

# AFSCET

## Res-Systemica

Revue Française de Systémique  
Fondée par Evelyne Andreewsky

Volume 15, octobre 2016

Penser sans modèle ?  
Emergence, créativité, sérendipité

Res-Systemica, volume 15, article 13

L'émergence est-elle une notion porteuse de mystère ?

François Anceau et Laurent Carrive

contribution reçue le 17 octobre 2016

5 pages



Creative Commons

# L'émergence est-elle une notion porteuse de mystère ?

François Anceau, Professeur retraité, Collaborateur bénévole au Lip6  
Laurent Carrive, Ingénieur, enseignant à l'Université Paris-Diderot

## Introduction

L'émergence est une thèse philosophique proposée au XIX siècle pour étudier l'adage "Le tout est plus que la somme des parties"[1].

Il s'avère que cette question est ancienne "Déjà, les disciples d'Aristote se disputaient quant aux mixtes (corps composés) dont on peut dire qu'ils "émergent" de la composition des corps. Comment expliquer leurs propriétés qualitatives nouvelles ?"

Plus précisément pour G.-H. Lewes en 1875 dans *Problems of Life and Mind* [2], soutient une théorie "selon laquelle la combinaison d'unités d'un certain ordre réalise une entité d'ordre supérieur dont les propriétés sont entièrement nouvelles [3]".

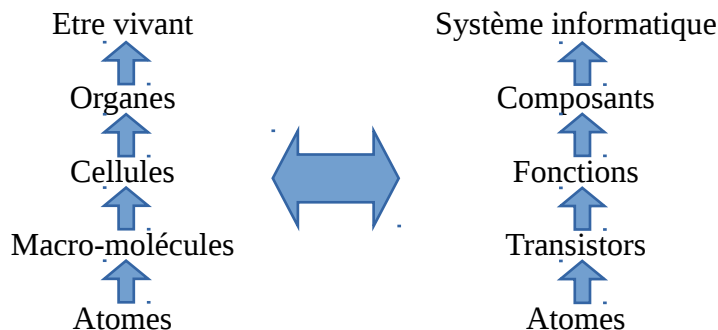
Les thèses sur l'émergence ont été d'abord associées aux phénomènes humains (l'esprit émerge de la vie) ou simplement naturels (la vie émerge de la matière organisée). Leurs objectifs étaient d'étudier des phénomènes fréquents, mais encore inexpliqués, liés à l'apparition de propriétés nouvelles dues à la complexité des milieux dans lesquels elles apparaissent.

## L'émergence dans les artefacts d'origine humaine

Dans son processus créatif, l'homme s'inspire souvent de la nature par rétro-ingénierie sur des objets naturels (réseau de neurones, structures architecturales inspirée des radiolaires, technologies bio-inspirées....)

Les thèses sur émergence ont été créées à une époque où la technologie (artefacts humains) n'avait pas atteint son degré de complexité actuel. Aujourd'hui celle-ci a évolué jusqu'à permettre la conception d'artefacts de complexité comparables à celles des êtres vivants élémentaires. (Quelques milliards de transistors dans une puce). Ce mouvement ne va que s'accroître (loi de Moore : doublement de la complexité environ tous les 3 ans).

L'application des théories de l'émergence à des artefacts humains devient non seulement possible, mais enrichissante. En effet l'homme a créé ces systèmes artificiels de toute pièce, ceux-ci nous sont donc complètement connus. Par exemple, nous pourrions dire que la notion d'ordinateur émerge d'assemblages particuliers de composants électroniques. Nous verrons, en nous appuyant sur ces émergences "artificielles", plus faciles à analyser que les émergences "naturelles", que l'apparition de nouvelles propriétés perd souvent de son mystère lorsque l'on analyse en détail leurs processus de construction.



*Comparaison des hiérarchies naturelles et artificielles*

Quelques animaux sociaux sont capables de construire des édifices complexes ayant une utilisation précise (fourmilières, termitières....). L'être humain est allé beaucoup plus loin. Il s'est fabriqué des orthèses pour accroître ses possibilités naturelles. Certaines de ces orthèses visent à accroître ses

capacités cognitives (bases de données, démonstrateurs de théorèmes, navigateurs géographiques (GPS), calculateurs ...). Ces artefacts commencent à devenir très complexes, sans encore égaler, mais approcher, la complexité des organismes vivants. Nous avons déjà mentionné que les processeurs situés au cœur des ordinateurs peuvent maintenant atteindre une complexité de plusieurs milliards de transistors. Il est possible de classer ces artefacts, hiérarchiquement d'une manière comparable à celle utilisée pour les systèmes naturels.

Nous avons une connaissance totale des éléments et des mécanismes impliqués dans les hiérarchies artificielles ainsi que la possibilité d'expérimenter facilement sur eux. Ceci nous amène à transposer sur ces hiérarchies, les notions développées pour l'étude et la formalisation des organismes naturels comme l'héritage, l'émergence et leur évolution, sous la forme de la suite d'individus d'une lignée généalogique.

La notion d'émergence est apparue pour qualifier l'apparition de propriétés nouvelles liées aux êtres des niveaux supérieurs des hiérarchies naturelles. La transposition de cette notion dans le domaine artificiel nous permet d'identifier les processus à l'œuvre dans une telle situation et de les analyser. Ces hiérarchies artificielles devenant alors de véritables bancs d'essais.

### **Emergence dans les hiérarchies artificielles :**

Le phénomène d'émergence apparaît aussi dans les hiérarchies artificielles :

- Avec un gros paquet de composants électroniques, je peux fabriquer un ordinateur. Les propriétés fonctionnelles de cette machine ne découlent pas tant de celles de ces composants (à part pour sa performance globale) que de celles du schéma qui décrit leur assemblage.
- De même, avec un ordinateur, je peux simuler un jeu d'échecs. Rien de matériel dans cet ordinateur ne correspond aux éléments d'un jeu d'échec.

### **Définitions :**

De manière à clarifier la suite de cette étude, nous introduirons les termes suivants : *Emergent* pour le produit de l'émergence, et *agent* (source) pour l'entité, ou le groupe d'entités, qui produit cette émergence.

Nous distinguerons également deux types d'émergence :

- L'émergence *réelle (statique)* qui découle de l'*assemblage*, plus ou moins permanent, d'éléments de base. Par exemple, un ordinateur qui émerge de l'assemblage de composants électroniques.
- L'émergence *virtuelle (dynamique)* dans laquelle un comportement particulier émerge du *fonctionnement*, ou du *positionnement*, de l'*agent* de l'émergence.

L'émergence réelle nécessite toutefois une activité de construction qu'il ne faut pas confondre avec une émergence virtuelle.

### **Nécessité d'un guide de l'émergence :**

L'émergence réelle (statique) :

Nous remarquons que dans tous les cas où un assemblage d'éléments produit un objet émergent, il existe une information qui guide le processus d'assemblage. Par exemple :

- La fabrication d'un bâtiment nécessite un plan.
- L'assemblage des composants électroniques pour réaliser un ordinateur nécessite un *plan de câblage* et des cartes de *circuits imprimés* pour les fixer et les interconnecter.
- De même, l'assemblage des cellules pour créer un être vivant se fait à partir de commandes issues de l'*expression des gènes* dupliqués dans tous les noyaux de ces cellules, elles-mêmes issues de la duplication d'une cellule initiale.

L'émergence virtuelle (dynamique) :

De même, nous remarquons que dans les cas d'émergence virtuelle il existe aussi une information qui guide le comportement ou le positionnement de l'agent, pour qu'il génère l'entité virtuelle. Par exemple :

- La simulation d'un jeu d'échec par un ordinateur se fait grâce à un *programme* qui décrit comment l'ordinateur doit réaliser cette simulation.
- De même, l'interprétation d'un personnage par un acteur nécessite un long *apprentissage* dans lequel l'acteur va apprendre à reproduire les comportements particuliers du personnage.

### Nécessité d'un contexte de l'émergence :

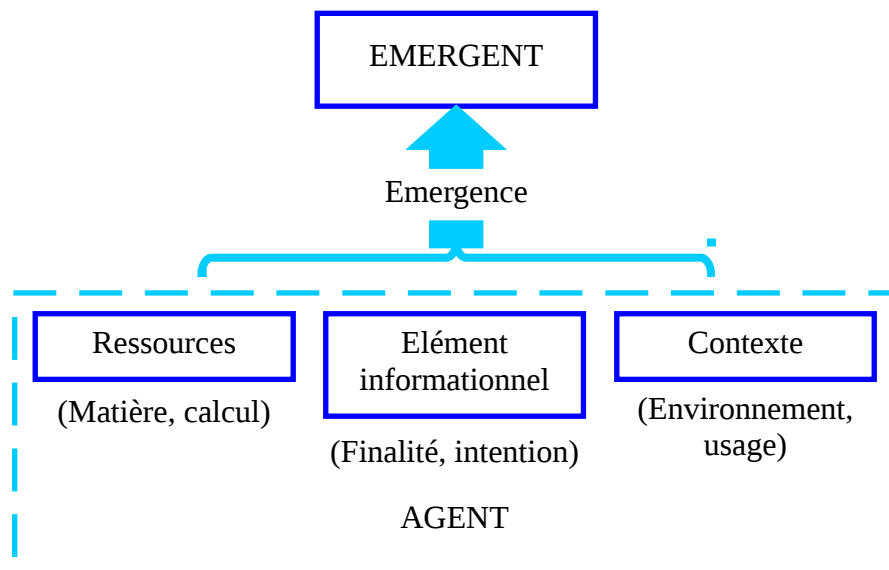
Une émergence se produit généralement dans un contexte qui influe sur sa nature ou sa réalisation  
Par exemple :

- la fusion de deux atomes nécessite une certaine énergie ainsi qu'un positionnement relatif précis de ces atomes.
- le comportement des animaux peut dépendre du climat pendant leur gestation.
- un niveau d'énergie suffisant peut permettre, ou non, la réalisation d'une émergence virtuelle

### Les trois facteurs de l'émergence :

On constate donc que toute émergence naturelle ou artificielle, nécessite la réunion de trois facteurs :

- Des *facteurs* intensifs (ou extensifs) qui peuvent être des composants (ou des organes) ou de la puissance de calcul (ou de l'énergie)
- De l'*information* matérialisée ou non qui peut être un plan, un programme, un apprentissage ou des particularités de lois physico-chimiques
- Un *contexte* matérialisé ou non qui influe, ou conditionne, la réalisation même de l'émergence.



*Relation émergent - agent*

Nous remarquerons l'importance de l'information dans les processus d'émergence. Celle-ci montre sa véritable nature. Un château émerge plus de ses plans que des tas de pierre qui ont servi à l'édifier. De même, le contexte peut influencer ou même conditionner la réalisation de l'émergence.

### Cas de l'auto-organisation :

Dans le cas de l'auto-organisation, l'élément informationnel est inclus dans la ressource utilisée :

- Par la forme même des éléments à assembler

- Par l'action du hasard (attractions, instabilités, agitation) filtré par les lois physico-chimiques  
Par exemple, les cellules de Bénard [4] représentent un cas d'auto-organisation naturel qui met en jeu plusieurs phénomènes physiques (thermodynamiques, mécanique des fluides....)

### Cas des lois extrémales :

Des opérations mettant en œuvre des fonctions extrémales peuvent apparaître dans les expressions mathématiques caractérisant l'auto-organisation. Il faut bien faire attention au fait que ces lois ne sont généralement pas directrices, mais seulement des conséquences à posteriori du comportement constaté. La réalité des mécanismes mis en jeu doit être recherchée ailleurs.

### Un nouvel adage :

"Le tout est plus que la somme des parties"

*devrait être remplacé par :*

**"Le tout est égal à la somme des parties, plus les informations d'assemblage ou de comportement qui sont entrées en jeu dans un certain contexte"**

### Une question de langage :

La notion d'émergence consiste donc à porter l'accent sur le, ou les, agents et l'émergent en écartant le mécanisme d'assemblage et/ou la description du comportement particulier d'un agent qui a créé cette émergence.

L'émergence pourrait être une qualification temporaire qui s'appliquerait à un nouvel objet avant que l'on connaisse en détail le mécanisme de sa construction et/ou du fonctionnement de l'entité sous-jacente qui l'a produit. Cette méconnaissance suggère une orientation métaphysique à ce processus qui aura toutes les chances de disparaître avec l'évolution de la connaissance de cet objet.

### Réalité des émergences

Dans le cadre d'un travail précédent [5], nous avons étudié la notion de réalité des objets et des théories. Nous avons vu que la réalité (pratique) des objets peut être déterminée par la valeur de certains paramètres appelés "paramètres principaux" (par ex : masse, taille, matière,.....). Il est assez courant que certaines émergences ne soient pas réelles. Une entité obtenue par une émergence dynamique est nécessairement *virtuelle*. Nous qualifierons ces entités de *virtuelles*. Nous parlerons alors de *simulations*. Ces entités sont non-réelles car elles ne possèdent pas toutes les propriétés des entités réelles. Par exemple, la simulation d'un jeu d'échecs sur un ordinateur, n'est pas réelle car elle interdit de toucher les pièces.

### L'émergence virtualisante

La virtualité informatique revient à créer des univers factices, connectés au réel macroscopique par des voies d'entrée et de sortie. La voie d'entrée permet d'envoyer des ordres à un univers virtuel, tandis que la voie de sortie permet d'en extraire certaines grandeurs préalablement définies. Cette vision des choses peut être trompeuse, puisqu'il semble alors possible d'en extraire les paramètres principaux qui permettraient d'en établir la réalité. Toutefois, l'élaboration par calcul de ces paramètres et leur livraison sous forme numérique ne permet pas de les mesurer directement et de les manipuler par des appareils du monde réel.

Les machines virtuelles sont d'usage fréquent en informatique. On les utilise à la place de machines réelles, par exemple pour offrir un ensemble de machines virtuelles simulées sur un même ordinateur pour isoler leurs utilisateurs et leur offrir des ressources spécifiques.

Il est évident que la puissance de calcul d'une machine virtuelle provient de la machine stimulante qui se partage entre toutes les machines virtuelles qu'elle anime.

Les machines virtuelles peuvent être empilées. Par exemple, on peut imaginer de faire exécuter un programme Basic sur une machine Basic virtuelle, elle-même exécutée sur une machine virtuelle Java elle-même exécutée sur un ordinateur réel.

On dira qu'une machine réelle ou virtuelle est *universelle* si elle peut exécuter n'importe quel programme. On constate que la base de tels empilements est toujours constituée par une machine réelle universelle animant une hiérarchie de machines virtuelles universelles plus ou moins isolées.

Un ordinateur physique peut difficilement créer des machines virtuelles strictement identiques à lui-même et ayant de bonnes performances. Pour cela, il faut que cet ordinateur hôte possède des mécanismes d'aide à la virtualisation qui le rendent différent des machines virtuelles qu'il anime. La plupart de ces mécanismes ont pour but de séparer les actions et les environnements des machines virtuelles de ceux de la machine virtualisante (espaces mémoire et de stockage secondaire, interruptions, entrées-sorties).

Elément  
informatio  
nnel

### Conclusions

L'émergence a commencé par représenter le mystère de l'apparition de fonctions nouvelles issues de l'augmentation de la complexité des objets par l'agrégation d'objets simples ou l'apparition d'entités virtuelles issues de comportements particuliers. L'analyse des productions humaines montre qu'elles possèdent des propriétés semblables aux productions naturelles, pour lesquelles elles peuvent servir de banc d'essai. Une étude de ces productions artificielles montre qu'il y a toujours un plan, éventuellement implicite, pour diriger l'assemblage et un contexte pour lui donner des propriétés particulières. De même, un comportement fera apparaître une entité virtuelle que s'il obéit à certaines règles, éventuellement implicites, dans un certain contexte, pour diriger ce comportement. Il semble que les mondes naturels et artificiels obéissent aux mêmes règles, souvent implicites.

### Bibliographie :

- [1] Wikipedia, *Emergence*, <https://fr.wikipedia.org/wiki/Emergence>
- [2] George-Henry Lewes, 1875, *Problems of Life and Mind (First Series) vol.2*, Trübner in [3].
- [3] Paul Ostoya, in Paul Foulquié, *Dict. de la langue philosophique*, Paris PUF, 1962
- [4] Wikipedia, *Cellules de Bénard*, [https://fr.wikipedia.org/wiki/Cellules\\_de\\_Bénard](https://fr.wikipedia.org/wiki/Cellules_de_Bénard)
- [5] François Anceau et Laurent Carrive, *De la réalité des modèles et des théories*, WOSC-UES, Valencia, 15-17 oct 2014