

Zeitschrift: Revue Militaire Suisse
Herausgeber: Association de la Revue Militaire Suisse
Band: - (2017)
Heft: 5

Artikel: Introduction aux approches en systèmes (1/2) : la théorie des systèmes
Autor: Chambaz, Grégoire
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-781600>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 29.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

L'approche systémique Représentation d'un système

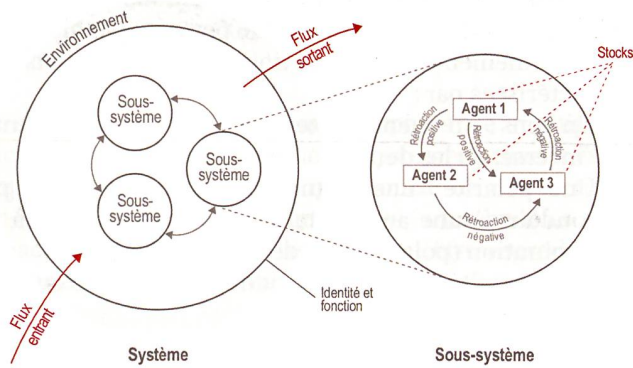


Illustration de l'approche systémique par la représentation d'un système, des sous-systèmes le composant, et des éléments structurants qu'une modélisation doit mettre à jour.

Source : D'après Jean-Louis Le Moigne, *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod (Sciences humaines), Paris, 1990, 192 p.
Réalisation : Grégoire Chambaz | License Creative Commons BY-NC (cc) (i) (s)

Systémique

Introduction aux approches en systèmes (1/2) : La théorie des systèmes

Cap Grégoire Chambaz

Rédacteur adjoint RMS+

Le monde contemporain est en constante mutation. Trois facteurs en particulier le caractérisent : la mondialisation, à savoir l'accroissement des échanges commerciaux et d'information et des déplacements de personnes ; l'urbanisation, concentrant les populations humaines dans des zones urbaines de plus en plus denses et réduisant les surfaces arables ; et le changement climatique, produit des impacts combinés de la mondialisation et de l'urbanisation sur l'environnement terrestre.

Les effets de ces facteurs sont caractérisés par des phénomènes de non-linéarité (croissance et régression exponentielles) et d'émergence (le produit des parties dépasse la somme de ces dernières). De manière générale, leur évolution est plus chaotique. C'est-à-dire qu'elle est volatile, incertaine, complexe et ambiguë (VICA¹). Ils marquent la rupture avec l'ère préindustrielle, principalement caractérisée par la linéarité (régularité) et la stabilité. A ce titre, la majorité des indicateurs de la civilisation industrielle et des variables environnementales connaît une progression exponentielle, décrite par comme une « grande accélération. »²

La conséquence des mutations contemporaines est un fort accroissement des vulnérabilités des sociétés modernes. Tout d'abord, en raison de la multiplication

des interconnexions entre les différents systèmes et acteurs de nos sociétés – augmentant la complexité de l'ensemble – et ainsi la puissance de propagation des chocs. Ensuite, les systèmes d'approvisionnement en flux tendu accentuent l'exposition aux perturbations, n'ayant pas de « tampon » absorbant les perturbations. De ce fait, un choc localisé peut muter en une cascade de crises et déboucher sur une catastrophe régionale, voire mondiale.

Les inondations en Thaïlande de 2011 illustrent cette vulnérabilité. Celles-ci provoquent la fermeture des usines de produits électroniques, entraînant une rupture de production de disques durs (deux tiers de la production mondiale). Le prix des disques durs triple en moins d'une semaine, créant une crise électronique globale. Face à de telles évolutions et au risque de rupture de paradigme, les modes d'appréhension du monde (aujourd'hui linéaires) doivent évoluer. Avec la mondialisation des enjeux, échanges et impacts, il est nécessaire de réfléchir à l'échelle macro et micro en parallèle. Dans cette perspective, les approches en systèmes présentent cadre théorique adapté pour appréhender ce monde incertain.

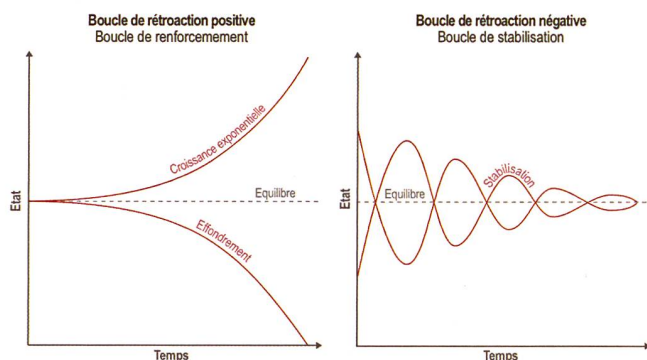
Les approches en systèmes

Le recours aux approches systémiques constitue une grille d'analyse pertinente des sociétés modernes. Ces approches impliquent de refuser une lecture simpliste (unidisciplinaire), voire idéologique de la réalité. À l'inverse, le but de ces approches est de mettre à jour les facteurs structurants de la réalité et leurs dynamiques propres. Elles cherchent à identifier les relations entre les différents éléments d'un tout (telles que les chaînes de cause à effet), même lorsque celles-ci ne sont pas immédiatement apparentes.

De plus, ces approches proposent de modéliser le « réel », à savoir schématiser une partie de celui-ci afin de mettre en lumière les éléments échappant à une analyse linéaire. Il est possible de modéliser autant la matière,

1 VICA: acronyme inventé dans les années 1990 par l'armée américaine en définissant quatre caractéristiques par rapport à un événement : la volatilité (« la nature et la dynamique du changement (amplitude, force et vitesse du changement) », l'incertitude (« le degré d'imprévisibilité inhérent à une situation ou événement »), la complexité (« le degré de dépendances et d'interactions entre facteurs multiples »), l'ambiguïté (« le degré de diversité d'interprétations que l'on peut faire sur la base des informations disponibles »). Philippe Vallat, « Sommes-nous aptes à gérer un monde volatile, incertain, complexe et ambigu (VICA), » *Military Power Revue der Schweizer Armee*, 2/2014.

2 Ce concernant, voir W. Steffen et al., « The Trajectory of the Anthropocene: the great Acceleration, » *The Anthropocene Review*, 2015. Deux graphiques (en français) sont consultables dans l'article suivant : Grégoire Chambaz, *Introduction à la collapsologie : Déclin ou effondrement ?*, Adrastia, 7 avril 2017.



Source : D'après Peter M. Senge et Alain Gauthier, *La Cinquième Discipline, L'art et la manière des organisations qui apprennent*, First, Paris, 1991, 462 p. Réalisation Grégoire Chambaz | License Creative Commons BY-NC © ① ② ③

Représentation visuelle des deux types de boucles de rétroaction :
Positive à droite, négative à gauche (respectivement de renforcement et de stabilisation).

le vivant que les interactions entre les systèmes vivants et inertes. A ce titre, ces approches invitent à la mise en perspective des enjeux énergétiques, climatiques, alimentaires, économiques, démographiques, sociaux, etc. de la civilisation industrielle. Dans ce sens, ce dossier propose une introduction à deux des principales approches systémiques, la théorie des systèmes et la pensée complexe – à savoir des outils et de la posture nécessaire à l'appréhension de ces dynamiques.

Notions et définitions de base d'un système

Agent

Un agent peut être un élément physique, vivant, social, intellectuel ou une combinaison de ces caractéristiques. Tout agent a des règles de comportement qui définissent la nature des interactions qu'il entretient avec d'autres agents. Ces règles peuvent évoluer en fonction des circonstances. Par exemple, les interactions d'un atome d'hydrogène avec d'autres molécules changent en fonction de la pression et de la température.

Système

Un système est un tout défini par la fonction qu'il exerce au sein d'un plus grand système auquel il appartient. Un système est constitué d'un ensemble d'agents interconnectés. Il est caractérisé par sa fonction (ou son but), ses limites et ses propriétés. Une propriété essentielle d'un système est qu'il ne peut pas être divisé en parties indépendantes. Plusieurs sous-systèmes peuvent composer un système plus vaste. À titre d'illustration, le système « corps humain » est notamment constitué des sous-systèmes circulatoires, respiratoires, nerveux, etc.

La compréhension des interactions entre les différents agents d'un système permet d'analyser son fonctionnement et sa fonction. Ces interactions sont caractérisées par :

- Un sens: un agent A exerce un effet sur un agent B, l'inverse, ou les deux;
- Une polarité: une augmentation de l'agent C peut conduire à une augmentation (polarité +/+) ou à une diminution (polarité +/-) de l'agent D;
- Une intensité: un agent E agit de manière plus ou moins forte sur un agent F;
- Et un effet dans le temps: un agent G affecte immédiatement ou avec retard un agent H.

Système complexe

Un système « complexe » est formé d'agents dont les interactions font apparaître des « propriétés émergentes. » Celles-ci découlent des propriétés des agents du système, mais ne sont pas réductibles à leur simple somme. Ces propriétés présentent une configuration spécifique qui caractérise les fonctions du système. Pour un observateur, elles peuvent surprendre ou donner l'impression d'échapper à toute logique. En outre, l'analyse (isolée) des agents ne permet pas de prédire le comportement global du système.

Boucles de rétroaction

La dynamique des systèmes complexes est caractérisée par des « boucles de rétroaction, » agissant sur la structure interne et les fonctions d'un système. Elles constituent une des caractéristiques fondamentales des systèmes complexes, dont elles conditionnent la dynamique et l'équilibre. Ce sont des processus par lesquels un agent est affecté par un effet qu'il a émis, à travers une chaîne de cause à effets impliquant d'autres agents. Leur nature est double, c'est-à-dire qu'elles peuvent avoir des effets :

- Soit de renforcement: elles renforcent les interactions ou les agents sur lesquels elles agissent. On les nomme aussi positives. Elles mènent à terme les systèmes à la croissance exponentielle ou à l'effondrement. La diffusion de la panique est une illustration d'une boucle de renforcement : une personne cédant à la panique peut provoquer la déstabilisation d'autres, voire les pousser à paniquer. À leur tour, d'autres personnes se mettent à paniquer jusqu'à provoquer la panique dans une foule entière ;
- Soit de régulation ou compensation: elles diminuent la force de l'interaction ou des agents auxquels elles sont reliées. Elles sont aussi appelées négatives. Elles conduisent à la stabilité des systèmes, parfois dans une dynamique oscillant de manière croissante vers l'équilibre. Un exemple parlant est l'homéostasie, c'est-à-dire le processus de régulation de la température

Exemples de systèmes complexes		
Agents	Interactions	Propriétés émergentes
Véhicule, routes	Vitesse, nombre	Embouteillage, accidents
Êtres humains	Parole, vue, toucher, odorat	Sociétés humaines
Aliments, épices, chaleur, humain	Réactions chimiques, changement de taille, pression et température	Cuisine / gastronomie

corporelle. En fonction du contexte, plusieurs sous-processus sont activés et ainsi, la température corporelle est maintenue à 36,7° C.

Les systèmes complexes sont composés de multiples boucles de rétroaction. Comme les systèmes peuvent être composés de sous-systèmes, une boucle de rétroaction peut être le résultat de multiples sous-boucles de rétroaction. Ce découpage vertical peut être reproduit à chaque complexification du système.

Stocks et flux

Les systèmes – en particulier physiques – sont composés de stocks: ce sont des agents qu'on peut compter et mesurer. Pratiquement, les stocks sont constitués par une quantité ou une accumulation de matériel ou d'information sur une période donnée, généralement importante. Ils peuvent s'accroître, décroître ou rester stables dans le temps. Les changements de quantités sont dus aux flux.

Les flux représentent des quantités d'énergie, de matière ou d'information qui s'ajoutent ou se soustraient aux stocks. Pour maintenir la stabilité d'un système, les flux entrants et sortants doivent être à l'équilibre. Par exemple, le système climatique est actuellement en déséquilibre, notamment parce que les flux entrants comme le CO₂ et d'autres gaz à effets de serre sont trop importants pour être absorbés par l'ensemble du système.

Effet retard

L'effet retard est une caractéristique souvent mal ou peu comprise, car difficile à percevoir avec nos sens: il s'agit du temps de latence entre la cause et l'effet. Pratiquement, une action dans un système peut avoir une conséquence observable seulement après un délai plus ou moins long. L'effet retard rend difficile l'établissement *a posteriori* des liens de cause à effet. Un exemple d'effet retard est le cas du réchauffement climatique: les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) participent immédiatement à la hausse des températures de l'atmosphère terrestre, mais avec une faible intensité. Il faut attendre 40 ans³ pour que les émissions dégagent la majorité de leurs effets, une caractéristique de l'effet retard.

Système adaptatif complexe

Un «système adaptatif complexe» (SAC) désigne un système capable de s'adapter à son environnement. Dans un SAC, les rétroactions ne changent généralement pas l'équilibre général du système, qui préserve ainsi sa fonction et son identité. Un SAC est caractérisé par les propriétés suivantes:

- La non-linéarité: le système évolue en tendances exponentielles ou brusques;
- L'émergence: le comportement et la fonction du système sont déterminés par les interactions entre les agents le constituant et ne s'expliquent pas par la simple compréhension des agents pris isolément;

³ En moyenne 37,5 ans pour que 60 % des émissions aient produit un réchauffement, avec une limite basse de 25 ans et haute de 50 ans. Voir James Hansen et al., «Earth's Energy Imbalance: Confirmation and Implications», *Science*, vol. 308, n° 5727, juin 2005, pp. 1431-1435.

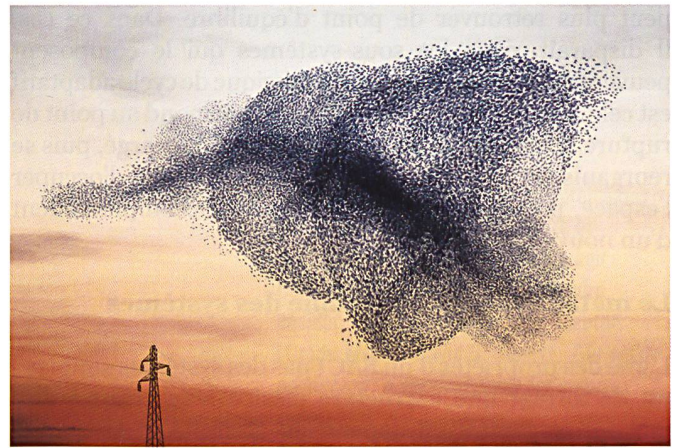


Illustration d'un système adaptatif complexe: une murmuration (un regroupement ou une formation importante d'oiseaux en vol). Les oiseaux suivent des règles simples (distance relative, positionnement); l'ensemble des interactions entre eux crée des structures qui sont efficaces pour l'économie d'énergie en vol, la protection contre les prédateurs et la recherche de nourriture.

- L'adaptation: la capacité du système à évoluer en fonction et à maintenir une forme d'équilibre en contexte de flux inhabituels;
- L'incertitude: la multiplicité des trajectoires d'évolution et l'impossibilité de les voir toutes comme de déterminer l'ensemble des points de basculement;
- La coévolution: l'évolution conjointe du système et des systèmes lui étant associés.

En guise de résumé, Jean-Louis Le Moigne propose cette définition d'un système adaptatif complexe: «*Quelque chose (n'importe quoi), qui poursuit des finalités (un projet), dans un environnement actif et évolutif, en exerçant une activité (des fonctions), en s'organisant (interactions) et en évoluant sans perdre son identité.*»

Le cycle adaptatif

Tout système est soumis à des pressions internes (des agents ou des sous-systèmes) et externes (modifications des flux). Il peut arriver qu'une boucle de rétroaction positive (renforcement) provoque le dépassement de certains seuils, appelés des «points de basculement.» Dans ce cas, la nature et la fonction du système changent. Le système passe à travers plusieurs phases lors desquelles il absorbe les perturbations externes, puis s'adapte et se réorganise en conséquence.

Ce processus est appelé le cycle adaptatif. Quatre phases caractérisent ce processus: tout d'abord la croissance rapide du système (croissance), puis une période de stabilité (conservation). La survenue d'une rupture peut déséquilibrer le système qui s'effondre alors momentanément et peut perdre certaines fonctions (décharge). Enfin, le système peut se reconstruire (réorganisation), anticipant une nouvelle croissance du tout. De ce fait, le cycle adaptatif peut être perçu comme un cycle.

Les passages de seuils peuvent rendre le système instable et provoquer son effondrement définitif lorsqu'il ne

peut plus retrouver de point d'équilibre. Dans ce cas, il disparaît, mais les sous-systèmes qui le composent peuvent perdurer. Un exemple classique de cycle adaptatif est celui des forêts : un feu de forêt correspond au point de rupture, à la suite duquel le système est déchargé, puis se réorganise en permettant à d'autres végétaux d'occuper l'espace, pour ensuite croître jusqu'à l'accomplissement d'un nouveau cycle.

Le métabolisme énergétique des systèmes

L'une des propriétés d'un SAC (pas des systèmes simples) est de former une « structure dissipative » : c'est-à-dire que son organisation dépend de quantité et la qualité (stabilité) d'un flux énergétique qui le traverse. Ainsi, le maintien de l'organisation d'un tel système nécessite un apport constant d'énergie (extraction, transformation, stockage et consommation). Le processus dissipatif transforme de l'énergie de haute qualité en énergie de basse qualité (énergie électrique, mécanique, thermique, etc.). Finalement, l'énergie est dégradée et dissipée dans l'environnement sous forme de chaleur. Deux types de structures dissipatives existent : les actives (pouvant se mouvoir et s'adapter à leur environnement) et les passives (dépendant des flux d'énergie disponibles dans leur environnement).

Le processus dissipatif peut être illustré grâce au pétrole consommé par nos sociétés. Après extraction et raffinage, celui-ci est un condensé d'énergie de haute qualité, au stockage et au transport aisé. Sa combustion produit de l'énergie de basse qualité, sous la forme d'énergie mécanique ou électrique, difficile à stocker et à transporter. En bout de chaîne, cette énergie de basse qualité est dissipée sous forme de chaleur.

Pour que l'équilibre d'un système se maintienne, l'énergie doit être captée dans son environnement et non pas au sein du système. En effet, l'extraction d'énergie à l'intérieur du système (le catabolisme) dégrade les agents du système. Pendant une période limitée, ce processus peut fournir de l'énergie. Cependant, dans un système aux ressources finies, les boucles de rétroaction positive occasionnées vont à terme provoquer le franchissement de points de basculement, exposant le système en risque de rupture. Le cas de la privation de nourriture est une illustration pertinente : l'énergie est alors captée dans les cellules de l'organisme jusqu'au franchissement de l'ultime point de basculement : la mort.

Les SAC s'auto-organisent de manière à maximiser la dissipation de l'énergie. Cela a notamment pour conséquence d'affecter en profondeur l'environnement dans lequel les SAC évoluent. À titre d'exemple, le règne végétal est une structure dissipative organisée de manière à extraire un maximum d'énergie du rayonnement solaire, dans le but de créer un optimum de vie organique.

En situation de flux énergétiques réduits, voire interrompus, le point d'équilibre d'un système devient instable. Le système est alors confronté à deux cas

de figure : soit une source d'énergie alternative est accessible, soit il s'adapte à des flux d'énergie diminués. Cette deuxième option signifie sa réorganisation interne, aboutissant à un nouvel équilibre. Si aucune des deux options n'est atteignable, le système risque à terme l'effondrement.

Les SAC s'auto-organisent de manière à maximiser la dissipation de l'énergie. Cela a notamment pour conséquence d'affecter en profondeur l'environnement dans lequel les SAC évoluent. À titre d'exemple, le règne végétal est une structure dissipative organisée de manière à extraire un maximum d'énergie du rayonnement solaire, dans le but de créer un optimum de vie organique.

À ce titre, les SAC actifs ne sont pas égaux : ceux qui dissiperaient le plus d'énergie sont également ceux qui parviendraient à développer les capacités d'adaptation les plus performantes. Il existe une corrélation entre la complexité d'un SAC,⁴ dissipation d'énergie et donc d'adaptation. Dans ce sens, la compétition entre structures dissipatives peut décrire la sélection naturelle : en situation de flux énergétiques abondants, les structures les plus complexes l'emportent sur les moins complexes. L'exemple des sociétés industrielles (complexes) dominant les sociétés primitives (moins complexes) est parlant.

G.C.

L'auteur adresse ses remerciements au col Philippe Vallat pour sa relecture détaillée et ses considérables propositions ; au cap Mavrik Grangier pour sa relecture et ses propositions percutantes.

Bibliographie indicative

Peter M. Senge et Alain Gauthier, *La Cinquième Discipline, L'art et la manière des organisations qui apprennent*, First, Paris, 1991, 462 p.
Jean-Louis Le Moigne, *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod (Sciences humaines), Paris, 1990, 192 p.

Judith Rodin, *The Resilience Dividend, Managing Disruption, Avoiding Disaster, And Growing Stronger in an Unpredictable World*, Profile Books, London, 2015, 384 p.

Georges Lepicard, *Théorie des systèmes complexes*, Groupe Emergence, 14 p. Disponible sur : http://www.mountvernon.fr/Contributions_Emergence/09042_theorie_systemes_complexes.pdf

4 C'est-à-dire la maximisation des liens entre différents agents et sous-systèmes.