

Zeitschrift: Tracés : bulletin technique de la Suisse romande
Herausgeber: Société suisse des ingénieurs et des architectes
Band: 132 (2006)
Heft: 20: Complexité

Artikel: "Nous vivons actuellement l'âge d'or de la complexité"
Autor: Benkirane, Réda / Hohler, Anna
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-99508>

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: 17.03.2025

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

« Nous vivons actuellement l'âge d'or de la complexité »

COMPLEXITÉ

Qu'y a-t-il de commun entre la complexité d'un réseau informatique et celle des insectes sociaux? Qu'est-ce que le hasard? Voilà quelques-unes des questions que soulèvent les « 18 histoires de sciences » réunies par Réda Benkirane dans un ouvrage remarqué¹, dans le but de montrer les richesses que la notion de complexité a pu suggérer, depuis une vingtaine d'années, à certains des esprits scientifiques les plus fins de notre temps. Le sociologue et spécialiste de l'information revient ici sur quelques questions clés de l'ouvrage et explique pourquoi une réflexion approfondie sur la complexité est aujourd'hui indispensable.

TRACÉS: Comment est né le domaine des sciences de la complexité?

Réda Benkirane: L'origine de ce domaine remonte au XIX^e siècle où, progressivement, on découvre aux bordures de la science classique, déterministe, linéaire, des phénomènes qui ne relèvent pas de la régularité, de l'invariance et de la symétrie. L'exemple le plus frappant concerne la géométrie. Pendant quinze siècles, on a pensé qu'il n'y avait de géométrie que celle d'Euclide, et notamment que son cinquième postulat concernant les droites parallèles était universellement valide. Or des mathématiciens découvrent des géométries courbes où, par exemple, plus de deux droites ne se croisent jamais (espace elliptique), ou alors toutes les droites finissent par se croiser (espace hyperbolique). Ces géométries ne sont étranges que parce que l'homme a pendant longtemps pensé la géométrie dans des surfaces planes. Einstein utilisera la géométrie non euclidienne pour aboutir à la relativité générale. Par ailleurs, déjà à la fin du XIX^e, des mathématiciens découvrent les fractales (fig. 1 et 4), qui à l'époque étaient considérées comme des monstres mathématiques. Le mathématicien Poincaré découvre à cette époque le chaos déterministe, l'école russe des mathématiques y travaillera durant les années 1930.

¹ RÉDA BENKIRANE: « La complexité, vertiges et promesses. 18 histoires de sciences », Ed. Le Pommier, 2002

Les origines des sciences de la complexité commencent avec les premiers travaux théoriques sur l'informatique (le théorème d'incalculabilité d'Alan Turing) et avec les premières conférences Macy aux Etats-Unis, qui seront un creuset interdisciplinaire d'où émergeront les théories de l'information (Shanon), de la cybernétique (Wiener) ou de la systémique. Gaston Bachelard, dans les années 1930 déjà, parlait de « l'idéal de la complexité ». Mais l'essor des sciences de la complexité ne se fera qu'avec la montée de l'informatique qui permet de simuler et de modéliser toute une classe de phénomènes de la nature, irréductibles à l'analyse classique et au calcul avec le crayon et le papier.

T.: Comment expliqueriez-vous la notion de complexité à un profane ?

R. B.: La complexité désigne les phénomènes dont « le tout est plus que la somme des parties ». Pour signifier ce que la complexité est, je citerais quelques exemples: Internet, marchés financiers, avalanches (fig. 7), crues, extinctions massives d'espèces vivantes, turbulences atmosphériques, fluctuations erratiques de populations animales, progression de maladies épidémiques, évolution de régimes politiques, fonctionnement du cerveau, des gènes, la liste est longue. Pour dire ce que la complexité n'est pas, c'est-à-dire la complica-

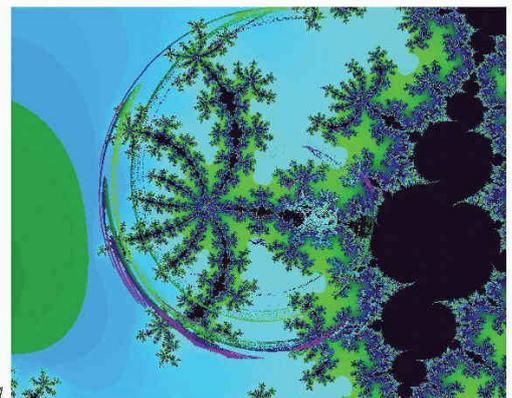
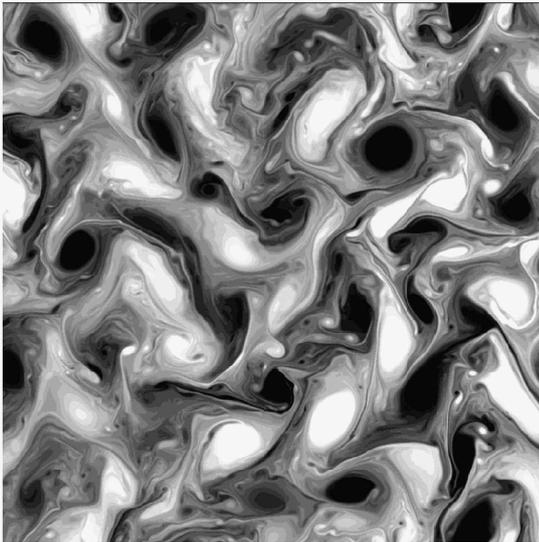


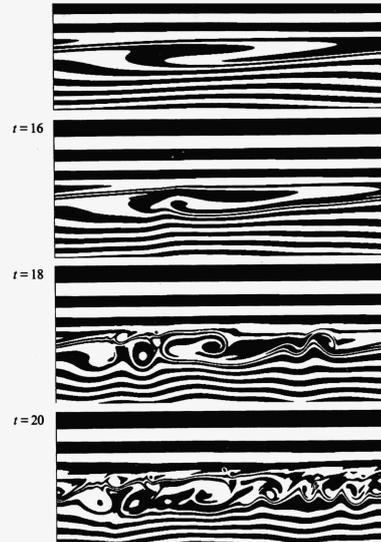
Fig. 1 : Figures du chaos, attracteur (Document J. C. Sprott)

Fig. 2 et 3 : Etudes en dynamique des surfaces (Documents gfdl, Laboratoire de dynamique des fluides géophysiques, Université de Princeton)

Fig. 4 : Figure fractale, générée par le programme julia256.exe (Document J. C. Sprott)



2



3

tion, je citerais encore les exemples de la montre et de l'automobile dont les mécanismes, aussi compliqués soient-ils, ne sont pas complexes. On peut décomposer l'ensemble en éléments que l'on peut remonter pour aboutir à l'objet initial. Il n'en est pas de même des objets complexes.

T. : Qu'est-ce qui caractérise un système complexe ?

R. B. : Un système complexe est caractérisé par la non-linéarité (quand causes et effets ne sont pas proportionnels), par l'émergence (les propriétés du tout ne sont pas réductibles à celles des composants de base) et enfin par l'évolution (le temps est la dimension dans laquelle le mouvement, l'incertitude se déploient).

T. : Comment décririez-vous la complexité aujourd'hui ?

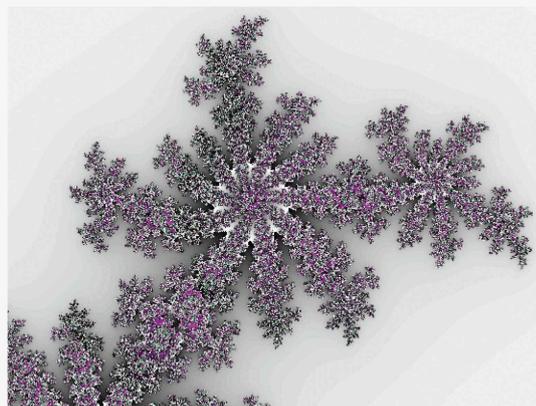
R. B. : Nous vivons actuellement son âge d'or. C'est une science participative de ce qu'elle observe, elle décrit des phénomènes hors de notre contrôle et de notre horizon de prédictibilité. Les sciences non-linéaires actuelles mettent fin à une crise de l'interprétation. Il s'agit de décrire des phénomènes très différents entre eux du point de vue des composants, mais qui ont en commun une dynamique et des propriétés d'ensemble. En comprenant les propriétés d'émergence, de turbulence (fig. 2 et 3), d'écart à l'équilibre, de transition de phase, en révélant les limites de la calculabilité ou de la prédictibilité, nous comprenons mieux la nature de la nature et nous apprenons à interagir avec elle. *Cosmos, bios, homo*, toutes ces différentes échelles sont des échelles de la complexité.

T. : S'agit-il d'une nouvelle discipline ou plutôt d'une nouvelle façon d'aborder des disciplines existantes ?

R. B. : Certains imaginent la complexité comme une nouvelle discipline, d'autres pensent que ce thème est trans- et interdisciplinaire. Personnellement, je suis enclin à penser que c'est plutôt une manière d'aborder des disciplines existantes, de les faire dialoguer entre elles pour traiter de problèmes qui sont plus larges que les différents domaines de validité. Mais attention, ce dialogue entre disciplines ne peut pas advenir sans rigueur et discipline.

T. : Quelles sont les questions sans réponse qui émergent des 18 entretiens de votre livre ?

R. B. : La question des origines de l'univers et de la vie garde son mystère. Celle de la conscience émergeant de notre cerveau (l'objet le plus complexe de tout l'univers) montre que nous en sommes aux balbutiements. La question de la génomique, dont on a cru naïvement qu'elle nous donnerait les clés pour décoder le livre de la vie, est la plus brûlante.



4

Fig. 5: Robot volant du Laboratoire de systèmes intelligents de l'EPFL. Il pèse dix grammes et est équipé deux caméras linéaires CMOS, de deux gyroscopes, d'un anémomètre, d'un microcontrôleur 8-bit et d'un module radio Bluetooth. (Photo LIS/EPFL)

Fig. 6: Une fourmi champignoniste avec une ouvrière portant une feuille qui est utilisée pour élever un champignon qui servira de nourriture (Photo Laurent Keller, Département d'écologie et évolution, Université de Lausanne)

Fig. 7: Avalanche dans la Vallée de la Sionne (Photo Yann Gross, ECAL)

Ainsi on a eu l'illusion de croire que la connaissance du génome nous permettrait de déterminer quel gène coderait pour quelle fonction, pour quelle maladie. Mais les gènes ne s'expriment que dans un réseau de gènes qui lui-même interagit avec tout un environnement – j'allais dire un univers – biologique. Il faut donc travailler à comprendre les propriétés des réseaux de gènes, et nous n'en sommes qu'au début. Nous avons donné un nom à chaque gène identifié, mais il reste à comprendre la syntaxe et la grammaire du génome. C'est en train de se faire avec par exemple la bio-informatique.

Dans les entretiens figurant dans mon livre, nous explorons et la science des limites et les limites de la science. L'image pour décrire où nous en sommes est celle de gens qui chercheraient des clés (de compréhension) au pied d'un lampadaire, mais ils chercheraient uniquement là où il y a un peu de lumière! Nous sommes entourés de beaucoup de connaissance, mais cernés par une incommensurable inconnaissabi-

lité. Mais ce n'est pas un fait angoissant, c'est au contraire un gain de connaissance!

T.: En guise d'entrée, vous placez l'entretien avec Edgar Morin, à la fin celui avec Michel Serres. Pourquoi encadrer les textes traitant les sciences dites dures avec les regards d'un sociologue et d'un philosophe?

R. B.: Comme le livre s'adresse à un lecteur généraliste, il m'a semblé important de ramener la question des sciences de la complexité à l'humain. Les hommes sont tout de même plus complexes que des particules subatomiques ou des automates cellulaires...

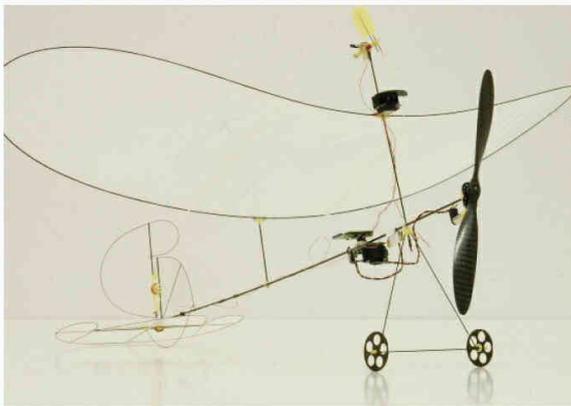
T.: La Suisse a-t-elle son mot à dire, dans ce domaine?

R. B.: La place scientifique suisse de manière générale est à la pointe de ce qui se fait dans le monde, et l'étude des systèmes complexes n'est pas en reste. Les expériences en information quantique de Nicolas Gisin à l'Université de Genève, les laboratoires d'intelligence et de vie artificielle de l'EPFL (fig. 5) ou encore les études de robotique de l'EPFZ – et j'en oublie! – sont à l'avant-garde de ce qui se fait actuellement dans la complexité.

Ce qui pose problème, cependant, est à mon sens la culture de la complexité qui, en dehors des laboratoires, a du mal à s'imposer au sein de la société qui, elle, procède d'une culture traditionnelle où l'ordre et la stabilité sont des valeurs cardinales. La société se trouve très mal à l'aise avec le temps chaotique et imprévisible, qui n'a plus rien à voir avec le temps chronométrique, hyperstable et réversible auquel on était habitué.

Dès l'enfance, l'individu en Suisse intériorise par le système éducatif le souci de l'ordre à tout prix, du détail, de la régularité comme finalité et non comme moyen. On en arrive à certaines aberrations. Les singularités dérangent, alors on coupe les têtes qui dépassent. La Suisse a produit Einstein, l'esprit qui a élaboré l'une des plus ardues et des plus élégantes des théories scientifiques, celle de la relativité générale, mais il faut reconnaître qu'elle a tout ignoré de son génie en le reléguant à des tâches subalternes parce qu'il n'était pas formaté et conforme aux normes éducatives du pays.

Un changement est impératif, et il doit affecter le système éducatif dès le plus jeune âge pour libérer l'esprit des carcans d'une culture traditionnelle qui n'est plus en phase avec les défis de notre époque. Tout cela est étroitement lié à une vision traditionnelle du temps, qui a merveilleusement fonctionné dans le cadre de la science classique du contrôle et de la manipulation. A l'évidence, il faut maintenant en sortir.



5



6



7

Fig. 8 : Pierre Meunier dans « Au milieu du désordre », à l'affiche du Théâtre Vidy-Lausanne en septembre dernier. Le comédien livre ses réflexions au sujet de la pente du tas, mystère toujours pas percé par les scientifiques. (Photo Alain Julien)

Si notre monde est de plus en plus complexe, c'est parce que nous avons changé de temporalité : on parle bien d'accélération de l'histoire. Notre temps est un mélange de déterminisme et d'incertitude, de linéarité et discontinuité, de cyclique et de chaotique, de chaud et de froid, bref le temps est à la fois « *time* » et « *weather* ». Il faut donc intégrer dans la culture et l'éducation cette vision du temps qui reflète la complexité du monde. C'est un principe de réalité que l'on doit intérioriser pour pouvoir évoluer dans un monde ouvert, où il s'agit aussi d'improviser dans des situations non intégrant, de traiter les choses de manière non séquentielle et où, du point de vue de l'économie, la survie n'est plus celle du plus fort mais celle du plus rapide.

T. : Est complexe ce qui comporte sa part de hasard ?

R. B. : La science classique considérait le hasard comme le fruit de l'ignorance : une fois toute la connaissance acquise, on aurait réussi à l'éliminer. Cette vision est incarnée, au XIX^e siècle, par le fameux démon de Laplace, capable de connaître à un instant donné tous les paramètres de toutes les particules de l'univers. Un esprit doué d'intelligence surpuissante pourrait ainsi connaître tout de l'univers, il pourrait tout calculer et tout déduire de son passé.

Pourtant, avec Poincaré mais aussi avec la révolution de la physique quantique, on découvre une part de hasard fondamental. La profusion du hasard est mise en évidence dans l'arithmétique. Là aussi ce dernier tendrait à manifester un rôle créatif, ce que la science classique n'admettait pas : le hasard est générateur de bifurcations et donc de possibles plus ou moins probables. A ce propos, il est bon de rappeler

que la racine arabe du mot « hasard » (*al zahr*) évoque non seulement la chance, mais aussi l'abondance, l'efflorescence, l'exubérance. C'est un mot qui signale un aspect constructif du fortuit. On trouve le même élément dans le mot « risque » qui pourrait, selon certains spécialistes de l'étymologie, provenir d'un mot arabe (*rizq*) signifiant richesse et profusion. Toutes les recherches en mathématiques, physique et thermodynamique mettent en avant le rôle créateur du hasard. L'évolution ne fait pas de sens si l'on occulte la part de contingence.

T. : Quels sont les enjeux, en matière de complexité, pour notre avenir ?

R. B. : La complexité se déploie aussi bien dans les sciences que dans les cultures. En tant que science des relations, des réseaux, des noeuds et des liens, elle permet de comprendre pourquoi, par exemple, l'incertitude génère de l'inquiétude qui se traduit par la montée de mouvements populistes ou de fondamentalismes religieux. Toutes les crises actuelles dans les relations internationales traduisent la difficulté à admettre d'une part la multipolarité du monde, la diversité culturelle et, d'autre part, le fait que le monde s'est rétréci, que l'humanité est unifiée et standardisée sur le plan de la communication et de l'information.

La complexité montre aussi que l'humanité est engagée dans un destin collectif, que ses activités, désormais, menacent aussi la biosphère. L'homme peut perturber le climat ou déclencher des extinctions massives d'espèces vivantes, mais il n'est pas en mesure de réguler des phénomènes qu'il a contribué à déclencher.

Réda Benkirane, sociologue, spécialiste de la communication
Consultant auprès d'organisations internationales,
chercheur au Al Jazeera Center for Studies
16 chemin Jacques Attenville, CH – 1218 Grand Saconnex

Propos recueillis par Anna Hohler

Voir aussi bibliographie p. 13

