

***Révision des concepts
pour l'étude des émergences
dans les systèmes complexes***

**Section 5 : Conséquences
philosophiques, Mathématiques et
complexité, Lexique**

Plan

Section 1

- 1) Objectif de ce document
- 2) Résumé
- 3) Les systèmes complexes

Section 2

- 4) Propriétés des systèmes complexes
- 5) Lois des systèmes complexes adaptatifs

Section 3

- 6) Les outils

Section 4

- 7) Exemples d'applications

Section 5

- 8) Conséquences philosophiques
- 9) Mathématiques et complexité
- 10) Lexique

8) Philosophie

Les progrès des sciences de la complexité notamment dans les domaines de la biologie, de la sociologie, des neurosciences... interpellent les philosophes :

- Interrogations ontologiques sur le phénomène d'émergence, la vie et la conscience : matérialisme, émergentisme ?
- Imprévisibilité de l'évolution des systèmes complexes biologiques, sociaux économiques ?
- L'évolution d'un système est elle prédéterminée ? Déterminisme ou indéterminisme ?
- Incertitude des causalités ? Est-il possible de déterminer les causes qui ont orienté l'évolution d'un système ?
- Les systèmes complexes ont-ils finalité ? Téléologie et téléonomie.

8-1) Matérialisme / Émergentisme

Matérialisme

- **Doctrines qui affirment que :**
 - **Tous les phénomènes, y compris les phénomènes* ontologiques tels que la vie, la conscience sont des émanations de la matière**. Ils sont le résultat d'interactions entre des éléments matériels**
 - **Tous les phénomènes sont régis par les lois de la physique et de la complexité**
 - **La science permettra d'approfondir les causalités liées à la conscience**
- *Définitions :*
 - ** Phénomène : ce qui est perçu par l'homme dans la nature y compris dans le domaine du mental, par exemple les pensées, la conscience*
 - *** Ici, matière inclut toutes les entités physiques observables y compris, par exemple l'énergie, les forces, les ondes électromagnétiques...*

8-1) Matérialisme / Émergentisme(suite)

Émergentisme

- Doctrine du phénomène d'émergence qui concerne particulièrement les phénomènes ontologiques tels que **la vie, la conscience** :

Parallèle entre émergentisme et matérialisme :

- **Point commun.**
 - Les émergentistes et les matérialistes affirment que les phénomènes ontologiques tels que la **vie, la conscience** sont des **émergences d'un « tout »** constitué d'éléments matériels en interaction en conformité avec la définition dans ce document. Ce « tout » peut être appelé système complexe, couches inférieures.
- **Divergence.**
 - Mais les émergentistes affirment que les phénomènes ontologiques tels que la vie et la conscience ne relèvent pas des sciences développées par l'homme. Il est donc définitivement impossible pour l'homme d'établir des liens entre ces émergences et les propriétés du « tout » d'où elles émanent quels que soient les progrès scientifiques.

8-1) Matérialisme / Emergentisme (suite)

Emergence forte

- **Pour les protagonistes du concept d'émergence forte une émergence produite par un système est forte si la science ne permet pas, durablement ou définitivement, d'en expliquer la genèse; par exemple les phénomènes ontologiques de la conscience ou de la vie.**
- **Le concept d'émergence forte est supporté par certains philosophes, rarement par scientifiques.**
- **La doctrine de l'émergentisme est fondée sur l'existence d'émergences fortes qui transcendent définitivement la science**
- **L'émergentisme et le concept d'émergence forte sont en opposition avec le matérialisme qui affirme que tous les phénomènes, y compris la vie et la conscience, sont réductibles à la matière et aux lois de la science.**

8-2) Imprévisibilité

Imprévisibilité à long terme

- Impossibilité de prévoir les évolutions à **long terme** des systèmes complexes adaptatifs par exemple les civilisations, les systèmes économiques, les villes, les écosystèmes...
- Les interventions des hommes peuvent avoir des impacts tout à fait différents des objectifs visés
- Cependant les progrès des sciences de la complexité permettent de circonscrire les domaines vers lesquels un système peut évoluer : par exemple, une société restera un « small world », aura des distributions statistiques en loi de puissance.

Pourquoi ?

- Complexité du réseau des interactions avec de nombreuses boucles de feedback
- Extrême sensibilité aux conditions initiales
- Difficulté à prévoir aggravée par
 - Complexité des règles de comportements des acteurs en fonctions de stimuli reçus
 - évolution des règles de comportement des acteurs en fonction de leur vécu (stimuli émis et reçus, temps écoulé)

8-3) Incertitude des causalités

Incertitude des causalités

- Impossibilité d'identifier les causes premières d'une situation observée,
 - exemple : **causes endogènes** de l'essor ou du déclin relatif d'une civilisation (Chine, monde musulman, Europe, Amérique...)
 - Rôle des peuples et des « grands hommes » dans les bifurcations de l'histoire

Il est par contre possible d'identifier l'impact des causes exogènes **majeures**, par exemple les catastrophes naturelles.

Pourquoi ?

- Réseau des causes non linéaire et en boucle, souvent multi bouclé
- Interactions entre les causes avec des effets d'amplification et d'atténuation

8-4) Indéterminisme

- **Doctrine qui affirme que l'évolution d'un système n'est pas prédéfinie.**
- **Plusieurs systèmes strictement identiques quant à leurs conditions initiales et leurs environnements pourraient suivre des trajectoires différentes**
- **Doctrine non falsifiable parce qu'il est impossible de réaliser l'expérience des plusieurs systèmes identiques en raison :**
 - **du très grand nombres des paramètres qui définissent les conditions initiales et environnementales. Sont-il dénombrables ?**
 - **des exigences de précision sur ces paramètres**
- **Les récents progrès scientifiques notamment dans la mécanique quantique renforcent l'indéterminisme**

8-4) Indéterminisme (suite)

- **Relation entre prévisibilité et déterminisme**
 - Un système peut être déterministe et imprévisible
 - Il ne peut pas être Indéterministe et prévisible

	Déterminisme	Indéterminisme
Prévisibilité	Cohérent	Incohérent
Imprévisibilité	Cohérent	Cohérent

- **Il est courant de dire que nous sommes entrés dans une pensée dominée par l'incertitude**
 - Principe d'incertitudes (Heisenberg)
 - Dualité onde/ corpuscule (de Broglie)
 - Théorèmes d'incertitude (Gödel)
 - Théorie du chaos (Poincaré)

8-5) Holisme Systémique

- Le **holisme** affirme que pour étudier un système il faut avoir une vision globale et simultanée de l'ensemble de ses éléments et des **interactions** entre ces éléments
- Le **tout** d'un système est plus que la somme de ses éléments à cause du rôle majeur des **interactions** qui doivent être étudiées dans leur ensemble
- Le holisme est opposé au **réductionnisme** qui affirme que l'on peut étudier un système en analysant séparément chacun de ses composants (Descartes)
- Les **systèmes complexes adaptatifs** relèvent du **holisme** (systèmes biologique, sociaux, écologique, économique...)
- La **systémique** (Bertalanffy) est la discipline scientifique de l'étude **holistique** des systèmes

8-6) Téléologie

- **Définition**
 - **A) Discipline d'étude de la finalité d'un système voulue par :**
 - Les concepteurs du système
 - Les agents acteurs du système
 - **B) Doctrine qui explique le comportement d'un système par sa finalité.**
Exemple :
 - Expliquer l'évolution d'un écosystème animalier par la théorie de la lutte de chaque espèce pour sa survie et son développement
- **Expliquer l'évolution du vivant par des interventions divines ou l'exégèse de textes sacrés relève de la théologie, pas de la science**

8-7) Téléonomie

- La **téléonomie** est la **finalité apparente** des systèmes complexes adaptatifs qui est « construite » **inconsciemment** de bas en haut par ses acteurs ou agents
 - Un système téléonomique ne fonctionne pas en vertu de causes finales alors **qu'il en donne l'impression**
- Les SCA sans agent cognitif (éco-systèmes végétaux, animaux, biologiques...) relèvent de la téléonomie. Exemple : une fourmilière
- Un SCA relève de la **téléonomie** plutôt que de la téléologie si :
 - ses agents cognitifs agissent par **réflexe**
 - sa **finalité apparente est très différente** des **finalités voulues** par ses agents cognitifs
 - Exemple : on peut dire que la théorie de la « main invisible » d'Adam Smith relève de la téléonomie
- Un Système Complexe relève de la **téléologie** si sa finalité est voulue par ses **agents cognitifs**
 - Exemple : système social de la communauté linux
- *Le mot « téléonomie » a été créé par le biologiste Jacques Monod pour définir ce type de finalité par opposition à la téléologie qui traite de la finalité voulue par les acteurs ou concepteurs du système*

9) Mathématiques et complexité

- **Contributions à l'étude des systèmes complexes**

9-1) Contribution à l'étude des systèmes complexes

- **Mathématiques mal adaptées à l'étude de la majorité des systèmes complexes, notamment des systèmes complexes adaptatifs, à cause des difficultés de mise en équation :**
 - Variété des agents et de leurs règles de comportement
 - Evolution des règles de comportement des agents en fonction de leur vécu (historique des stimuli émis et reçus)
 - Non linéarité des règles de comportement
- **Mathématiques utiles dans les cas suivants :**
 - Règles de comportement des agent simples et non évolutives
 - Loi de probabilité parce que très grand nombre d'agents
 - Exemple : les gaz (molécules = agent)
 - Equations possibles, pas forcément solubles, parce que très petit nombre d'agents
 - Exemple : Problème des 3 corps

9-1) Contribution à l'étude des systèmes complexes (suite)

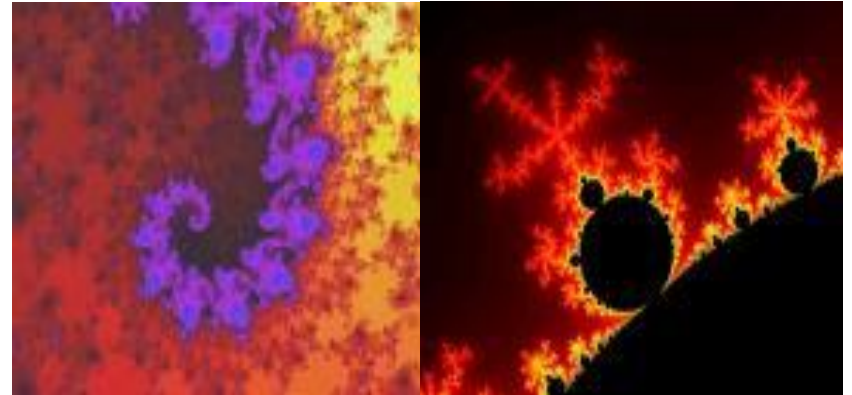
- **Théorie du chaos**
 - **Les mathématiques ont permis de définir les propriétés générales des systèmes qui relèvent de la théorie du chaos :**
 - **Sensibilité aux conditions initiales**
 - **Bassin d'attraction**
 - **Tous les systèmes complexes adaptatifs relèvent de la théorie du chaos**

9-2) Création d'objets complexes

Des objets d'une grande complexité peuvent être créés à partir d'objets extrêmement simples :

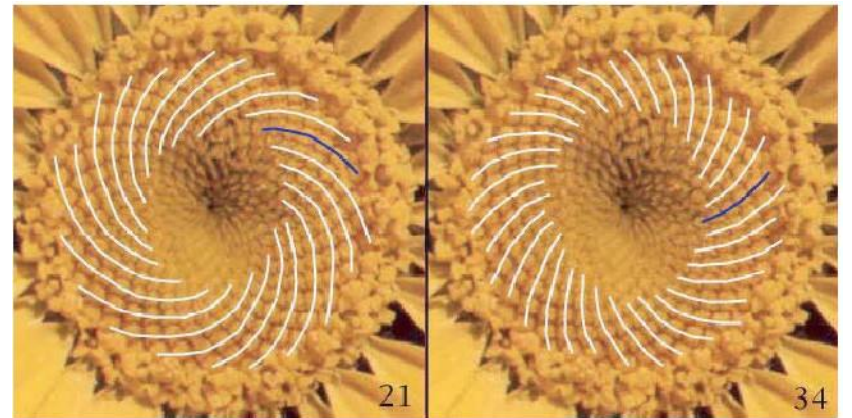
- **Mandelbrot set**

- $Z_{(enxt)} = Z^2 + C$ (Z nombre complexe)



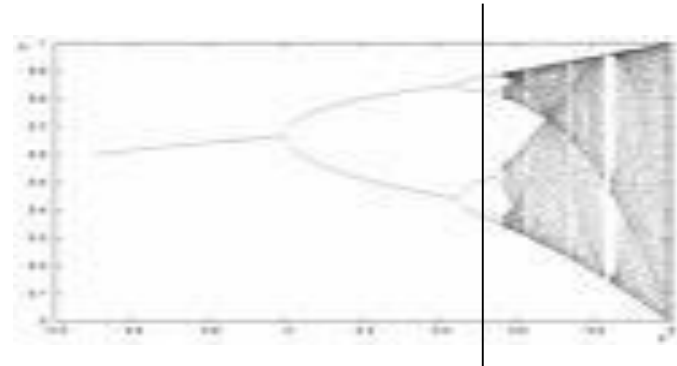
- **Suite de Fibonacci**

- $N_{(enxt)} = N_p + N_{p-1}$: 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55...
- La pomme de pin a 21 spirales dans un sens et de l'autre, 34 dans l'autre. Ces deux nombres sont 2 voisins de la suite de Fibonacci



9-2) Création d'objets complexes (suite)

- **Suite logistique**
 - En mathématiques, une suite logistique est un exemple simple de suite dont la récurrence n'est pas linéaire
 - Sa relation de récurrence est $X_{(n+1)} = \mu X_n (1 - X_n)$
 - Elle conduit, suivant les valeurs de μ , à une suite convergente, une suite soumise à oscillations ou une suite chaotique



9-3) Suite « look and say » ou séquence de Conway (John Orton)

- Génération : $1 \Rightarrow$ je vois $11 \Rightarrow$ je vois $21 \Rightarrow$ je vois 1211
- Les principales propriétés de cette suite sont :
 - La suite ne comporte pas de chiffres > 3
 - Les termes de la suite possèdent un nombre pair de chiffres, sauf le terme initial
 - Les termes se terminent par **11** si impairs et par **21** si pairs, sauf le terme initial
 - En moyenne, les termes de la suite possèdent 50% de chiffres 1, 31% de 2 et 19% de 3
 - Le nombre de chiffres du $n^{\text{ème}}$ terme de la suite est proportionnel à λn , où $\lambda = 1,303577269$ appelée constante de Conway. Plus précisément, si on note L_n le nombre de chiffre du $n^{\text{ème}}$ terme de la suite, alors : $\lambda = \lim_{n \rightarrow \infty} L_{n+1} / L_n$

A partir d'un certain point, *presque tous* les termes de la suite peuvent être décomposés en 92 sous-termes (nommés éléments, par analogie avec les éléments chimiques de Mendeleïev qui se décomposent au terme suivant en un certain nombre d'autres éléments).

Il a été montré que si l'on débute la suite par le terme uranium 3, les 91 autres éléments seront apparus dans un terme ou un autre au bout de 91 itérations.

D	1																			L
1	1	1																		2
2	2	1																		2
3	1	2	1	1																4
4	1	1	1	2	2	1														6
5	3	1	2	2	1	1														6
6	1	3	2	2	2	1														6
7	1	1	1	3	2	2	1	1												8
8	3	1	2	3	1	2	2	1												8
9	1	3	1	1	1	2	1	3	1	1	2	2	1	1						12
10	1	1	1	3	3	1	1	2	1	1	1	3	2	1	2	2	2	1		16
11	3	1	2	3	2	1	1	2	3	1	1	3	1	2	1	1	2	2	1	20
12	1	3	1	1	1	2	2	1	1	2	1	3	2	1	1	3	1	1	2	28

10) Lexique

- **Système**
- **Ensemble**
- **Holisme**
- **Organisation**
- **Téléonomie**
- **Téléologie**
- **Diachronique / synchronique**
- **Autopoïèse**
- **Dialectique**
- **Dialogique**
- **Récursion**
- **Rétroaction (feedback)**
- **Hologrammatique**

10-1) Organisation

Organisation (La Méthode – Edgar Morin)

- **Manière dont les différents organes ou parties d'un système complexe (société, être vivant, écosystème...) sont structurés, agencés**
- **L'organisation :**
 - **Produit des qualités inconnues au niveau des composants ou individus d'un système.**
 - **Lie de façon interrelationnelle des éléments ou événements ou individus divers qui dès lors deviennent les composants d'un tout.**
 - **Assure au système une certaine possibilité de durée en dépit de perturbations aléatoires.**
 - **Donc : transforme, produit, relie, maintient.**

⇒ L'organisation, la chose organisée, le produit de cette organisation et l'organisant sont inséparables

10-2) Principe dialogique

D'après E. Morin

- **Le principe dialogique unit deux principes ou notions antagonistes, qui apparemment devraient se repousser l'un l'autre, mais qui sont indissociables et indispensables pour comprendre une même réalité.**
- **Le physicien Niels Bohr a reconnu la nécessité de penser les particules physiques à la fois comme corpuscules et comme ondes.**
- **Blaise Pascal avait dit : «Le contraire d'une vérité n'est pas l'erreur, mais une vérité contraire» ; Bohr le traduit à sa façon : «Le contraire d'une vérité triviale est une erreur stupide, mais le contraire d'une vérité profonde est toujours une autre vérité profonde.»**
- **Le problème est d'unir des notions antagonistes pour penser les processus organisateurs et créateurs dans le monde complexe de la vie et de l'histoire humaine...**

10-3) Principe de récursion organisationnelle

- **Principe de récursion organisationnelle** (E. Morin)
 - Dépasse la notion de régulation par rétroaction (feedback) pour celle d'autoproduction et auto-organisation.
 - **Boucle génératrice dans laquelle les produits et les effets sont eux-mêmes producteurs et causateurs de ce qui les produit.**
 - Ainsi, nous individus, sommes les produits d'un système de reproduction issu du fond des âges, mais ce système ne peut se reproduire que si nous-mêmes en devenons les producteurs en nous accouplant.
 - Les individus humains produisent la société dans et par leurs interactions, mais la société, en tant que tout émergent, produit l'humanité de ces individus en leur apportant le langage et la culture.
- 9-4) Téléologie

10-4) Téléologie

Téléologie (d'après wikipedia.org)

- **Étude philosophique des objectifs et de la finalité des systèmes naturels ou créés par l'homme.**
 - **Étude philosophique de l'évolution et de la finalité des écosystèmes (biologiques, végétaux, animaux ou sociaux)**
 - **Étude philosophique et sociologique de l'évolution et de la finalité du réseau social de l'Internet**
- **Explication du comportement d'un système par sa finalité**
 - **La théorie du “gène égoïste” pour expliquer le comportement des espèces dans un écosystème**
 - **Rejet d'une hypothèse scientifique par la fameuse phrase « Dieu ne joue pas aux dés »**
- **Doctrine qui affirme que tout a été conçu par Dieu**

9-5) Téléonomie

- **Téléonomie (d'après Jacques Monod, Henri Atlan, wikipedia.org)**
 - La **téléonomie** est l'étude de la finalité apparente d'un système qui est **« construite » inconsciemment** de bas en haut par ses acteurs ou agents.
 - Un système téléonomique ne fonctionne pas en vertu de causes finales alors qu'il en donne l'impression. Son fonctionnement est piloté par :
 - Les interactions et rétroactions de ses agents entre eux et avec leur environnement
 - Les règles de comportement des agents en fonction des stimuli transmis par les interactions. Ces règles évoluent sous l'effet de ces stimuli.
 - La téléonomie a été promue par le biologiste **Jacques Monod** de préférence à la téléologie ou au finalisme au sujet de la finalité apparente des systèmes complexes, particulièrement des systèmes complexes adaptatifs.
 - La théorie de la **« main invisible »** d'Adam Smith relève de la téléonomie :
 - Chaque agent économique agit dans son propre intérêt.
 - Le résultat final apparent est le bien collectif.
 - Dans le langage des sciences de la complexité les finalités apparentes ou trajectoire d'évolution des systèmes complexes sont exprimées en termes d'**attracteurs**, de bassin d'attraction, de bifurcation, de point de basculement.

10-5) Téléonomie (suite)

- La théorie de la « **main invisible** » d'Adam Smith relève de la téléonomie :
 - Chaque agent économique agit dans son propre intérêt.
 - Le résultat final apparent est le bien collectif.
- Dans le langage des sciences de la complexité les finalités apparentes ou trajectoire d'évolution des systèmes complexes sont exprimées en termes de :
 - **attracteurs**,
 - bassin d'attraction,
 - bifurcation,
 - point de basculement.
- Le domaine de la téléologie est un sous-ensemble de la téléonomie

10-6) Système

- Un système est constitué d'éléments, réels ou abstraits, **en interaction**, qui forment un tout intégré.
- Le mot a été promu à partir de 1950 par le biologiste théoricien L. Von Bertalanffy pour rendre compte dans le même langage :
 - des systèmes artificiels (ou mécaniques) fermés disait-il
 - des systèmes naturels (biologiques ou ouverts) qui communiquent avec l'extérieur.
- Un système est défini en précisant :
 - Les éléments à l'intérieur du système
 - Les éléments à l'extérieur du système (frontière)
 - Les relations entre les éléments
- On le présente aisément sous sa forme canonique : représenter un phénomène perçu complexe en posant les 4 questions inséparables :
 - il fait quoi ? - dans quoi ? - pour quoi ? - devenant quoi ?
 - autrement dit en interrogeant les interrelations qui le constituent

10-7) Vie artificielle

- La vie artificielle est une création de l'homme inspirée de l'étude des systèmes vivants sous les formes de programmes informatiques, de robots...
- Jusqu'à présent les tentatives de création *de vies artificielle biologiques ont échoué*
- J. Doyne Farmer propose en 1990 une liste de critères pour déterminer si un système est vivant ou non :
 - La vie est une structure dans l'espace-temps, plutôt qu'un objet matériel spécifique.
 - La vie implique un mécanisme d'autoreproduction.
 - Un être vivant comprend une description de lui-même qu'il utilise pour se reproduire.
 - Une être vivant possède un métabolisme qui convertit la matière ou l'énergie de l'environnement dans les formes et les fonctions utiles à l'organisme.
 - Une être vivant interagit fonctionnellement avec son environnement.
 - Un être vivant est composé d'un ensemble de structures interdépendantes qui constituent son identité.
 - Une forme vivante reste stable malgré les perturbations dues à l'environnement.
 - Les être vivants ont une capacité d'évolution au niveau des générations successives de l'espèce.











