

# L'EMERGENCE ARTIFICIELLE

**François Anceau**

Collaborateur bénévole

Lip6/SoC/CIAN

UPMC

© F. Anceau

## Emergence

- Concept philosophique (XIX<sup>e</sup> siècle)
- Appliqué traditionnellement aux sciences humaines et de la nature
- Résumé par l'adage :  
« *Le tout est plus que la somme des parties* »

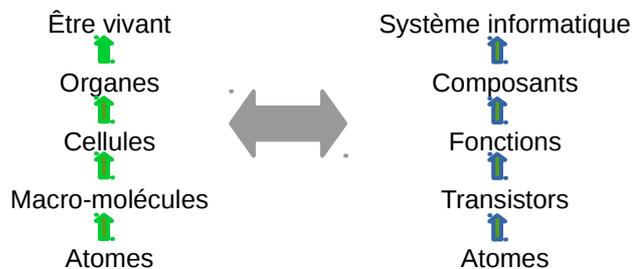
# Productions humaines complexes

- L'être humain produit des artefacts complexes hiérarchiques presque aussi complexes que ceux naturels. Et il n'a pas terminé !
  - Systèmes complexes
  - Ordinateurs
  - Robots
  - Usines
  - .....
- La connaissance totale de ces artefacts, la possibilité d'en faire de nouveaux et d'expérimenter sur eux nous permet d'approfondir les notions développées pour le vivant :
  - Hiérarchisation
  - **Emergence**
  - Reproduction
  - Intelligence
  - Vie
  - .....

3

# Comparaison des hiérarchies naturelles et artificielles

- Il est très facile de mettre en regard les hiérarchies naturelles et artificielles
- La majorité des propriétés systémiques s'appliquent aux deux hiérarchies avec des dénominations différentes.



4

# Emergence dans les hiérarchies artificielles

- L'émergence apparaît aussi dans les hiérarchies artificielles :
  - Avec un gros paquet de transistors, je peux *fabriquer* un ordinateur. Les propriétés de cette machine ne découlent pas de celles des transistors, (*à part pour sa performance globale*).
  - Avec un ordinateur, je peux *simuler* un jeu d'échecs. Rien dans l'ordinateur ne correspond aux éléments d'un jeu d'échec

5

## Vocabulaire

- Nous appellerons :
  - *Emergent* le produit de l'action d'émergence
  - *Source* l'entité, ou le groupe d'entités, qui produit l'émergence

6

## Artificiel versus naturel

- L'étude comparative des mécanismes des émergences artificielles et naturelles nous renseigne sur la nature profonde de cette notion.
- Nous distinguerons deux types d'émergences :
  - Les émergences *statiques* dans lesquelles les émergents découlent de l'*assemblage*, plus ou moins permanent, d'éléments de base.
  - Les émergences *fonctionnelles* dans lesquelles les émergents découlent du *fonctionnement* de la source de l'émergence

7

## Emergence statique

- Pourrait aussi être appelée :
  - Emergence d'assemblage
- Découle de l'assemblage, plus ou moins permanent, d'éléments de base pour obtenir une entité émergente de niveau supérieur
  - ex : Une boîte de Mécano
- L'assemblage des transistors pour faire un ordinateur nécessite :
  - Un support (circuit imprimé)
  - Des connexions (fils du circuit imprimé)
  - L'interconnexion des transistors, faite d'après un *plan* qui *définit* l'ordinateur
- L'assemblage des cellules d'un être vivant nécessite :
  - De fixer les cellules (collagène)
  - De les interconnecter (molécules messagères et récepteurs membranaires)
  - L'assemblage des cellules se fait à partir de commandes issues de l'expression de gènes *spécifiques* à cet être

8

# Emergence fonctionnelle

- Pourrait aussi être appelée :
  - Simulation
  - Emergence dynamique
  - Emergence de fonctionnement
- L'émergent découle du *fonctionnement* de la source de l'émergence
- La simulation d'un jeu d'échec par un ordinateur nécessite un *programme* qui décrit *comment l'ordinateur simule le jeu d'échec*
- L'interprétation d'un personnage par un acteur nécessite un long apprentissage dans lequel l'acteur *apprendra* à reproduire les *comportements particuliers* du personnage

9

# Emergence statique

- La nature du résultat de l'assemblage ne réside peu dans les composants, mais surtout dans le *mécanisme, ou le plan, de leur assemblage*

*Les caractéristiques d'un bâtiment résident peu dans les matériaux de construction utilisés, mais dans les plans de l'architecte.*

*Les matériaux n'interviennent qu'à titre de possibilités dans le traçé du plan.*

10

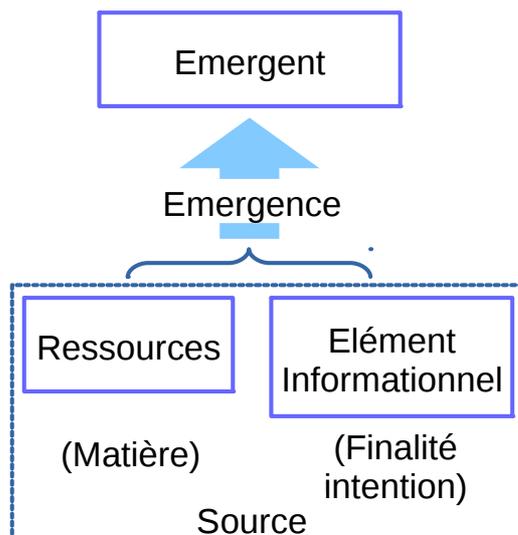
# Emergence fonctionnelle

- Ce type d'émergence nécessite un mécanisme directeur annexe qui *pilote* le fonctionnement de la source de l'émergence et introduit une notion évidente de *finalité*.
  - Un *programme* spécifique dans le cas d'un ordinateur ou d'un être vivant
  - Un *câblage* particulier dans le cas d'un automate
  - Un *apprentissage* spécifique dans le cas d'un acteur ou d'un artisan
  - Les *lois* physico-chimiques

11

# Nature d'une émergence

- On constate que toute émergence nécessite *deux* facteurs :
- Des *ressources* qui n'influencent pas directement sur le résultat qualitatif de l'émergence, mais son aspect quantitatif :
  - Composants
  - Puissance de traitement
- Un *élément informationnel*, directeur de la construction de l'émergent ou de son comportement :
  - Programme
  - Plan
  - Apprentissage
  - Lois physico-chimiques



12

# Auto-organisation

- Ex : Cellules de Bénard
- Propriétés des ressources elles-mêmes ( l'élément informationnel est *inclus* dans la ressource) :
  - Par la *forme* même des éléments de la ressource (atome, molécules....)
  - Par l'action des *lois physico-chimiques* (neg-entropie, attractions, instabilités, agitation + filtre,...)
- Attention : Les lois *extrémales* ne sont généralement des conséquences. Elles ne sont directrices que dans les cas de phénomènes statistiques (essais nombreux + filtre extrémal)

13

*Le tout est plus que la somme des parties*

*serait remplacé par :*

*Le tout est égal à la somme des parties plus les processus d'assemblage ou de comportement*

14

## Une question de langage

- On parle d'*émergence* si l'on porte l'accent sur les composants ou le fonctionnement de l'émergent en écartant le mécanisme d'assemblage / pilotage (Vision *hémiplégique* du monde)
- On parle de *construction* si l'on porte l'accent sur le mécanisme d'assemblage / pilotage en minorant l'effet des composants

L'émergence (fonctionnelle) de la pensée découle directement du *fonctionnement* du cerveau *piloté* par sa structure et ses poids synaptiques

« Le cerveau sécrète la pensée comme le foie la bile » Canabis (1802) 15

## Notion temporaire ou métaphysique ?

- L'émergence serait une qualification temporaire qui s'appliquerait à un objet *avant* que l'on connaisse les lois de sa création ou de son fonctionnement.
- L'émergence comporte une facette *métaphysique* qui ne pourra que disparaître avec l'évolution des connaissances.

# Emergence universelle

- Dans le cas où la ressource est un organe dont le comportement peut créer une large famille d'émergents (par exemple un processeur)
- Lorsque l'élément directeur du comportement de la source est un *programme*, on parlera :
  - De simulation, de programmation, d'ordinateur, de processeur
- Dans ce cas, une émergence particulière se réduit à un *algorithme (d'émergence)*
- Lorsque l'émergent est lui-même universel, son algorithme d'émergence sera appelé *algorithme d'interprétation*

17

# Sources d'émergence équivalentes

- Il est tout à fait courant que l'émergence d'un comportement puisse provenir de plusieurs sources fonctionnelles, qualifiées de *compatibles*.
  - Par exemple, des ordinateurs dit *compatibles* ont le même comportement avec des organisations internes différentes et des logiciels différents
  - Ces ordinateurs compatibles sont organisés en *lignées* offrant des performances différentes qui dépendent des composants utilisés et / ou de l'organisation des machines
- Dans ce cas, les différentes émergences ne sont que des *adaptations* de l'algorithme d'émergence aux spécificités des ressources utilisées
- Au vu de cette multiplicité, l'émergence acquiert un statut d'*indépendance* vis à vis de ses sources considérées comme des *adaptations* (par exemple, une machine java *portée* sur plusieurs familles d'ordinateurs)

18

## Objets virtuels

- Ceux-ci n'ont pas de réalité propre. Les algorithmes d'émergence sont alors des algorithmes de *simulation*
- Les émergents ne possèdent pas tous les paramètres de réalité qui permettraient de les voir ou de les toucher directement, (ex : Les jeux et les simulateurs ludiques sur ordinateur)
- Ils ne peuvent être rendus visibles que via des appareils spéciaux (ex : dispositifs de visualisation)
- Ils ne peuvent agir sur le réel que *via* les organes d'entrée-sortie de l'entité qui les simule (un système informatique)

19

## Emergences virtuelles

- Ce sont souvent des émergences fonctionnelles
- La source d'une émergence virtuelle est souvent un processeur ou un système informatique muni d'un programme qui guide son comportement
- Cette source peut être elle-même un processeur virtuel, émergence d'un processeur réel sous-jacent (ex : machine Java)
- On peut adjoindre un programme à un processeur virtuel pour obtenir une exécution

20

# Hiérarchie d'émergences virtuelles

- Il est possible d'empiler des processeurs virtuels (par exemple un processeur classique simulant un processeur Java simulant lui-même un processeur Lisp exécutant un programme de jeu écrit en Lisp)
- Les données manipulées par un programme s'exécutant sur un processeur sont implémentées dans des éléments de mémorisation de ce système informatique (registres du processeur, mémoires du système)
- Si le système exécutant le programme est lui-même virtuel, il correspond à un autre programme s'exécutant sur un autre système de niveau inférieur qui implémentera, dans ses propres organes de mémorisation ceux du système virtuel qu'il simule et ainsi de suite jusqu'au système réel sur lequel tout repose (avec une grosse perte de performance !)
- Il en est de même pour les entrées-sorties. Celles-ci sont déléguées au niveau inférieur dans chaque niveau virtuel pour finalement être réalisées dans le premier niveau réel.
- Exemple : un acteur jouant un autre acteur qui interprète un personnage....

21

# Hierarchies branchues

- Les hiérarchies d'organes virtuels peuvent être branchues dans les deux directions :
  - Dans le sens des émergences :
    - Un processeur (virtuel ou réel) peut exécuter plusieurs processus de simulation par des techniques de multi-traitement (priorité, événementiel, temps partagé)
  - Dans le sens des sources :
    - Un processus pourrait être exécuté par l'un des processeurs d'une gamme de machines compatibles (système multiprocesseur symétrique)

22