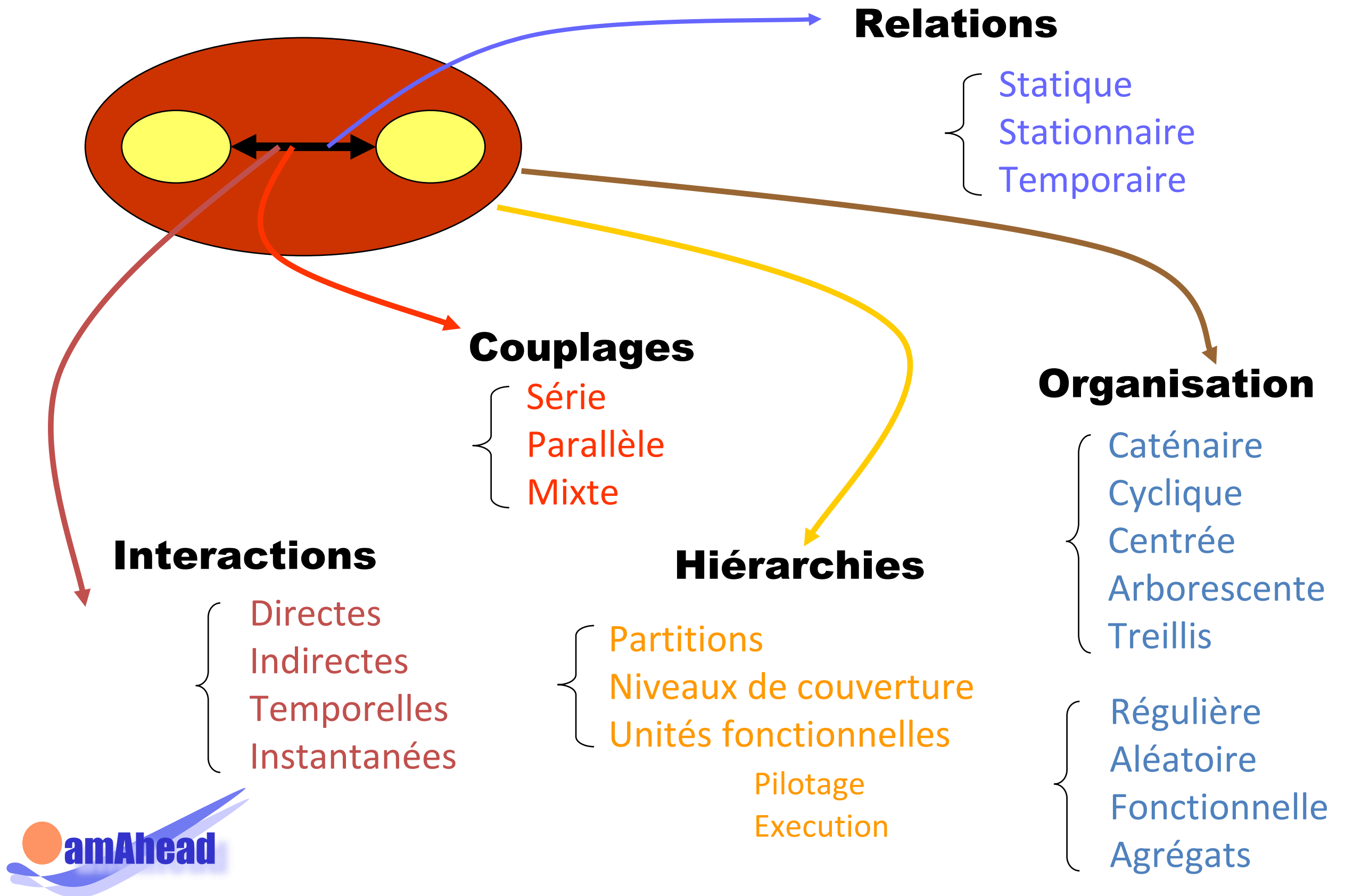
Propriétés macro/microscopiques d'un système

- 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

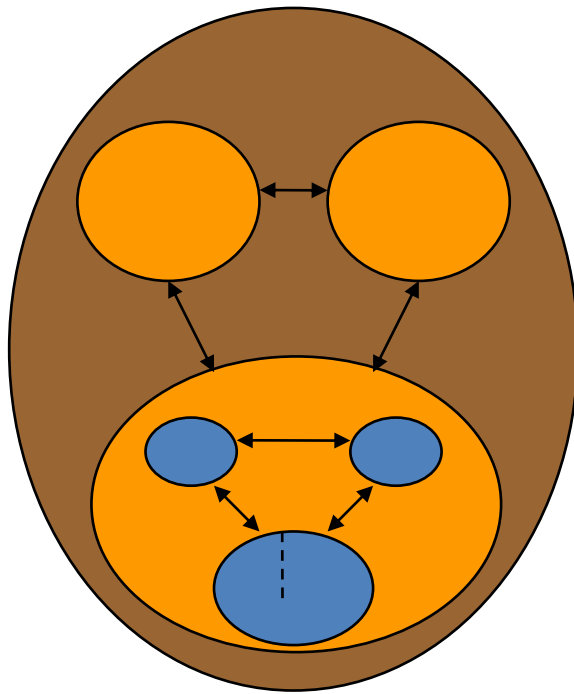
- Conséquences:
 - Processus d'intégration: des propriétés des systèmes ne sont parfois pas des propriétés des sous systèmes mais sont *dues aux caractéristiques du réseau d'interaction* on les nomme des **propriétés émergentes**
 - Des propriété restant au niveau des sous-systèmes se nomment des **propriétés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

Systeme et Sous-systèmes

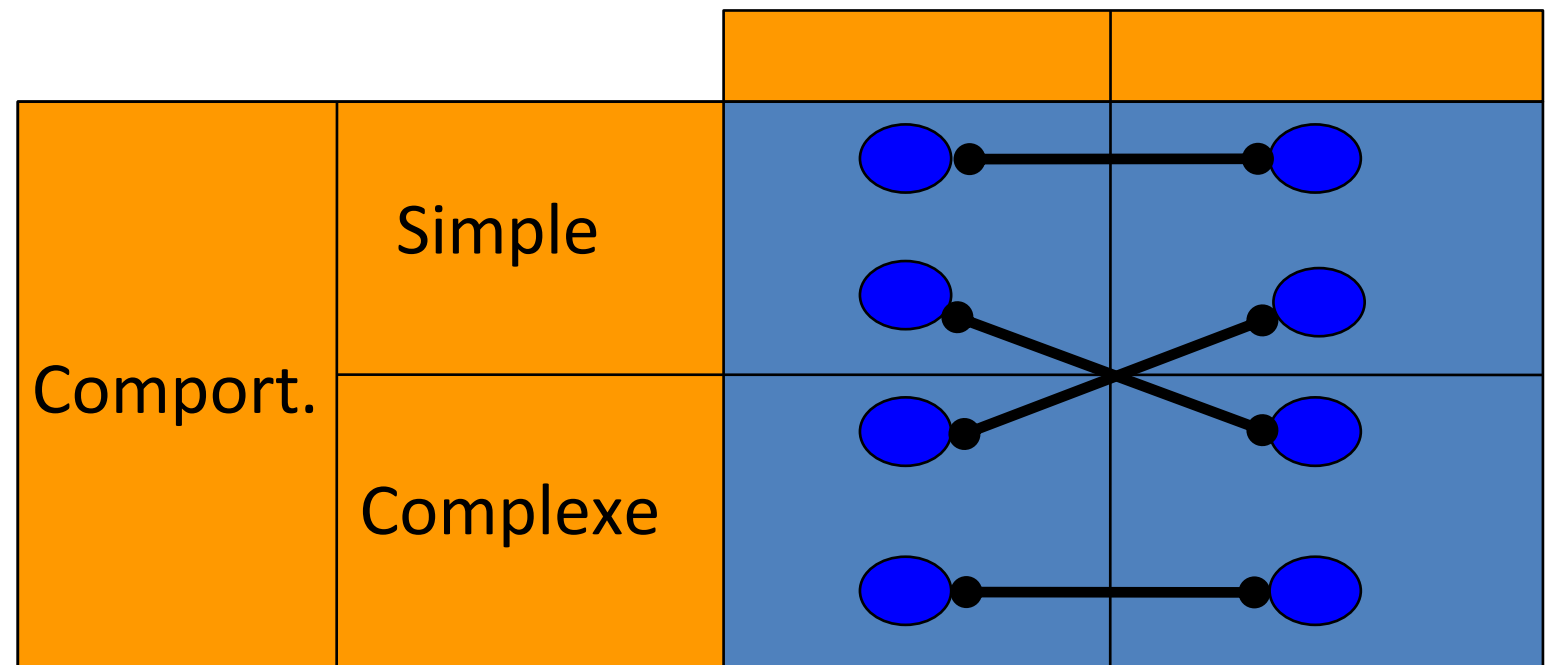


Systeme et Sous-systèmes

Emboîtement



Emergence/Immérgence



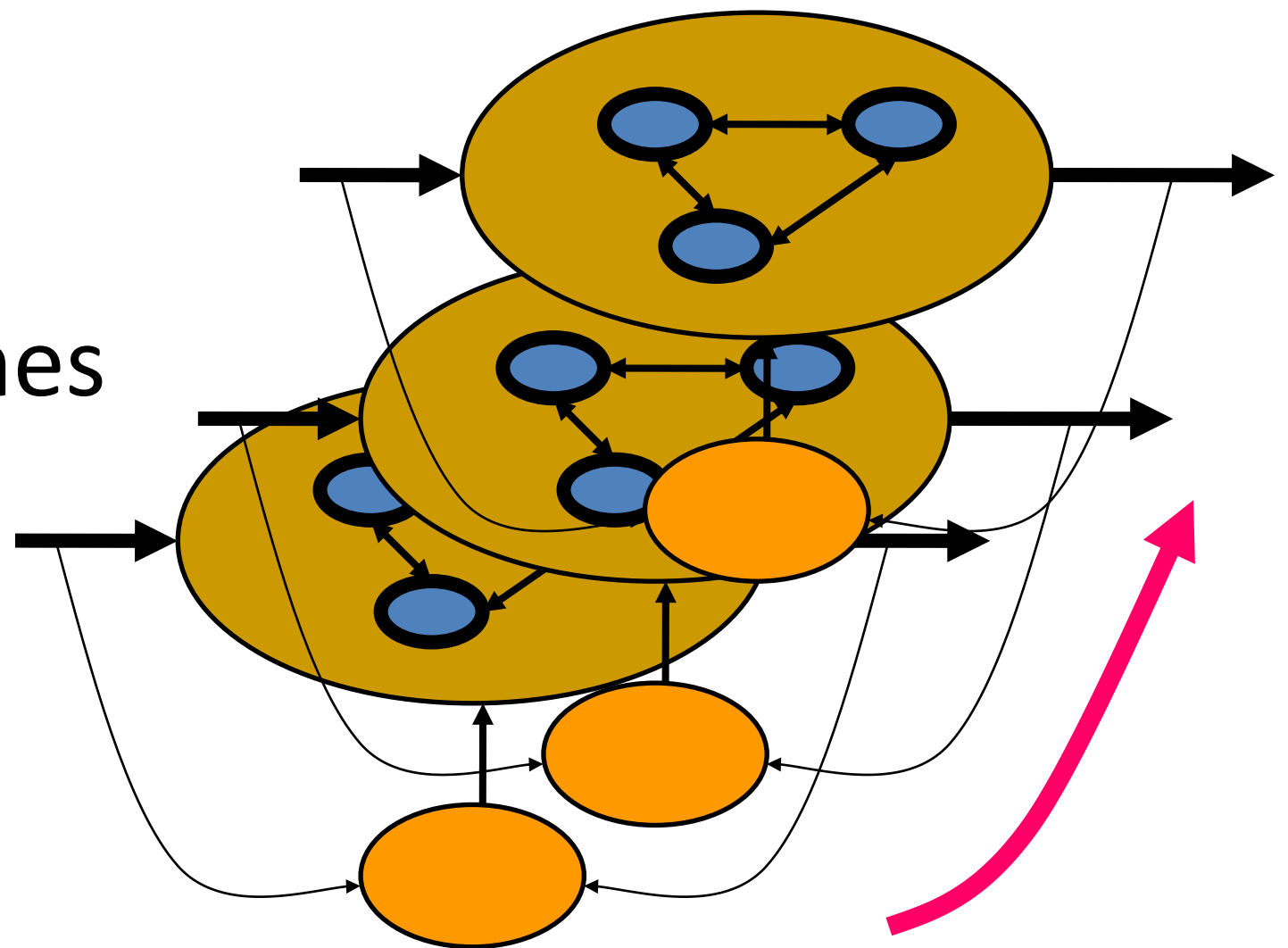
Propriétés microscopiques
Propriétés macroscopiques

Agrégation/Intégration

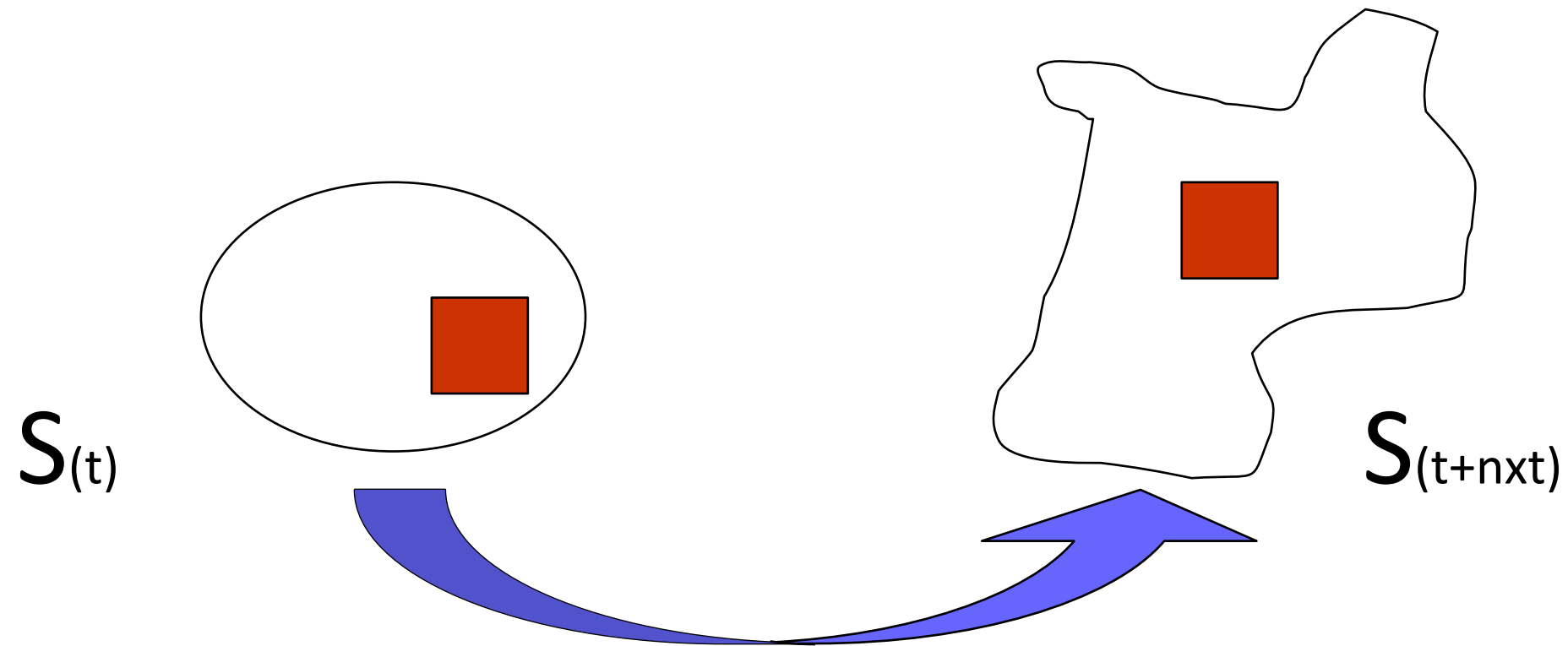


Différents éclairages

- 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



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)

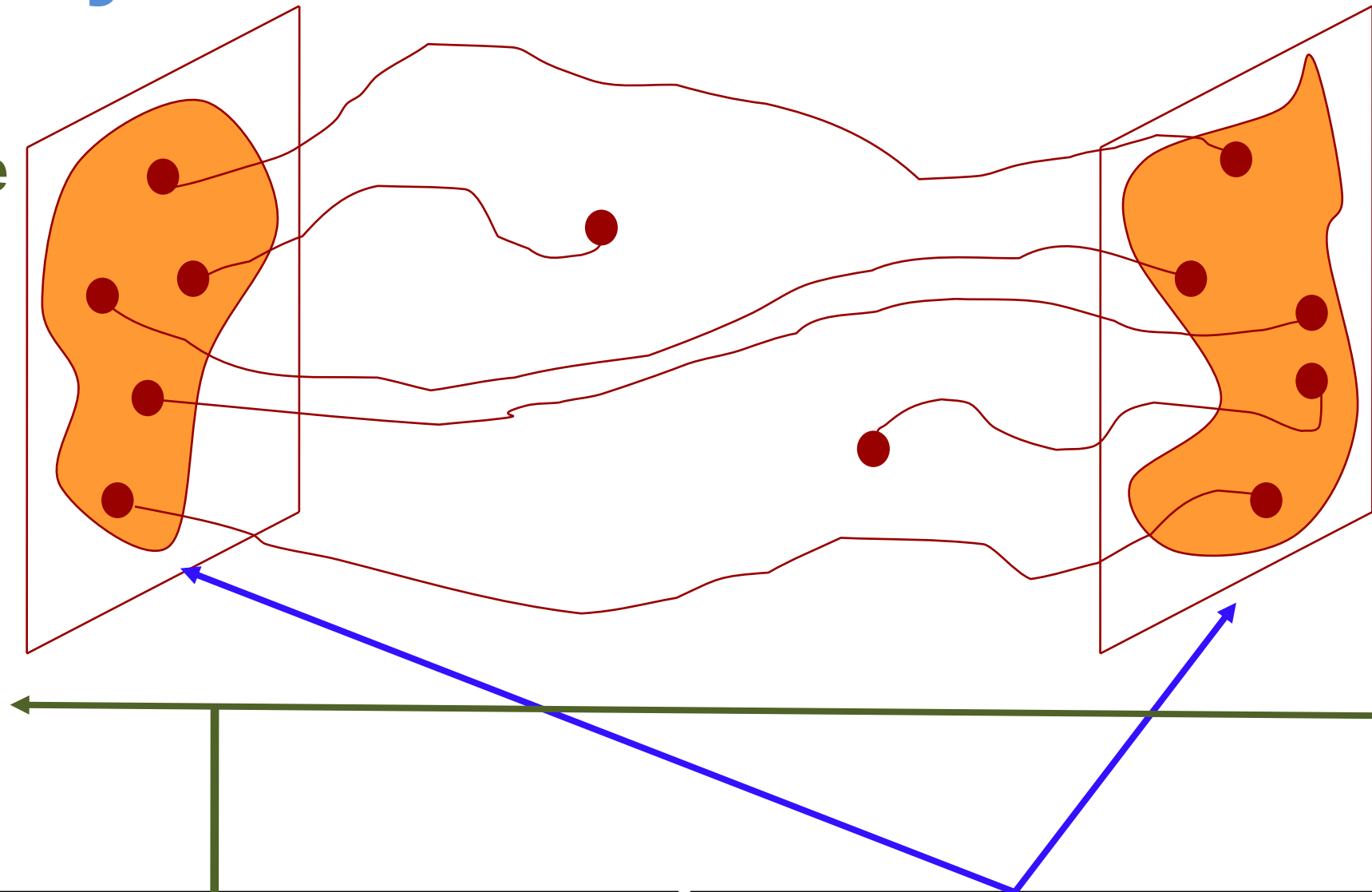
*Perspective temporelle

- 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 génèse, toute génèse est transition entre structures

Systeme et Temps

Changement

Conjoncturel

Structurel

Invariants

Longue durée

Courte durée

Fluctuations

Evolution

Aléatoire

Monotone

Périodique

Rythme

Phénomène principal

Perturbation

Vision

Synchrone

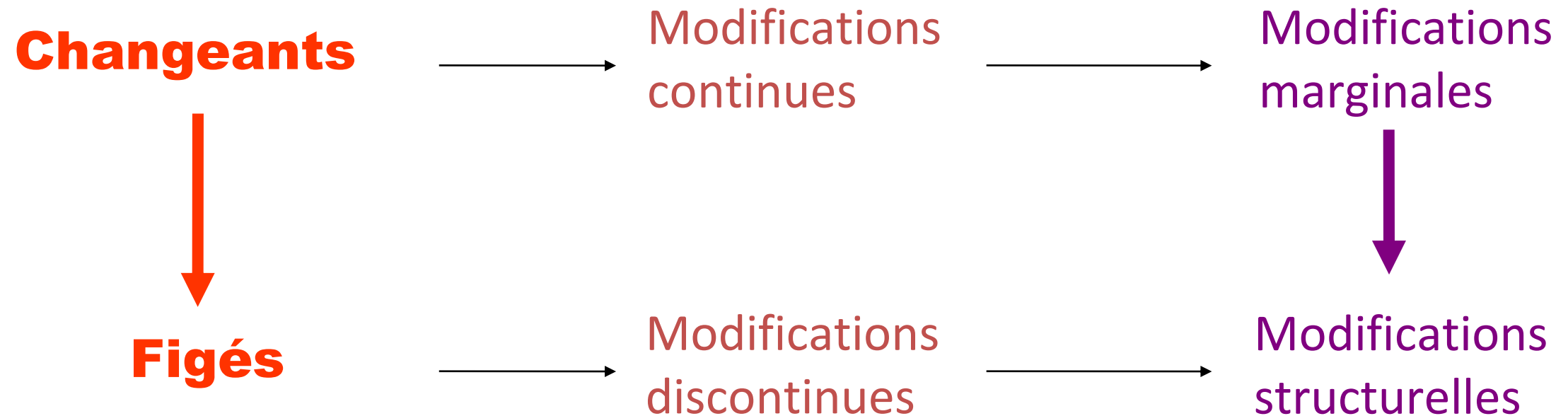
- Ouverture
- Equilibre
- Organisation

Diachrone

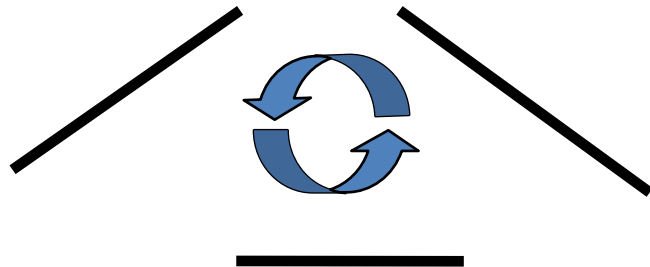
- Adaptation
- Stabilité
- Apprentissage

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**

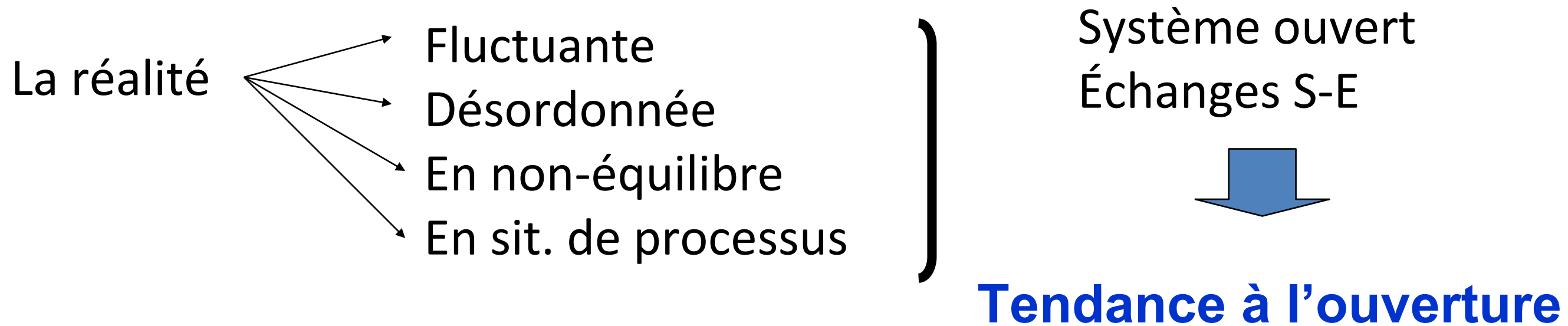
Apprentissage

Complexification

Réversibilité/Irréversibilité

Systeme **réversible** >>>>> changement **transitoire**

Systeme **irréversible** >>>>> changement **définitif**



Temps

[Réversible
Irréversible

Structure

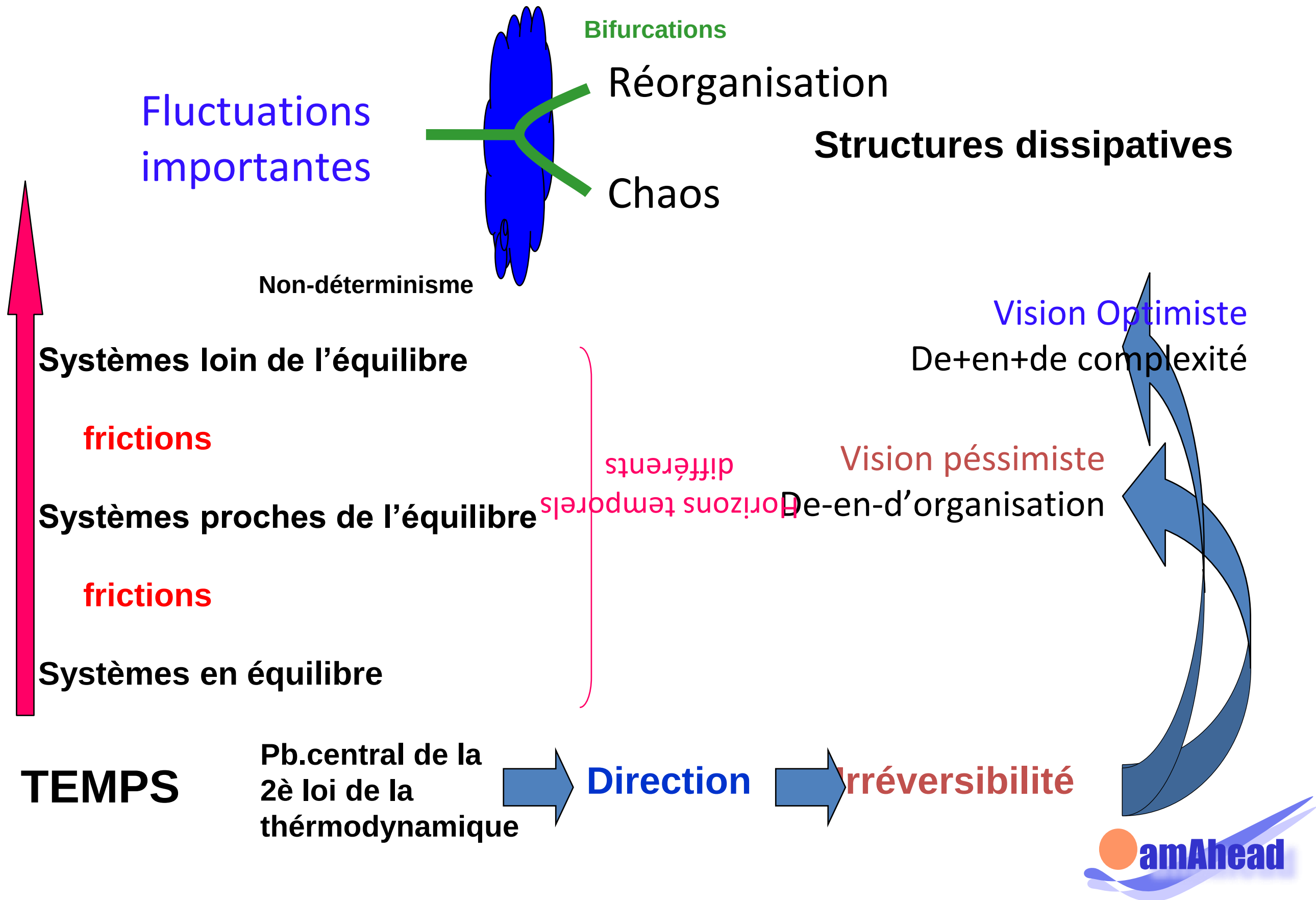
[Ordre
Désordre

Déterminisme

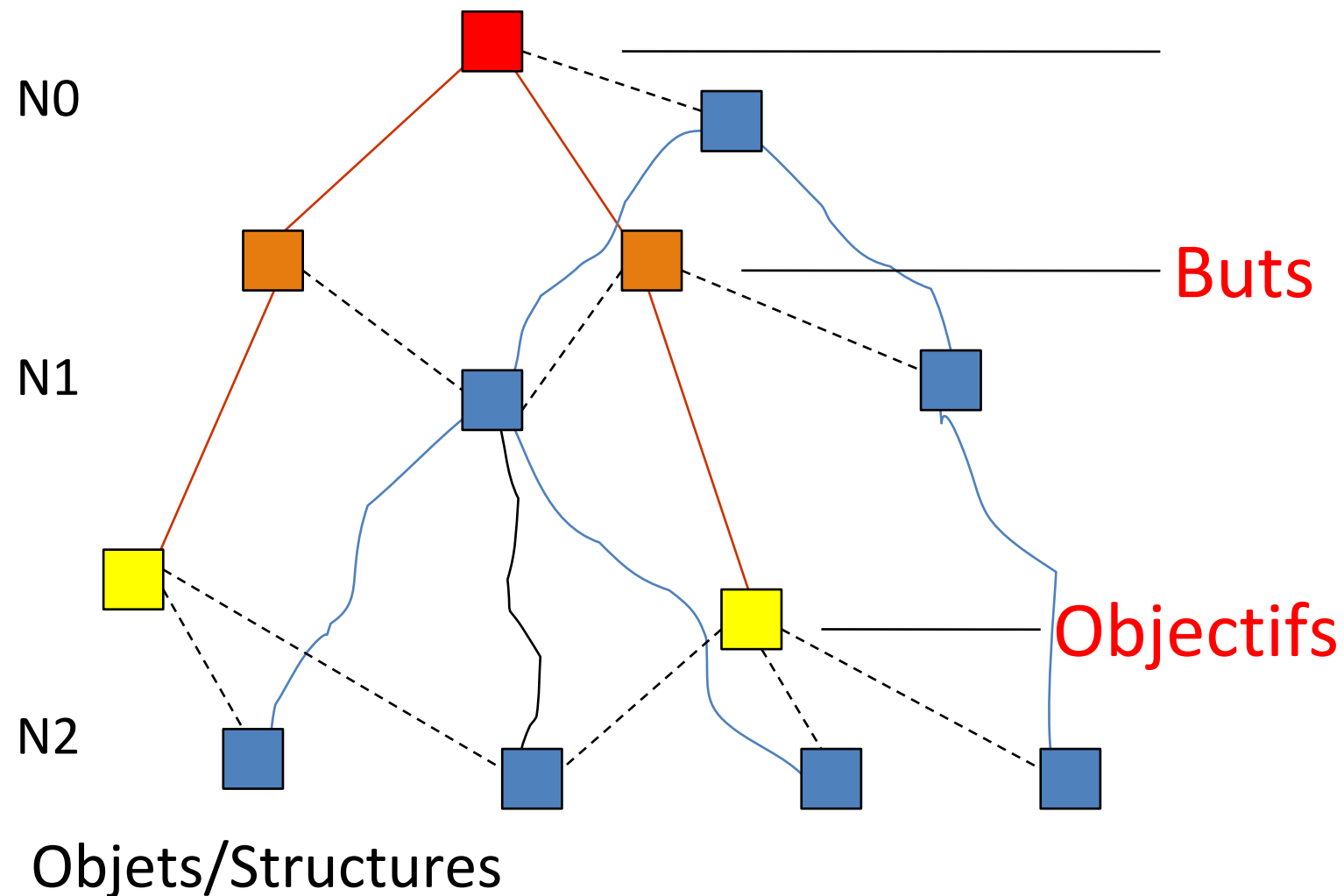
[Chance
Nécessité

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

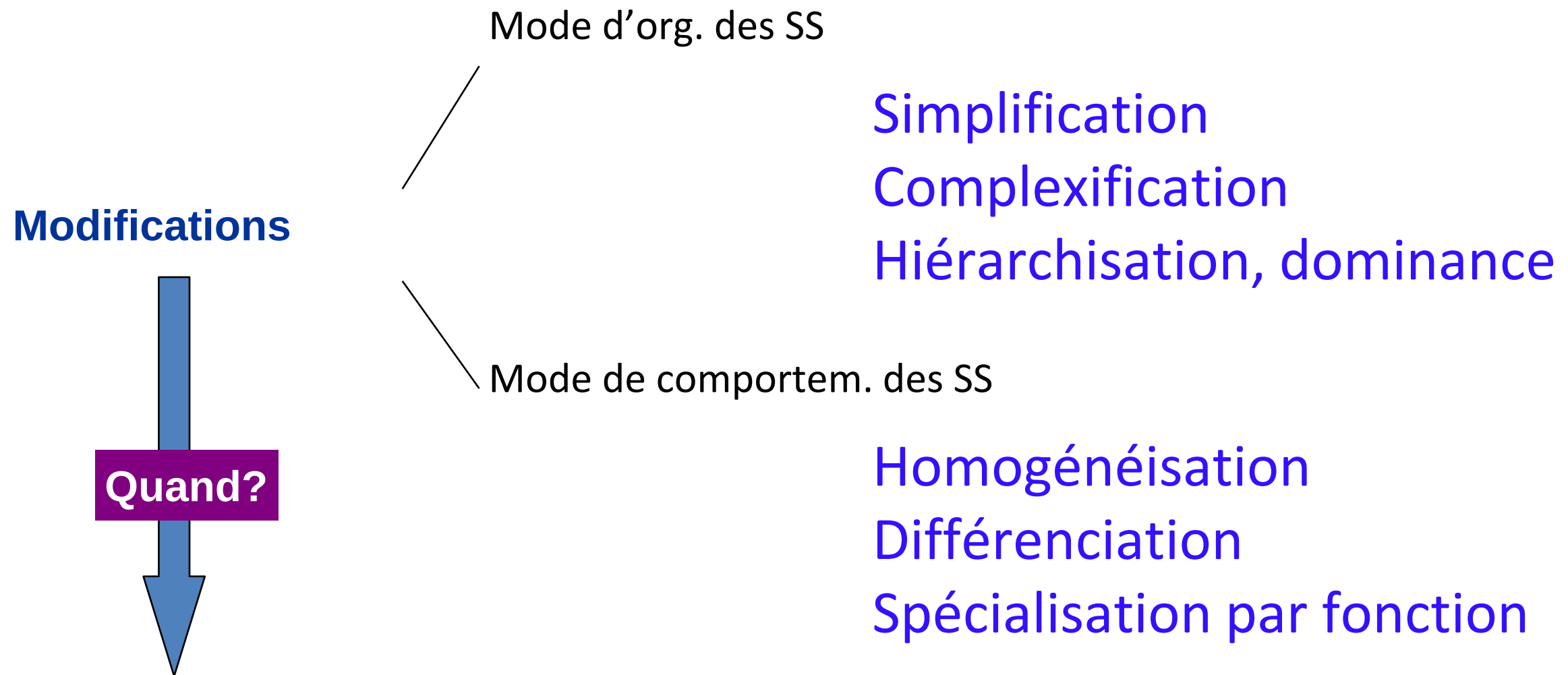
Les SS peuvent être:

- 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

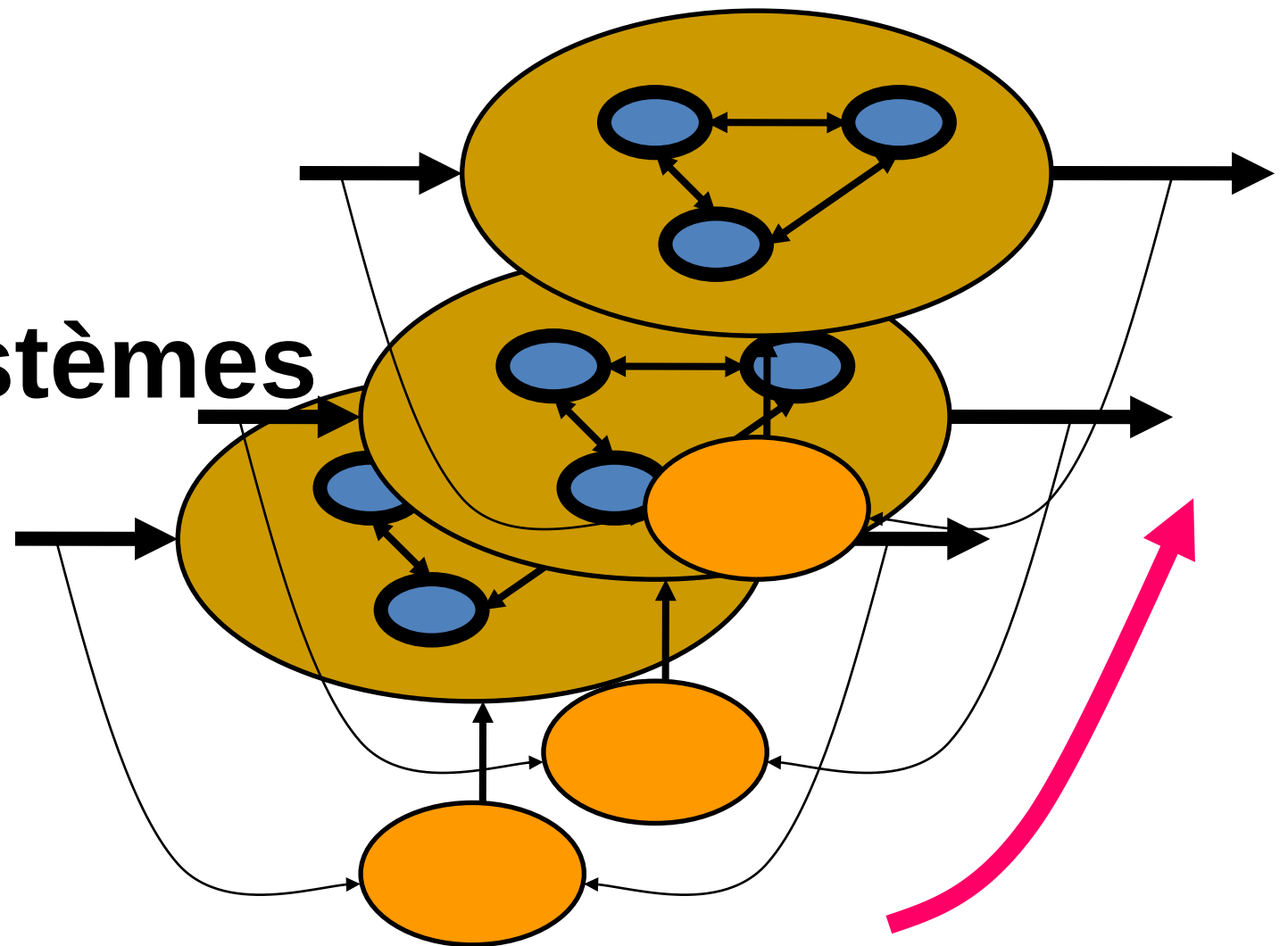
- Endogène (au moment d'un événement)

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

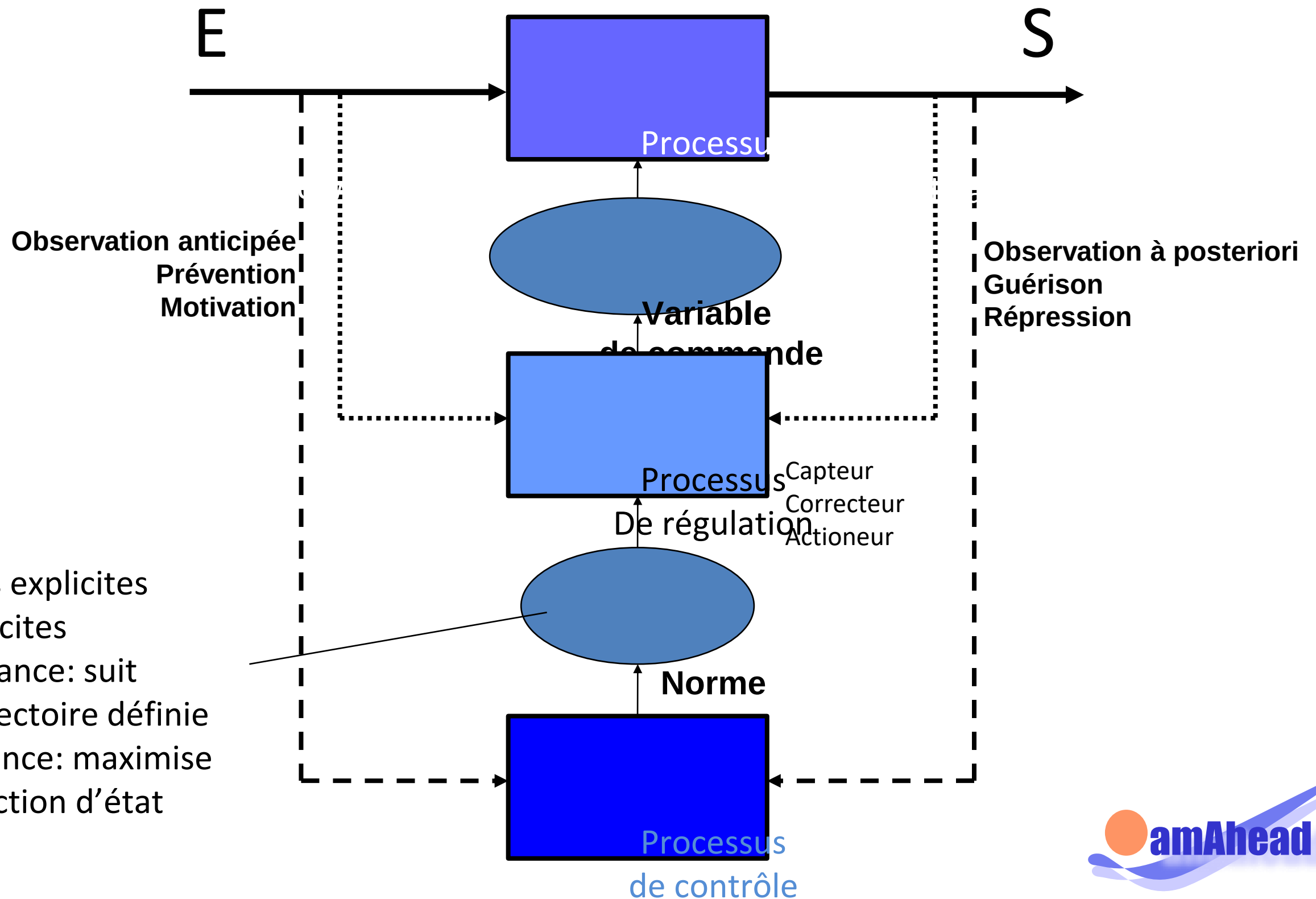
Passive >> atténuer les perturbations (filtre, tampon)

- 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

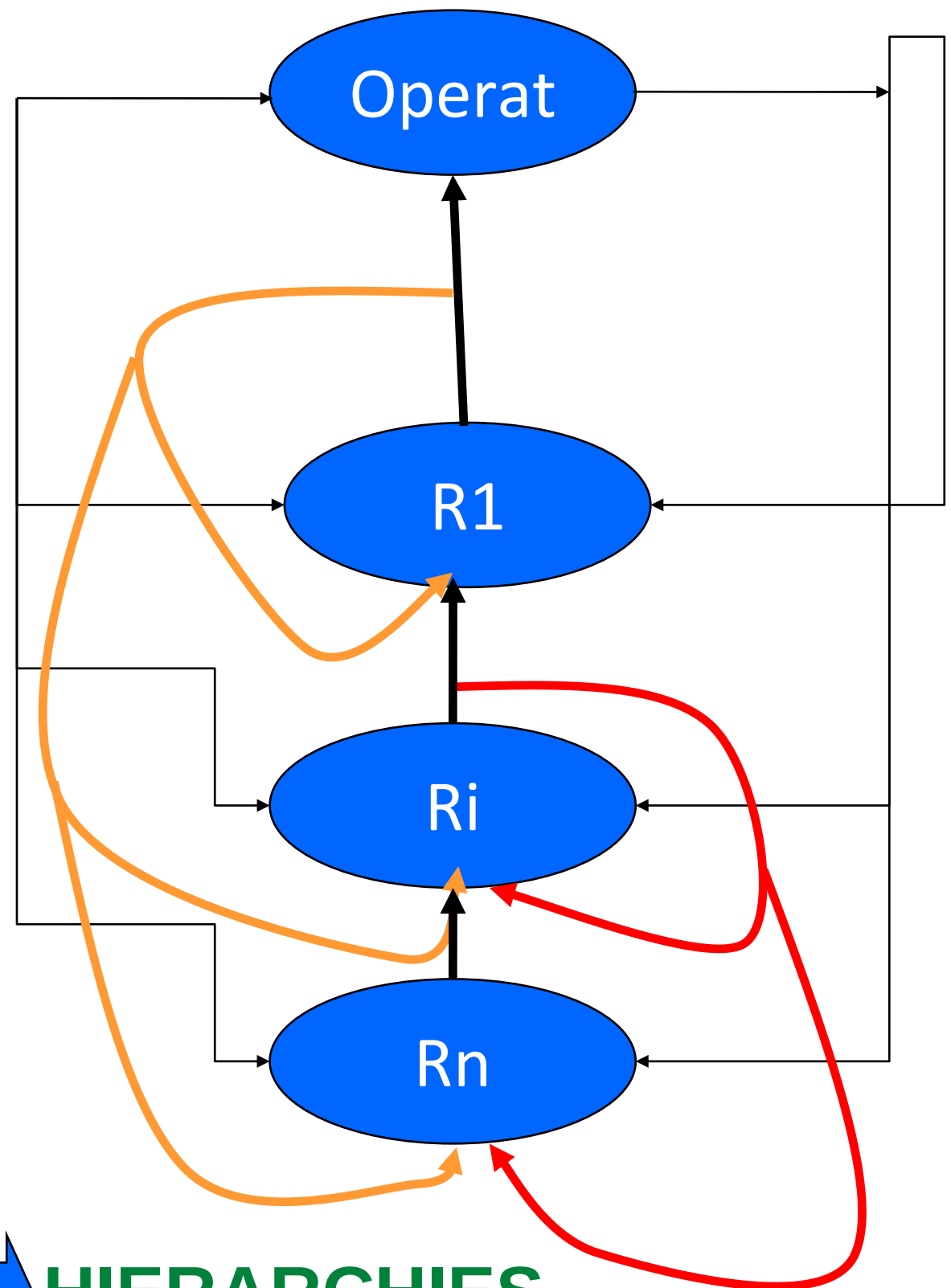
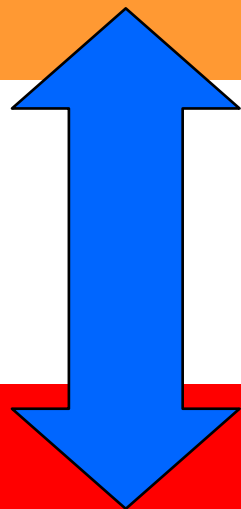
Réseaux de régulation

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