

Nouvelles perspectives en sciences sociales



La pensée systémique analysée à l'aune de l'entropie Systemic Thinking Analyzed in Terms of Entropy

Marcienne Martin

Volume 11, numéro 2, mai 2016

Sur le thème : complexité et relation

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1037103ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/1037103ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Résumé de l'article

Le courant de pensée appelé « pensée systémique » est en relation avec la complexité des structures qui sous-tendent toute organisation. En effet, cette approche cognitive de l'approche des objets du monde peut être abordée de multiples façons et ainsi générer des visions différentes de la réalité. La pensée systémique peut-elle intégrer l'entropie comme phénomène participant de la négentropie dans le cadre d'une approche scalaire plus globale ?

Éditeur(s)

Prise de parole

ISSN

1712-8307 (imprimé)

1918-7475 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Martin, M. (2016). La pensée systémique analysée à l'aune de l'entropie. *Nouvelles perspectives en sciences sociales*, 11(2), 81–104. <https://doi.org/10.7202/1037103ar>

Tous droits réservés © Prise de parole, 2016

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter en ligne.

<https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/>

érudit

Cet article est diffusé et préservé par Érudit.

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche.

<https://www.erudit.org/fr/>

La pensée systémique analysée à l'aune de l'entropie

MARCIENNE MARTIN

Laboratoire ORACLE,
Université de l'île de la Réunion

1. Introduction

De la naissance de l'univers à sa conscientisation par l'*homo sapiens*, moult évènements transformationnels en ont émaillé le déroulement. La structure de la matière organique, qui est à l'origine du monde du vivant, est née de la combinaison de différents atomes; ces derniers ne doivent leur organisation qu'au refroidissement progressif de l'univers accompagné de son expansion¹. L'inscription des objets du monde dans cet univers quadridimensionnel ouvre sur nombre d'interrogations. Le facteur « temps » en est l'élément majeur puisqu'il préside à la transformation de tout *substratum*, sous-tendant tel système donné.

La naissance du langage chez l'être humain a permis, à ce dernier, la mise en place de différentes approches cognitives lui ouvrant la possibilité de comprendre la nature intrinsèque des objets formant le monde, mais aussi de s'interroger sur la nature de la pensée, dont la conscience est l'émanation la plus visible. Au langage, comme moyen de transmission, quel que soit l'outil

¹ Edgard Gunzig, *Que faisiez-vous avant le Big Bang?*, Paris, Odile Jacob, 2011.

utilisé, la pensée s'appuie sur des phénomènes complexes. Comprendre les objets du monde induit différentes formes de raisonnement comme le raisonnement logique de type inductif, soit un fait passant du particulier au général et faisant loi ou, encore, le raisonnement logique de type déductif, soit le passage de la loi ou de la règle au fait observé. Quant à la procédure cognitive liée au raisonnement analogique, elle met en relation un objet donné inconnu, ou dont certains paramètres sont incompréhensibles, avec quelque chose de connu, et ayant quelque ressemblance, du moins à travers la représentation qu'en a l'observateur. Les processus cognitifs engagés sont à l'origine de modes de pensée qui vont de l'observation du réel, à sa représentation, ainsi qu'à sa conceptualisation.

Les découvertes récentes en relation avec la cosmologie (énergie noire, matière noire) et la physique quantique ont modifié le regard que l'homme porte à son environnement. Voici quelques références pour appuyer mon approche. Ainsi, des astrophysiciens comme Hubert Reeves ont ouvert le champ exploratoire de l'astrophysique à un lectorat beaucoup plus large, dans le cadre de la publication d'ouvrages de vulgarisation. Dans un de ceux-ci, dédié à la complexité de l'univers, et à la possibilité de l'existence d'autres biotopes hors celui de la Terre, cet auteur précise :

Partout, nous voyons les nappes de matière interstellaire se fragmenter pour donner naissance à des étoiles plus ou moins semblables. Dans chacune de ces étoiles, des particules s'associent pour fabriquer successivement les mêmes atomes. Ce mouvement semble universel. Il n'est pas déraisonnable de supposer qu'il se poursuit d'une façon analogue aux niveaux supérieurs de la complexité, là où nous rencontrons les plantes et les animaux².

Le courant de pensée appelé « pensée systémique » est en relation avec la complexité des structures qui sous-tendent toute organisation. En effet, cette approche cognitive de l'approche des objets du monde, que ce soit en tant qu'observateur ou en tant qu'acteur, montre que, quelle que soit la forme du système, lesdits objets recouvrent des champs comme celui de la famille, de la

² Hubert Reeves, *Sommes-nous seuls dans l'univers*, Paris, Fayard, 2000, p. 278.

société, de l'économie, etc.; ce phénomène peut être abordé de multiples façons et ainsi générer des visions différentes de la réalité. Ainsi que le mentionne Paul Watzlawick : « De toutes les illusions, la plus périlleuse consiste à penser qu'il n'existe qu'une seule réalité. En fait, ce qui existe, ce sont différentes versions de la réalité, dont certaines peuvent être contradictoires, et qui sont toutes l'effet de la communication et non le reflet de vérités objectives et éternelles³ ».

Dans un ouvrage dédié à la pensée complexe, Edgar Morin exemplifie ce phénomène en référant à Bachelard :

Pourtant, le philosophe des sciences, Bachelard, avait découvert que le simple n'existe pas : il n'y a que du simplifié. La science construit l'objet en l'extrayant de son environnement complexe pour le mettre dans des situations expérimentales non complexes. La science n'est pas l'étude de l'univers simple, c'est une simplification heuristique nécessaire pour dégager certaines propriétés, voire certaines lois⁴.

Par ailleurs, le vecteur « temps » étant posé comme facteur incontournable de notre univers entraîne une transformation permanente de tout objet ou de tout système; nous pourrions poser alors que tout phénomène complexe est retranscrit sous la forme d'un modèle dynamique. Ceci posé, un autre facteur est intervenu dans le mode de pensée de l'être humain, il s'agit d'une approche scalaire du paradigme du Réel. En effet, l'observation d'une structure à une échelle donnée, et à une seule, ne permet pas d'avoir une vision globale de son fonctionnement. La pensée systémique est en relation avec ce phénomène.

Tout système en corrélation avec le facteur « temps » passe de l'entropie à la négentropie, et *vice versa*. Ceci est à l'origine de la transformation des unités composant le monde du vivant. La naissance comme la mort de toute unité du vivant correspond à une transformation des éléments le composant et, ceci, afin de perpétuer l'espèce dans le temps, mais aussi de la transformer en fonction des paramètres environnementaux. Erwin Schrödinger a ainsi mis en relation entropie, échanges énergétiques, proba-

³ Paul Watzlawick, *La réalité de la réalité*, Paris, Seuil, 1978, p. 7.

⁴ Edgar Morin, *Introduction à la pensée complexe*, Paris, ESF éditeur, 1990, p. 7.

bilité et ordre de la vie⁵. Jacques Monod⁶ évoque l'apparition de la vie et, implicitement, de l'homme comme pur hasard. Ilya Prigogine réévalue le questionnement sur la nature du monde du vivant, et donc de l'homme, à partir des grandes lois de la physique comme celles de la thermodynamique, dont le premier principe affirme la conservation de l'énergie par tous les systèmes et dont le second principe (principe d'ordre de Boltzmann) pose qu'un système isolé évolue spontanément vers un état d'équilibre qui correspond à l'entropie maximale. Nombre d'interrogations émergent de cette réflexion relative à la pensée systémique. Peut-on alors considérer le chaos comme délitement ou comme transformation? Dans quelle mesure la pensée systémique peut-elle intégrer l'entropie comme phénomène participant de la néguentropie dans le cadre d'une approche scalaire plus globale, c'est-à-dire qui prend en compte des objets participants du système, puisqu'en fonction de l'échelle à laquelle ledit système est abordé, ils peuvent y être intégrés ou pas? Ainsi la méconnaissance du système solaire avait été à l'origine du géocentrisme.

Aborder, puis comprendre le fonctionnement des objets du monde à travers la pensée systémique est un mode de fonctionnement qui fait appel à des filtres fort divers, puisque les composants formant notre univers se déclinent de façon variée et peuvent intégrer différents systèmes. Dans cet article, il sera donc abordé, dans le cadre d'une approche de type scalaire, l'organisation des objets du monde à partir de l'entropie et de la néguentropie, éléments en relation directe avec la théorie du Big Bang, ce qui renvoie à la naissance de notre univers et, en aval, à l'existence du monde du vivant sur la planète Terre. Cependant, des invariants comme la génétique en forment également le soubassement, ce qui ouvrira sur une petite étude à travers différents paramètres dont la périodicité ou l'apériodicité des événements, le facteur temps ainsi que les éléments majeurs qui structurent

⁵ Erwin Schrödinger, *Space-Time Structure*, Cambridge, Cambridge University Press, 1985 [1950].

⁶ Jacques Monod, *Le hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, Paris, Seuil, coll. « Points », 2014 [1970].

une organisation et qui seront appelés « clefs de voûte ». Nous terminerons par le langage, mode de décryptage des objets du monde chez l'être humain.

2. Niveau scalaire et entropie

Quand nous convoquons le phénomène d'entropie, nous faisons référence à la disparition de structures existantes et considérées comme faisant partie des objets du monde. Si l'univers a longtemps été perçu comme objet statique, et les phénomènes destructeurs tels que les guerres, les épidémies ou encore les catastrophes naturelles comme des événements dépendant de forces supérieures, inconnues et incontrôlables, les avancées scientifiques actuelles ont démontré que tous les objets du monde sont liés. « Il apparaît donc que le terme catastrophe a d'abord appartenu à un paradigme "exoanthropique"⁷ au sein duquel des forces obscures étaient à l'origine des fléaux s'abattant sur l'humanité⁸ ». L'organisation de type réticulaire autour de laquelle l'univers est ordonné réfère au concept de réseau, ce qui renvoie au sens de : « Ensemble de lignes qui s'entrecroisent plus ou moins régulièrement⁹ ». En ce qui concerne le biotope appelé « Terre », les liens qui relient chacune des unités du vivant participent d'un fait réticulaire, même si certains réseaux semblent *a priori* fortement éloignés, comme le monde végétal et le monde animal, or chacun a besoin de l'autre dans le cadre de la survie et de la perpétuation des espèces telle la photosynthèse qui permet la transformation du gaz carbonique émis par le monde animal en oxygène par le biais du monde végétal. Par ailleurs, quel que soit le type de réseau, certains éléments en formant le soubassement auront un rôle beaucoup plus important à un moment T, et leur disparition

⁷ Ce terme renvoie à un objet considéré comme n'appartenant pas à l'univers de l'être humain, même s'il fait partie de son environnement : exo = du grec ancien ἔξω, éxo (« hors de ») et anthropique, dérivé de l'élément formant : -anthrope tiré du grec ἀνθρώπος et désignant l'homme en général (<http://www.cnrtl.fr/definition/-anthrope>, site consulté le 14 mars 2016).

⁸ Marcienne Martin, « De la fatalité aux cindyniques, l'évolution paradigmatique du terme "catastrophe" », *Seria Filologie. A. Lingvistică, Analele Universității « Stefan cel Mare »*, Tomul XV, nr. 2, 2011, [2009], p. 16-27.

⁹ <http://www.cnrtl.fr/definition/r%C3%A9seau>, site consulté le 14 mars 2016.

pourrait entraîner le délitement dudit réseau. D'un point de vue métaphorique, ce rôle pourrait être considéré comme une sorte de clef de voûte. En effet, dans le domaine de l'architecture, la clef de voûte est une pierre « taillée en coin (claveau) mise en place la dernière au centre d'un arc plein-cintre qu'elle vient fermer en maintenant à elle seule l'équilibre de toute la construction¹⁰ ». Tout objet du monde peut devenir la clef de voûte de tel système. Par exemple, la disparition de l'abeille domestique, *Apis mellifera*, un insecte appartenant à l'ordre des hyménoptères, pourrait entraîner la disparition de certaines plantes à cause de leur non-pollinisation, ce qui aurait des conséquences graves sur certaines espèces animales. Ici, la clef de voûte est l'abeille corrélée à sa disparition. Ce même phénomène inscrit dans le cadre d'une autre approche comme l'expansion de l'univers ou la fabrication des automobiles ne jouerait plus le rôle dit « de clef de voûte ».

La structure réticulaire est fondée sur la base d'un ensemble d'objets en relation les uns avec les autres et dont la modification d'un seul d'entre eux peut entraîner celle de l'ensemble. Que ce soit au niveau de leur macrostructure ou de leur microstructure, nombre de chercheurs ont posé que les objets du monde pouvaient passer d'un état nommé « entropie » à celui désigné « néguentropie », et réciproquement. La théorie du chaos découverte par le météorologue et mathématicien Edward Norton Lorenz et présentée par James Gleick est née de ce constat. Ainsi que le mentionne Edward Norton Lorenz : « [...] j'ai réalisé que tout système physique ayant un comportement non périodique était imprévisible¹¹ » (voir le tableau 1).

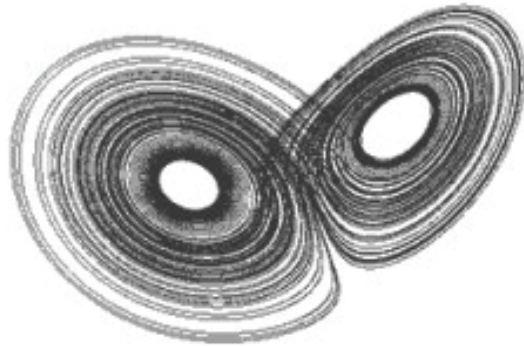
Tableau 1. Les phénomènes de prédictibilité et d'imprédictibilité dans le cadre du monde du vivant	
Phénomène périodique :	Phénomène apériodique :
Il est lié aux différents génomes du monde du vivant = prédictibilité.	Il est lié à l'adaptabilité ad infinitum du monde du vivant = imprédictibilité.

¹⁰ <http://www.cnrtl.fr/definition/clef>, site consulté le 25 mai 2015.

¹¹ Cité dans James Gleick, *La théorie du chaos*, Paris, Flammarion, 1991.

Ce qui renvoie au fait qu'un évènement insignifiant peut avoir un impact majeur sur un phénomène à venir; cette nouvelle approche de l'organisation des objets du monde est appelée « effet papillon ».

Figure 1 : L'attracteur de Lorenz



Par ailleurs, l'échange informationnel est une des modalités permettant à l'univers d'exister; par exemple, la rencontre entre un atome d'oxygène et deux atomes d'hydrogène permet la création d'une molécule d'eau. Il en est de même pour le monde du vivant.

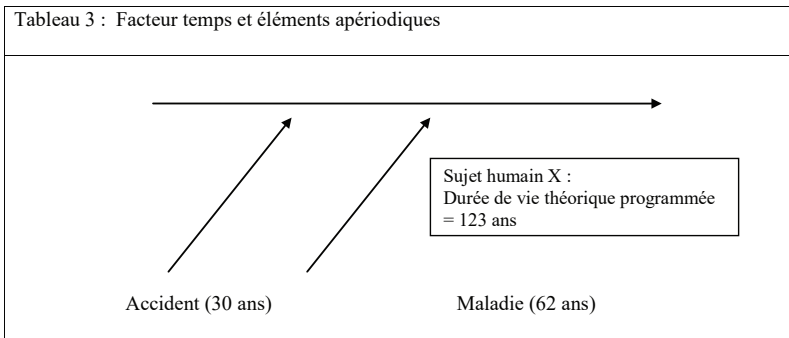
L'entropie, qui renvoie à des phénomènes comme les catastrophes, l'usure de la matière, le délitement sociétal, etc., est articulée autour de plusieurs facteurs. Le premier est celui du temps, car « [...] Le temps, inscrit dans la matière, en programme l'évolution et la durée¹² ». En effet, « [...] L'activation des codes génétiques sous-tendant tel objet du vivant en engage les structures à travers une agrégation bien spécifique¹³ ». En amont, il existerait une programmation de la durée de vie de chaque objet du vivant comme nous pouvons le voir dans le tableau 2.

¹² Marcienne Martin, « L'âge ou le temps apprivoisé de la programmation cosmologique », *Seachange*, 2013, p. 12.

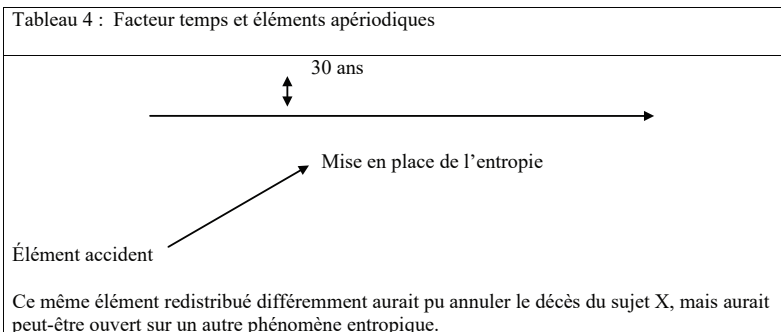
¹³ *Ibid.*, p. 14.

Tableau 2 : Durée de vie de quelques participants du règne du vivant			
Aigle : 30 ans	Anguille : 80 ans	Homme : 123 ans	Séquoia : 6000 ans
Jean Schwartz, 2006, p. 95.			

Si nous référons aux phénomènes dits « périodiques » et « apériodiques », nous constatons que l'entropie du monde du vivant est préprogrammée par le biais du facteur temporel; en revanche, des éléments extérieurs peuvent en modifier la périodicité : maladie, accident..., ce qui revient à mettre en relation des éléments apériodiques non prévisibles (voir le tableau 3).



En analysant cet exemple, nous en obtenons des approches fort variées, pouvant être interprétables de manière différente, et ceci en fonction des connaissances de l'observateur, connaissances qui peuvent aussi prendre le masque de la croyance. La rencontre du facteur temps programmant la vie de l'humain avec l'élément « accident » peut ouvrir sur différents niveaux scalaires (voir le tableau 4).



Par ailleurs, cet élément, l'accident, considéré sous un angle beaucoup plus rapproché sera perçu comme un hasard de la destinée. Dans le cadre d'une approche scalaire plus globale, nous constatons que la rencontre de tel objet du monde avec tel autre peut entraîner une transformation de l'ensemble par « métaconstruction », sa destruction quand il n'y pas d'interaction de transformation constructible ou, encore, n'entraîner aucune transformation quand la rencontre n'interfère avec aucun des objets concernés.

Prenons l'exemple de l'eau dont la structure se modifie en fonction de la température ambiante. À zéro degré, elle devient glace et à cent degrés, vapeur. Entre ces deux chiffres, quelle que soit la modification de la température, il n'y aura pas de changement majeur dans sa structure visible sinon son augmentation au niveau de la température.

La singularité de l'univers dans lequel nous vivons est toujours en cours de décryptage. Ainsi, le passage des unités virtuelles de la matière à des unités réelles se manifeste grâce à l'expansion de l'univers et à l'excitation du vide ainsi que le stipule Edgard Gunzig : « Si l'expansion cosmologique est lente, rien de particulier ne se produira et le vide quantique subsistera dans cet état. Par contre, une expansion suffisamment rapide excitera ce vide et induira la création de particules matérielles¹⁴ ». Toujours en relation avec la dimension temporelle, l'évolution de tout objet entraîne sa redéfinition à un moment $T + x$ ou $T + x1$, etc., et, ceci, en fonction d'une préprogrammation existante comme l'exemplifie Danièle Darmouni : « Le vivant n'est qu'un perpétuel renouvellement : dès son apparition une cellule du corps humain porte en elle les instructions de sa mort future afin de permettre à une autre cellule plus jeune de prendre sa place¹⁵ ».

¹⁴ Edgard Gunzig, *op. cit.*, p. 185.

¹⁵ Danièle Darmouni, « Le leadership du vivant », dans Carine Dartiguepeyrou (dir.), *Les voies de la résilience*, Paris, L'Harmattan, coll. « Essais et recherches », 2012, p. 105.

Dans une étude sur le concept de temps, Marcienne Martin précise :

Ne pourrait-on pas poser comme hypothèse que le temps, déclencheur et réalisateur des programmations diverses inscrites dans les objets du monde, serait une forme de tissu temporel dans lequel la manière codée est imbriquée, et que ce tissu, lorsque certains éléments de la matière se rencontrent dans le cadre d'un schéma préétabli, est alors activé tout en portant lesdits éléments?¹⁶

3. Les invariants : de la structure à la forme

Dans un ouvrage dédié à la compréhension de l'univers du vivant, à travers les unités le composant, Pierre Volfin montre ainsi qu'il est organisé à partir d'un phénomène de stabilité, soit des bases stables traduites par des nombres qui se répètent comme les quatre bases composées d'Adénine, de Guanine, de Cytosine et de Thymine, les vingt acides aminés et un codage assuré par des triplets¹⁷. Ce sont les répartitions de ces bases de manière très variée qui vont être à l'origine de la différenciation des différents membres du vivant comme nous pouvons le voir dans le tableau 5.

organisme	tissu	Adénine	Thymine	Guanine	Cytosine
Mycobacterium		15,1	14,6	34,9	35,4
Homme	thymus	30,9	29,4	19,9	19,8
Rat	moelle osseuse	28,6	28,4	21,4	21,5

Source : http://www.edu.upmc.fr/sdv/masselot_05001/introduction/structure_adn.html
 Université Pierre et Marie Curie – Module « génétique » - Page consultée le 24 mai 2015

Ainsi que le stipulent les auteurs Muriel Gargaud *et al.* :

Puisque 4 bases sont utilisées par la vie contemporaine, l'utilisation d'une seule paire de nucléotides au moment de l'émergence du code génétique pourrait permettre d'apporter une possible explication au codage des acides aminés par des triplets. L'utilisation de triplet avec une seule paire de bases permet 8 possibilités de codage (2³).¹⁸

¹⁶ Marcienne Martin, « L'âge ou le temps apprivoisé de la programmation cosmologique », *op. cit.*, p. 20.

¹⁷ Pierre Volfin, *La recherche en biologie moléculaire*, Paris, Seuil, 1975.

¹⁸ Muriel Gargaud *et al.*, *Les traces du vivant*, Bordeaux, Presses universitaires de Bordeaux, 2003, p. 200.

La structure du vivant est donc basée sur des formules mathématiques et chimiques, et c'est leur arrangement qui ouvre sur la représentation du Réel à l'échelle humaine.

Nous retrouvons ce même phénomène mathématique dans d'autres structures de base comme les fractales. Ainsi Bernard Sapoval spécifie à ce propos : « [...] La transmission de l'hérédité ne passe-t-elle par une double hélice? La géométrie périodique des milieux cristallins est à la base de nombreuses propriétés électriques et optiques¹⁹ ». Cependant, d'autres objets du monde n'intègrent pas de manière aussi visible le monde de la description mathématique. Il en est ainsi d'une courbe côtière ou montagneuse. Comme le précise cet auteur :

Ce sont précisément des objets de ce type qui nous arrêteront : en essayant de décrire leur *extrême irrégularité*, nous montrerons que l'on peut généraliser la notion de *dimension* pour obtenir, même sur des objets très irréguliers, des résultats quantitatifs. C'est ici que s'inscrit la démarche qui conduit à la définition des *géométries fractales*.²⁰

Les exemples présentés ci-dessus, à partir d'études faites sur la génétique ou encore sur la géométrie des fractales, montrent qu'en termes de microstructure, la néguentropie sous-tend chaque unité existante (cellules vivantes avec le code ADN, molécules composées d'atomes, etc.), mais que la structuration de telle unité du vivant varie en fonction de la distribution des éléments de base, ce qui, à l'échelle de la conscience humaine, permet le repérage des objets du monde, au sein desquels la différence et la complexité s'apparient. Suivant la dimension scalaire adoptée par l'observateur, un même objet peut être perçu comme stable (néguentropie) au niveau 1 (N1), mais lors d'un processus entropique de niveau 2 (N2), ce même objet sera considéré comme inscrit dans un phénomène de type entropique, mais, indirectement, il s'agira d'un processus de transformation. Nous exemplifierons avec la mise en contact d'un métal avec un non-métal, comme le sodium mis en contact avec du chlore; ainsi que l'a mentionné Jacques Moutte : « Quand un morceau de

¹⁹ Bernard Sapoval, *Universalités et fractales*, Paris, Flammarion, 1997, p. 65.

²⁰ *Ibid.*, p. 66.

sodium pur est mis en contact de chlore, il y a une réaction spontanée et violente, dont le produit est un solide blanc, à l'aspect cristallin, qui est tout simplement du sel de table, le chlorure de sodium²¹ », ce qui, analysé au niveau des atomes et des molécules, soit la microstructure, renvoie à l'équation chimique : $\text{Na} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{NaCl}$, ce qui se lit : « deux atomes de sodium (Na) et une molécule de dichlore (Cl_2) réagissent pour donner deux molécules de chlorure de sodium²² ». Nous pourrions conclure ainsi : tout élément d'un ensemble donné peut devenir la clef de voûte qui préside au phénomène d'entropie, par réaction, puis par transformation.

4. Agrégation et stabilité

Quels que soient le niveau de complexité considéré et la nature de l'objet, sa structuration est articulée autour de schémas la sous-tendant tels que l'ADN qui, en fonction de la redistribution des codes de base, donnera vie à tel organisme ou à tel végétal sous une forme préétablie. Par ailleurs, la communication participe des échanges entre l'unité du vivant et le biotope dans lequel il est inscrit. Tant que les échanges sont équilibrés, l'ensemble fonctionnera harmonieusement, mais si déséquilibre il y a, il aura pour conséquence la désagrégation de ladite unité. Prenons comme exemple la désertification des régions subsahariennes; dans un article relatif à cette problématique, Marc Bied-Charreton mentionne :

Des périodes d'aridité prolongées ont un effet négatif sur le niveau hydrique des sols et donc sur la disponibilité en eau de la végétation naturelle. Celle-ci va donc connaître des périodes de stress plus ou moins intenses. La végétation herbacée est la première touchée et on va constater une grande perte de biomasse herbacée; en clair l'herbe meurt et il ne subsiste plus que des pailles qui petit à petit disparaissent²³.

²¹ Jacques Moutte, *Géochimie, École des Mines de Saint-Étienne*, 2002, <http://www.emse.fr/~moutte/istp/ChimieGener-1.pdf>, site consulté le 25 mai 2015.

²² *Ibid.*

²³ Marc Bied-Charreton, *Sécheresse, désertification et développement en Afrique*, Professeur émérite de l'Université de Versailles Saint Quentin en Yvelines, Président du Comité scientifique français sur la désertification, <http://www.csf-desertification.org>, Cours de master2 – 2007- UVSQ et CERDI, Version

Réappliqué à la société humaine, l'échange informationnel sera traduit à l'ensemble des niveaux de la pyramide de Maslow²⁴ au sein de laquelle a été évaluée la hiérarchie des besoins de l'être humain. D'un point de vue sociétal, si tel groupe socioculturel trouve un équilibre entre ses besoins et aspirations et ce qui lui est offert, sa stabilité n'est pas compromise. En revanche, en cas de crise économique, politique ou autre, dont les causes peuvent prendre leur source dans le cadre de la modification de paramètres inscrits dans une communication de type intergroupale, ce qui, par effet dit « papillon », aura une incidence sur l'ensemble des groupes concernés. Citons la crise économique de 1929; comme le soulignent Pierre Heritier et Joël Maurice :

Un partage équitable des richesses dans le monde est impératif, pour des raisons sociales, voire humanitaires. Mais il est aussi indispensable pour le fonctionnement de l'économie. Faute de l'avoir pratiqué, les groupes financiers, les décideurs et leurs idéologues ont provoqué une crise sans précédent depuis 1929 et dont nul ne sait ni comment, ni quand nous sortirons. Est en cause la soutenabilité d'un régime de croissance fondé sur une demande artificielle gonflée par l'endettement généralisé de certains pays et tout particulièrement, par celui de catégories sociales insolubles²⁵.

Par ailleurs, la fédération autour d'appartenances considérées comme majeures, et communes à tel groupe socioculturel, renforce le phénomène d'adhésion autour de valeurs comme la démocratie, l'égalité, etc. Ainsi que le mentionnent Jean-Pierre Hogue, Denis Lévesque et Estelle M. Morin : « L'organisation recherche l'ordre et la détermination, et s'efforce de réduire l'ambiguïté, l'incertitude ou le désordre engendrés par les actions et les interactions de ses différents constituants²⁶ », ce qui renvoie

10/10/09, http://www.cndp.fr/crdp-rouen/images/stories/le-havre/pdf/afrique/texte_integral_desertification.pdf, site consulté le 26 mars 2016.

²⁴ Modèle élaboré par Abraham Maslow (1908-1970) (Abraham Maslow, *Devenir le meilleur de soi-même. Besoins fondamentaux, motivation et personnalité*, Paris, Eyrolles, 2008).

²⁵ Pierre Heritier et Joël Maurice, « Salaires et crise », *La Revue de l'Ires*, n° 64, 2010, p. 7, DOI:10.3917/rdli.064.0005.

²⁶ Jean-Pierre Hogue, Denis Lévesque et Estelle M. Morin, *Groupe, pouvoir et communication*, Montréal, Presses de l'Université du Québec, 1988, p. 13.

à la stabilité des structures composant l'organisation, que celle-ci réfère aux sociétés humaines, aux groupes du vivant en général ou, encore, à des événements divers.

5. Clefs de voûte et apériodicité

Ce constat ouvre sur un autre objet participant de l'entropie, celui de la clef de voûte renvoyant aux éléments formant la structure stable de l'objet observé. Comme le stipule Marcienne Martin : « [...] si nous considérons l'ensemble des objets du monde, que ce soit au niveau du macrocosme qu'à celui du microcosme, leur existence est sous-tendue par des structures diverses : génome, organisation moléculaire, etc., structures articulées autour d'un élément qui en assure la stabilité²⁷ ».

En effet, pour qu'une organisation fonctionne, il lui faut être articulée autour de facteurs stables, ce que Henry Mintzberg décrit comme suit : « Les parties de l'organisation sont liées les unes aux autres par différents flux : d'autorité, de matériel, d'information et de processus de décision²⁸ ».

L'exemplification de ces facteurs stables, ou clefs de voûte, s'inscrit dans tout système considéré à un moment T, mais à T1 ou à T2 la clef de voûte peut être à l'origine d'un phénomène d'entropie, ceci par la rencontre avec un élément extérieur ou non (voir le tableau 6).

Tableau 6 : Clef de voûte et élément déstabilisant	
T1	T2
Entreprise A, directeur X Stabilité	Entreprise A, décès du directeur X Déstabilisation du groupe

Dans le cadre de l'état d'équilibre dont la clef de voûte en est la représentation, Edgar Morin spécifie : « [...] un système clos, comme une pierre, une table, est en état d'équilibre, c'est-à-dire que les échanges en matière/énergie avec l'extérieur sont nuls²⁹ ».

²⁷ Georges Botet Pradeilles, *Apologie de la névrose*, suivi de Marcienne Martin, *En écho*, Paris, L'Harmattan, coll. « Nomino ergo sum », 2014.

²⁸ Henry Mintzberg, *Structure et dynamique des organisations*, Paris, Les éditions d'organisation, 2001, p. 51.

²⁹ Edgar Morin, *op. cit.*, p. 30.

Le maintien de l'état d'équilibre nécessite dans d'autres systèmes l'apport de flux énergétiques. Toujours selon cet auteur :

[...] deux conséquences capitales découlent donc de l'idée de système ouvert : la première est que les lois d'organisation du vivant ne sont pas d'équilibre, mais de déséquilibre, rattrapé ou compensé, de dynamisme stabilisé. [...] La seconde conséquence [...] est que l'intelligibilité du système doit être trouvée, non seulement dans le système lui-même, mais aussi dans sa relation avec l'environnement³⁰.

Par ailleurs, et comme le mentionne Ilya Prigogine, la dynamique organisationnelle tendant vers la négumentropie ouvre sur la représentation « d'un monde arbitraire soumis au seul hasard³¹ ».

La structure réticulaire, qui permet une communication plus ou moins importante entre différents objets du monde, est composée de structures majeures et mineures suivant l'angle sous lequel on les appréhende.

Reprenons notre exemple précédent, celui d'un sujet humain X, victime d'un accident à 30 ans. La structure réticulaire soutenant cette destinée est en relation avec des clefs de voûte comme « l'histoire du sujet humain X », « l'apprentissage de la conduite automobile », « la maîtrise de la commande dudit véhicule ». Ces clefs de voûte en subsument d'autres à la tête d'autres structures comme « la mécanique du véhicule », « la bonne santé du conducteur », etc.; ces nouvelles clefs de voûte pourraient alors présenter une défaillance non perçue par un regard excentré, entraînant donc des conséquences non prévisibles, mais existantes (voir le tableau 7). Analysées en amont, ces sous-structures auraient pu être à nouveau fonctionnelles.

³⁰ Edgar Morin, *op. cit.*, p. 31.

³¹ Ilya Prigogine, *La fin des certitudes*, Paris, Odile Jacob, 1998, p. 228.

Tableau 7 : Clefs de voûte, structures et imprévisibilité		
<i>Structure 1</i>	<i>Structure 2</i>	<i>Structure 3</i>
Histoire du sujet humain X	Apprentissage de la conduite automobile	Maîtrise de la commande du véhicule
<i>Sous-structure 1</i>	<i>Sous-structure 2</i>	<i>Sous-structure 3</i>
Maladie cardio-vasculaire inconnue du sujet <i>Clef de voûte : bonne santé</i>	Mémorisation et automatisations de la gestuelle de la conduite <i>Clef de voûte : bonne maîtrise</i>	Défaut non repéré du moteur <i>Clef de voûte : vérification et repérage d'anomalies</i>
<i>Conséquence</i>	<i>Conséquence</i>	<i>Conséquence</i>
Mise en place d'un phénomène entropique : accident	Bonne gestion des structures 2 et 3	Mise en place d'un phénomène entropique : accident

Si l'évènement, appelé « catastrophe », en raison des conséquences qu'il a pu avoir sur l'unité du vivant prise à son piège, elle peut ouvrir également sur un phénomène de reconstruction, et qui amènera la nouvelle structure en cours d'élaboration vers un état de type néguentropique. Prenons l'exemple d'une éruption volcanique. Si les gaz et les coulées de lave entraînent la destruction de l'écosystème du lieu concerné, les conséquences à plus long terme peuvent avoir un effet positif sur le développement du monde du vivant; comme il est mentionné sur le site <http://www.futura-sciences.com> : « En effet, les éruptions volcaniques amènent à la surface du globe une grande quantité de minéraux favorables au développement de la flore. Les sols volcaniques sont par conséquent très fertiles, ce qui explique le développement des civilisations autour des volcans³² ».

6. Le langage comme mode de décryptage des objets du monde

Nommer les objets du monde est une instance qui participe de la structure cognitive du groupe des hominidés, primates composant celui des humains. À ce propos, Jared Diamond, mentionnant la filiation phylogénétique du chimpanzé pygmée du Zaïre et du chimpanzé commun d'Afrique, précise ceci : « Les études de génétique moléculaire ont montré ces dernières années que nous partageons plus de 98 pour cent de notre programme

³² <http://www.futura-sciences.com/magazines/terre/infos/dossiers/d/volcanologie-volcanisme-a-z-462/page/5/>, site consulté le 25 mai 2015.

génétique avec les [primates déjà cités]³³ ». Les deux pour cent qui nous différencient sont, en quelque sorte, les ouvertures magiques qui nous permettent, en notre qualité d'être humain, d'accéder à la compréhension de l'univers au sein duquel nous évoluons. Cette compréhension est corrélée à la conscience d'être, d'exister et à sa manifestation par le biais du langage. Ainsi que le stipule André Leroi-Gourhan :

La technicité à deux pôles de nombreux vertébrés aboutissait chez les Anthropiens à la formation de deux couples fonctionnels (main outil et face-langage) [car] l'émergence du symbole graphique à la fin du règne des Paléanthropes suppose l'établissement de rapports nouveaux entre les deux pôles opératoires. [...] Dans ces nouveaux rapports, la vision tient la place prédominante dans les couples face-lecture et main-graphie³⁴.

Relevant de structures complexes, la pensée est à l'origine de différentes formes de raisonnement. Le concept de raisonnement est dérivé de l'unité lexicale « raison » dont le sens renvoie à : « Principe pensant; mode de pensée. [Par opposition à l'instinct de l'animal]. Faculté qu'a l'esprit humain d'organiser ses relations avec le réel; son activité considérée en général tant dans le domaine pratique que dans le domaine conceptuel³⁵ »; il s'inscrit dans la réalité perçue par le biais du percept. Cette réalité prend en compte l'observation d'un objet donné, sa mise en relation avec ce qu'en connaît l'observateur par le biais de sa mémoire lexico-sémantique, laquelle fait résonance avec le vécu dudit observateur à travers le champ émotionnel, les relations affectives et son approche subjective (percepts et *qualia* qui y sont associés).

La perception d'un objet du monde à un moment T va induire différentes procédures cognitives déclinées en relation contextuelle. Exemplifions avec un sujet X ayant aperçu un objet Y ayant une forme apparentée à un arbre, mais ne semblant pas appartenir à ce type de végétal. Son observation particulière

³³ Jared Diamond, *Le troisième singe. Essai sur l'évolution et l'avenir de l'animal humain*, Paris, Gallimard, 1992, p. 10.

³⁴ André Leroi-Gourhan, *Le geste et la parole, Première partie : Technique et langage*, Paris, Albin Michel, coll. « Sciences d'aujourd'hui », 1964, p. 262.

³⁵ <http://www.cnrtl.fr/definition/raison>, site consulté le 25 mai 2015.

comme la rugosité du tronc, par exemple, pourrait conduire l'observateur à formuler l'assertion que tous les arbres de ce type ont un tronc rugueux : raisonnement de type inductif, soit un fait passant du particulier au général et faisant loi; la forme droite l'ayant beaucoup plus interpellé, il pourra poser que toute forme s'en approchant renverra *de facto* à ce végétal (raisonnement de type déductif, soit le passage de la loi ou de la règle au fait observé).

À ces types de raisonnement s'inscrivant dans la communication discursive, nous trouvons le raisonnement concessif où il est admis par l'un des locuteurs la valeur argumentative de certaines données fournies par la thèse adverse. Dans le raisonnement critique, la relation de communication entre deux locuteurs est construite sur la tentative de déconstruction des argumentations assertives de l'un par l'autre; le raisonnement dialectique pose thèse et antithèse sur un sujet donné; quant au raisonnement par l'absurde, l'analyse y est poussée jusqu'à l'absurde, ce qui permet la réfutation de l'idée sous-jacente : un arbre dont le tronc serait considéré comme appareil locomoteur afin d'en démontrer l'irréalisme.

Comme nous le constatons, certains types de raisonnement intègrent *de facto* un discours, quel qu'en soit le type (raisonnement concessif, dialectique, par l'absurde) et quelle qu'en soit la forme (orale, écrite). En revanche, les raisonnements de type inductif ou déductif, même s'ils sont intégrés à des démarches de type discursif, renvoient à la description des objets du monde et à leur intégration dans le paradigme humain. Quant au raisonnement logique, il est pris en compte l'objet observé dans sa relation contextuelle et il est posé le discours conclusif comme aboutissement du déroulement de la pensée; s'il gèle et qu'une bassine d'eau est posée à l'extérieur, l'eau se solidifiant à 0°, le contenu de ce récipient sera devenu glace. Ce type de raisonnement peut coexister avec ceux présentés en amont.

Il existe également un autre type de raisonnement; il s'agit du raisonnement analogique. La figure de style, outil du raisonnement de type analogique, est appelée « métaphore »; la métaphore ou

l'analogie permet d'expliquer, d'analyser et de conceptualiser un objet du monde inconnu en le mettant en relation de similitude avec un objet connu. Certaines de ces visualisations créatives renvoyant à la recherche scientifique ont été traduites ainsi par leurs auteurs comme Daniel Tarnowski dans *Science et vie* : « La physique quantique est entrée en scène presque sur la pointe des pieds. Avant l'atome, c'est dans la redécouverte des propriétés de la lumière qu'elle a marqué son premier point³⁶ ». La mise en relation d'objets seconds pourra expliquer les inconnus participants de l'objet premier, ce qui pourra induire des hypothèses posées, puis parfois vérifiées.

La créativité est corrélée aux potentialités supposées ou existantes d'objets ou de phénomènes du Réel. Sur une simple intuition, Albert Einstein posa la théorie de la relativité générale : « En voyant combien fragiles étaient les fondations visibles sur lesquelles Einstein avait bâti sa théorie, nous ne pouvons pourtant que nous émerveiller de l'intuition qui le conduisit à la réalisation de son chef-d'œuvre³⁷ ». Cette approche particulière fait appel à l'intuition, c'est-à-dire à une « [...] connaissance directe et immédiate d'une vérité qui se présente à la pensée avec la clarté d'une évidence, qui servira de principe et de fondement au raisonnement discursif. Intuition directe, fondamentale, première, pure; intuition de l'espace, du temps; connaître une vérité par intuition³⁸ », ce que nous pourrions traduire par une écoute et une mise en relation de la conscience avec le *substratum* au sein duquel nous sommes intégrés.

Aux procédures cognitives comme le raisonnement, ayant pour support le langage que celui-ci traite des objets du Réel, de leur représentation, des concepts ou des symboles en relation avec lesdits objets, s'ajoute la prise de conscience d'une existence

³⁶ Anne-Marie Loffler-Laurian, « Réflexions sur la métaphore dans les discours scientifiques de vulgarisation », *Langue française, Les figures de rhétoriques et leur actualité en linguistique*, n° 101, 1994, p. 72-79, DOI : 10.3406/lfr.1994.5844, http://www.persee.fr/doc/lfr_0023-8368_1994_num_101_1_5844.

³⁷ Banesh Hoffmann, *Albert Einstein créateur et rebelle*, Paris, Seuil, 1975, p. 141.

³⁸ <http://www.cnrtl.fr/definition/intuition>, site consulté le 25 mai 2015.

inscrite tant en diachronie qu'en synchronie avec des potentialités visualisées dans le temps futur.

Si nous poursuivons l'analyse entre les hominidés et les autres membres du monde du vivant, nous constatons que l'observation de l'environnement faite par l'ensemble du monde du vivant a pour but la protection de l'espèce, sa survie et sa diffusion. Ces modes de fonctionnement font appel à l'instinct, soit à un déterminisme biologique qui, à telle situation, répond par un comportement donné, ce qui renvoie à une programmation de base plus ou moins adaptable en fonction de l'espèce concernée.

La découverte du monde par l'enfant fait appel au percept, puis au langage qui lui permet peu à peu de se représenter tel objet X. Ainsi ce dernier peut-il prendre, dans le cadre de sa représentation, et lorsque l'enfant est devenu adulte, toutes les nuances possibles à travers le prisme des couleurs, le changement de taille, l'association à un objet Y ou à $n + 1$ objet, et ceci sans barrière aucune. Nous abordons alors le concept d'infini dont Lucrèce disait qu'à une limite, il est toujours possible d'en ajouter une autre : « Il arrivera que, pour lui faire place, les bornes reculeront, et le monde se prolongera sans cesse³⁹ »; c'est vraisemblablement cette créativité potentielle ou réalisée qui donne à l'espèce humaine une ouverture particulière sur l'univers. L'infini est également lié à la notion d'échelle. Regarder une fleur, la regarder toujours au même niveau scalaire (étamines, pistil...), ne permettra à l'observateur d'en comprendre les particularités qu'à ce niveau précisément. Cependant, sa représentation conceptuelle permet de travailler sur une infinité d'approches tant microscopiques que macroscopiques, ainsi qu'intégrées à un ensemble d'ordre réticulaire, celui des végétaux, par exemple.

Se questionner sur les potentialités de tel ou tel phénomène, conjuguées à l'infini, même si statistiquement il est démontré qu'à x % il prendra telle orientation et pas une autre, fait résonance avec le concept d'infinitude, lequel a intégré la conscience

³⁹ Lucrèce, *De la nature des choses*, Livre I : « Principes universels : atomes et vide », chapitre IV : « Infinité de l'univers et de ses constituants » [1,951-1113], § A : « L'univers et l'espace (omne quod est) sont infinis » [1,951-1007], <http://bcs.fltr.ucl.ac.be/LUCR/I.html>, site consulté le 27 mars 2016.

humaine par le biais du langage. Nous le retrouvons également dans le principe d'incertitude d'Heisenberg⁴⁰ qui, au niveau de notre conscience, pourrait être traduit par un choix engagé dans une orientation donnée, né précisément d'un faisceau de possibilités infinies, certaines irréalisables, car dans l'impossibilité d'être en connexion avec les contingences orientatrices.

S'il est possible peu à peu d'expliquer les objets du monde, il reste très difficile de comprendre à quoi correspondent le sentiment esthétique, la beauté et l'harmonie. Aborder l'ensemble de ces phénomènes fait appel au concept de temps, puisque c'est parce que le temps se déroule que le monde évolue entre négentropie et entropie, transformation incessante qui ouvre sur ces mêmes phénomènes revisités; la mort et la vie y sont intimement associées.

7. Conclusion

La mise en place de l'approche scalaire de tel système organisationnel ainsi que la prise en compte des clefs de voûte assurant son maintien négentropique pourraient permettre de faire une évaluation de la dynamique événementielle. À ceci, il faut ajouter les facteurs de prévisibilités liés à la périodicité ainsi que les éléments aléatoires à l'origine de la non-prévisibilité de tel événement.

Cette analyse peut s'appliquer à n'importe quel type d'organisation. Ainsi dans la société civile, les lois, les règles, mais aussi l'appartenance (identité personnelle, groupale, nationale, etc.) sont les clefs de voûte permettant à la structure sociale de maintenir une cohésion et un équilibre entre les individus et les groupes qui la composent. Dès qu'une de ces structures est modifiée pour des raisons politiques, sociales, économiques ou

⁴⁰ « Les relations d'indétermination d'Heisenberg illustrent ce principe : elles montrent que la connaissance exacte d'une variable peut empêcher la connaissance exacte d'une autre variable. La dualité onde-corpuscule en est un autre exemple : l'observation des phénomènes d'interférence est complémentaire de l'observation des effets des quanta de lumière individuels » (Bernard Pourprix, « La genèse du principe d'incertitude d'Heisenberg », *Union des professeurs de physique et de chimie*, vol. 108, Le Bup, n° 967, octobre 2014, p. 1241.

autres, les clefs de voûte s'effondrent et nous assistons alors à un délitement de la société. Par exemple, si l'appartenance majeure de l'organisation sociétale est la religion, la structure basculera vers la théocratie, s'il s'agit de la domination par un régime tyrannique, le système sera articulé autour d'une clef de voûte différente ainsi que l'exemplifient Denis Brand et Maurice Durosset : « Hitler accorde une importance fondamentale, non pas à la notion d'État, mais à celle d'une communauté raciale reposant sur la pureté du sang aryen⁴¹ ».

Si l'entropie participe de l'univers, son existence en tant que telle est en relation avec la perception que l'homme peut en avoir. Dans le cadre de la prédictibilité concernant telle organisation inscrite dans un dynamisme donné, une approche scalaire des différents réseaux la composant en permettrait une meilleure évaluation. En effet, si l'ensemble de l'univers est existant, sa perception par l'observateur humain est fragmentaire du fait de la non-appréhension des liaisons existant entre tel objet A et tel objet B. Si l'ensemble des liaisons formant la complexité du monde du vivant, par exemple, était appréhendable, et donc perçu, le phénomène d'apériodicité ne serait plus considéré comme aléatoire, mais comme élément majeur participant de la modification de la structure en place.

L'entropie est liée à la désorganisation de telle structure à un moment T de l'échelle du temps, mais elle est aussi à l'origine de sa réorganisation redistribuée différemment. Finalement, le facteur temps ne pourrait-il pas être perçu comme une manière de logiciel porteur d'une dynamique énergétique, à l'origine de la transformation des objets du monde, au sein duquel entropie et néguentropie ne seraient que les sauts d'une stabilité apparente à une autre, avec les clefs de voûte comme supports provisoires? La perception scalaire de ces phénomènes ne permettrait-elle pas de penser l'infrastructure sous-tendant l'univers comme objet pérenne, mais sa perception, à l'échelle humaine, comme objet éphémère?

⁴¹ Denis Brand et Maurice Durosset, *Dictionnaire thématique. Histoire géographique*, Paris, Dalloz, 1999, p. 48.

Bibliographie

- Botet Pradeilles, Georges, *Apologie de la névrose*, suivi de Marcienne Martin, *En écho*, Paris, L'Harmattan, coll. « Nomino ergo sum », 2014.
- Brand, Denis et Maurice Durousset, *Dictionnaire thématique. Histoire géographique*, Paris, Dalloz, 1999.
- Bied-Charreton, Marc, *Sècheresse, désertification et développement en Afrique*, Professeur émérite de l'Université de Versailles Saint Quentin en Yvelines, Président du Comité scientifique français sur la désertification, <http://www.csf-desertification.org>, Cours de master2 – 2007- UVSQ et CERDI, Version 10/10/09, site consulté le 26 mars 2016.
- Darmouni, Danièle, « Le leadership du vivant », dans Carine Dartiguepeyrou (dir.), *Les Voies de la résilience*, Paris, L'Harmattan, coll. « Essais et recherches », 2012.
- Diamond, Jared, *Le troisième singe. Essai sur l'évolution et l'avenir de l'animal humain*, Paris, Gallimard, 1992.
- Gargaud, Muriel *et al.*, *Les traces du vivant*, Bordeaux, Presses universitaires de Bordeaux, 2003.
- Glieck, James, *La théorie du chaos*, Paris, Flammarion, 1991.
- Gunzig, Edgard, *Que faisiez-vous avant le Big Bang?*, Paris, Odile Jacob, 2011.
- Heritier, Pierre et Joël Maurice, « Salaires et crise », *La Revue de l'Ires*, n° 64, 2010, p 5-46, DOI :10.3917/rqli.064.0005.
- Hoffmann, Banesh, *Albert Einstein créateur et rebelle*, Paris, Seuil, 1975.
- Hogue, Jean-Pierre, Denis Lévesque et Estelle M. Morin, *Groupe, pouvoir et communication*, Montréal, Presses de l'Université du Québec, 1988.
- Leroi-Gourhan, André, *Le geste et la parole*, Première partie : Technique et langage, Paris, Albin Michel, coll. « Sciences d'aujourd'hui », 1964.
- Loffler-Laurian, Anne-Marie, « Réflexions sur la métaphore dans les discours scientifiques de vulgarisation », *Langue française, Les figures de rhétoriques et leur actualité en linguistique*, n° 101, 1994, p. 72-79, DOI : 10.3406/lfr.1994.5844, http://www.persee.fr/doc/lfr_0023-8368_1994_num_101_1_5844.
- Lucrèce, *De la nature des choses*, Livre I : « Principes universels : atomes et vide », chapitre IV : « Infinité de l'univers et de ses constituants » [1,951-1113], § A : « L'univers et l'espace (omne quod est) sont infinis » [1,951-1007], <http://bcs.fltr.ucl.ac.be/LUCR/I.html>, site consulté le 27 mars 20156.
- Martin, Marcienne, « L'âge ou le temps apprivoisé de la programmation cosmologique », *Seachange*, 2013, p. 11-23.

- Martin, Marcienne, « De la fatalité aux cindyniques, l'évolution paradigmatique du terme "catastrophe" », *Seria Filologie. A. Lingvistică, Analele Universității « Stefan cel Mare »*, Tomul XV, nr. 2, 2011, [2009], p. 16-27.
- Maslow, Abraham, *Devenir le meilleur de soi-même. Besoins fondamentaux, motivation et personnalité*, Paris, Eyrolles, 2008.
- Mintzberg, Henry, *Structure et dynamique des organisations*, Paris, Les éditions d'organisation, 2001.
- Monod, Jacques, *Le hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, Paris, Seuil, coll. « Points », 2014 [1970].
- Morin, Edgar, *Introduction à la pensée complexe*, Paris, ESF éditeur, 1990.
- Moutte, Jacques, *Géochimie*, École des Mines de Saint-étienne, 2002, <http://www.emse.fr/~moutte/istp/ChimieGener-1.pdf>, site consulté le 25 mai 2015.
- Pourprix, Bernard, « La genèse du principe d'incertitude d'Heisenberg », *Union des professeurs de physique et de chimie*, vol. 108, *Le Bup*, n° 967, octobre 2014, p. 1231-1242.
- Prigogine, Ilya, *La fin des certitudes*, Paris, Odile Jacob, 1998.
- Reeves, Hubert, *Sommes-nous seuls dans l'univers*, Paris, Fayard, 2000.
- Sapoval, Bernard, *Universalités et fractales*, Paris, Flammarion, 1997.
- Schrödinger, Erwin, *Space-Time Structure*, Cambridge University Press, 1985 [1950].
- Volfin, Pierre, *La recherche en biologie moléculaire*, Paris, Seuil, 1975.
- Watzlawick, Paul, *La réalité de la réalité*, Paris, Seuil, 1978.

Liens

<http://www.cnrtl.fr/>

http://www.cndp.fr/crdp-rouen/images/stories/le-havre/pdf/afrique/texte_integral_desertification.pdf

<http://www.creativite-conseils.com/analogies.pdf>

<http://www.emse.fr/~moutte/istp/ChimieGener-1.pdf>

<http://www.futura-sciences.com/magazines/terre/infos/dossiers/d/volcanologie-volcanisme-a-z-462/page/5/>

<http://www.sciencesetavenir.fr/archeo-paleo/20140620.OBS1221/la-grotte-chauvet-inscrite-sur-la-liste-du-patrimoine-mondial-de-l-unesco.html>