

Complexité : quelques définitions de base

1) Systèmes complexes

- Définitions
- Emergence
- Propriétés

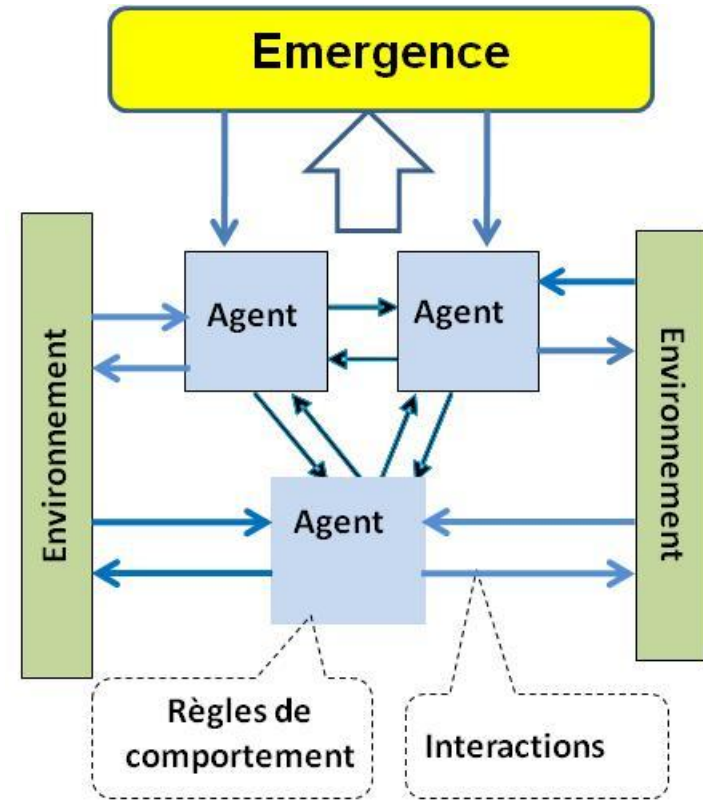
2) Feedback

3) Fractals



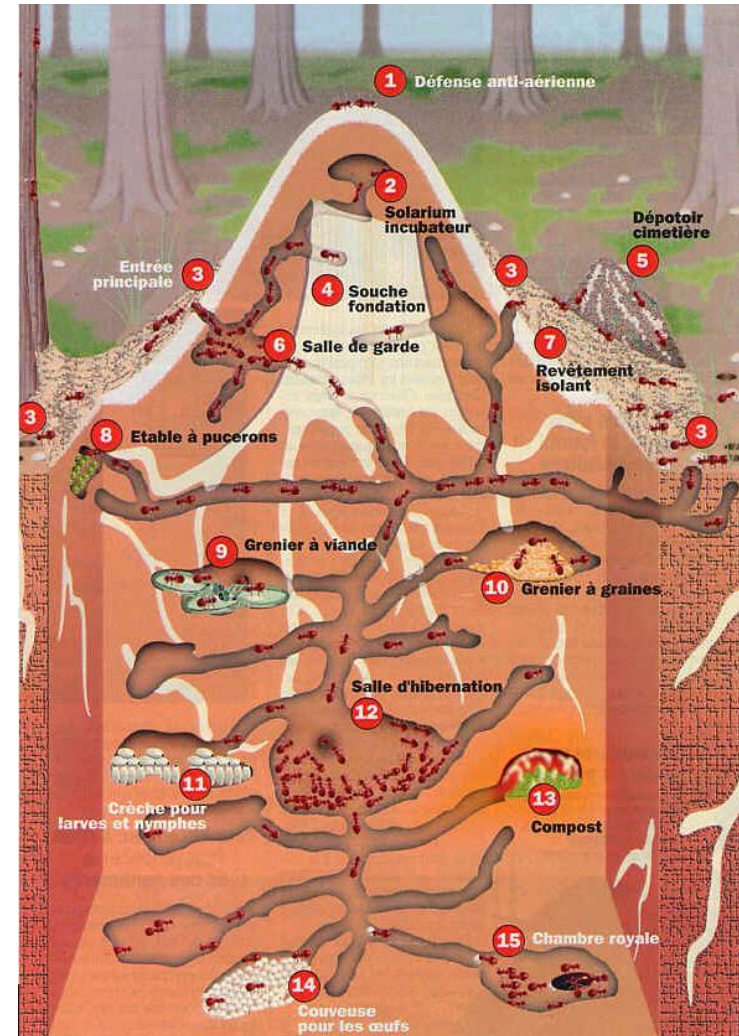
1) Systèmes complexes : définition

- Un **système complexe** est constitué **d'agents en interaction** :
 - Entre eux
 - Avec l'environnement
 - Avec le résultat de ces interactions
- Les **règles de comportement** d'un agent définissent les stimuli et informations qu'il émet en fonction :
 - Des stimuli et informations reçus
 - De son état (**vécu, mémoire**)
- Exemples d'agent :
 - Une cellule dans un organisme
 - Un animal dans un écosystème
 - Un habitant dans une ville
 - Un consommateur ou une entreprise dans un système économique



1-1) Emergence

- Emergence : processus de création de phénomènes par les **interactions bouclées** des agents d'un système complexe :
 - entre eux
 - avec leur environnement
 - avec les phénomènes en cours de création
- Des agents **très simples** peuvent créer des phénomènes émergents complexes et **surprenants** :
 - reproduction (nouveaux agents)
 - évolution, co-évolution
 - auto-organisation
 - organisation gigogne (sous-système dans les systèmes)
 - lois de distribution inégalitaires

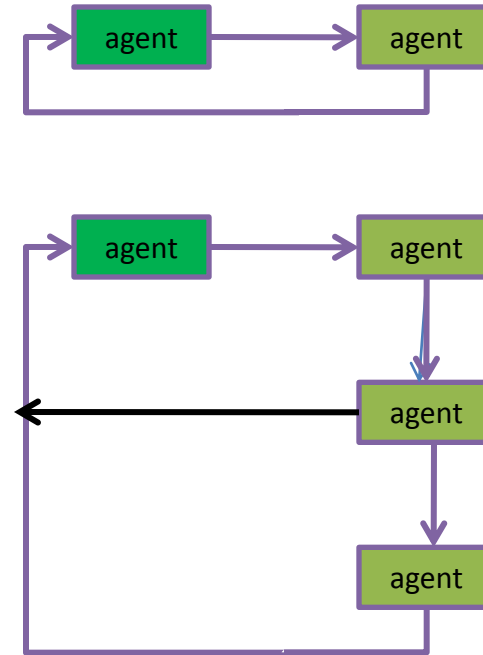


1-1) Émergence (suite)

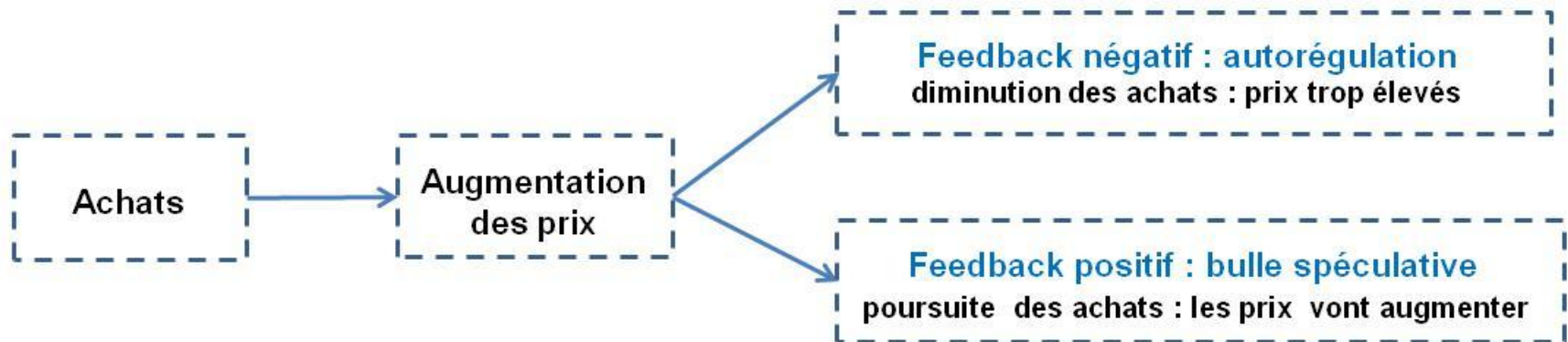
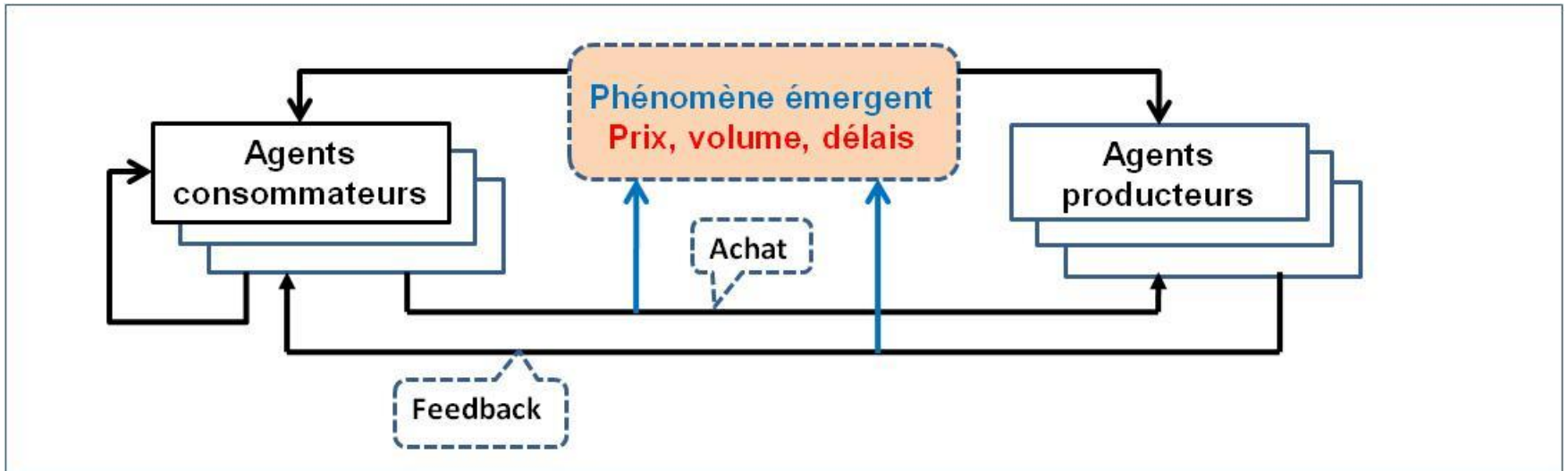
Agents	Interactions	Phénomènes émergents
Insecte colonial	Intensité des odeurs (phéromones)	Fourmilière,
Animal grégaire	Vue, Ouïe	Vols groupés d'oiseaux, bancs de poissons
Consommateur	Directe : imitation Indirecte : impact de la demande sur l'offre	Prix de marché Engouement
Particule	Règles de la physique des atomes et particules élémentaires	Pression, température, courant électrique...

2) Feedback : définition

- Il y a feedback dans un système complexe si un agent reçoit un stimuli en **réaction** à un stimuli qu'il a émis vers un autre agent ou son environnement.
- Les feedbacks peuvent être transmis en cascade sur un **circuit bouclé** comprenant plusieurs agents et l'environnement
- Les feedbacks peuvent être :
 - **négatifs** (régulation, stabilité)
 - **positifs** (emballement)



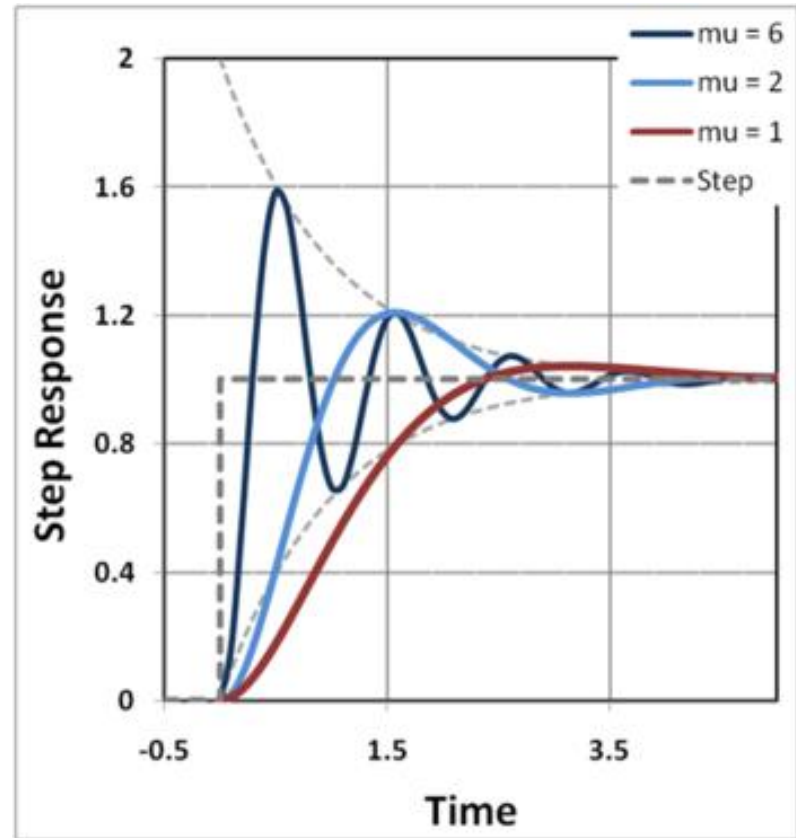
2-1) Exemple : producteurs et consommateurs



- **Les feedbacks sont présents partout**
- **Importance centrale** dans tous les systèmes complexes adaptatifs : biologiques, écologiques, économiques, sociaux... sous la forme de **multiples boucles d'interaction**
- **Générateurs** de l'ensemble des propriétés des systèmes adaptatifs complexes : émergence, adaptation, auto-organisation, coévolution...
- **Concept formalisé vers 1940 par N. Wiener (Cybernétique)**
- **Surprenant qu'il ait été formalisé si tard :**
 - **Beaucoup plus simple que la théorie de la relativité inventée avant**
 - **Les outils mathématiques existaient déjà au 18^{ème} siècle**

2-3) Sensibilité à la réactivité des agents

- **Dynamique des systèmes sensible à la manière de réagir des agents aux feedbacks:**
 - **Sens des réactions :**
 - positif (amplification)
 - négatif (stabilité)
 - **Intensité des réactions : forte ou faible**
 - **Vitesse des réactions :**
 - Lente : retard, seuil de sensibilité
 - Rapide : sensibilité aux tendances
 - taux de croissance d'une variable : dérivée
 - inversion de tendance : dérivée seconde



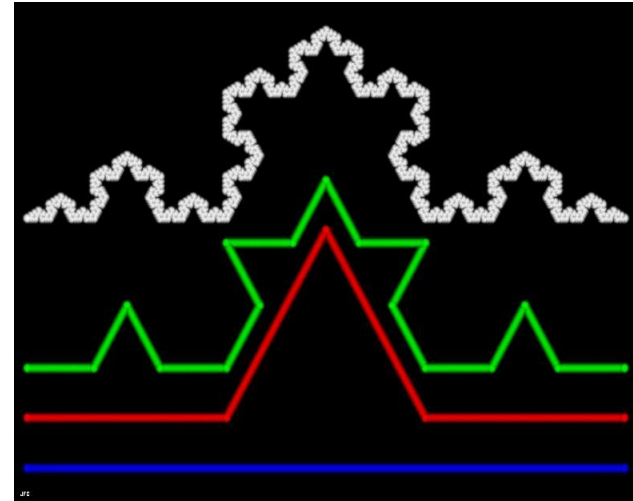
3) Fractal : définition

- **Autosimilarité : zooms successifs sur la figure → même motif**
 - flocons de neige,
 - nuages,
 - pliures du cerveau,
 - cours du coton,
 - courbe de Koch
 - brindille, branche, grosse branche, branche maîtresse, arbre
- **Les systèmes complexes adaptatifs produisent des objets fractal**
- **Leibnitz : autosimilarité 1700**
- **Mandelbrot : géométrie fractal 1975**

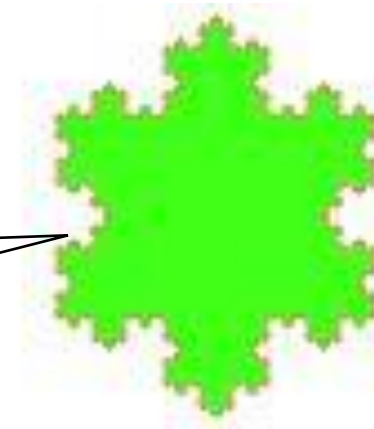


3-1) Courbe de Koch

- **Création par processus itératif :**
 - Chaque segment remplacé par une forme de 4 segments
- **Périmètre**
 - Soit $P(n)$ le périmètre de l'itération « n »
 - $P(n+1) = 4/3 * P(n)$
 - Le périmètre tend vers l'infini mais surface finie



Courbe de Kock
à partir d'un
triangle



- **Courbes fractales**
 - Longueur infinie
 - Aire nulle
 - Dimension fractale
 - comprise entre 1 et 2
 - mesure de la **rugosité**
- **Surfaces fractales**
 - Aire infinie
 - Volume nul
 - Dimension fractal comprise entre 2 et 3
- **Exemples :**
 - Les poumons : surface d'environ 70 m²
 - Le cortex du cerveau : surface de plusieurs m²
- **Loi de distribution en puissance ;**
 - beaucoup de petits objets

Courbe de Kock
à partir d'un
triangle



3-3) Dimension fractale

- Exemple : calcul de la dimension fractale d'une courbe
- La longueur mesurée croît avec la diminution de l'instrument de mesure
 - ✓ « x » taux de réduction de l'instrument de mesure
 - ✓ « y » taux d'accroissement correspondant de la longueur
- Dimension fractale (rugosité)
 - $1 + (\log y / \log x)$
- Courbe de Kock
 - pour $x=3$
 - $y=4/3$
 - dimension fractale = 1,26



3-4) Loi de distribution en puissance

- **Les objets fractal ont des lois de distribution en puissance :**
 - **Beaucoup de petites dimensions**
 - **Peu de grandes dimensions**

