TRACÉS 20

COMPLEXITÉ

132e année 18 octobre 2006
Bulletin technique de la Suisse romande

sia

Entre **vertiges** et promesses

PETIT CROQUIS DÉPLACÉ

Selon une vision traditionnelle du monde, l'univers est ordonné et le désordre, lui, est dû à notre ignorance. Une contradiction signale une erreur de pensée, et toute faille, un manque d'assiduité ou de moyens. « Nous vivons sous l'empire des principes de disjonction, de réduction et d'abstraction », dit le sociologue Edgar Morin. Cet ensemble, qu'il appelle le « paradigme de simplification », règne aujourd'hui en maître et « contrôle l'aventure de la pensée occidentale » depuis Descartes[1].

Certes, nous sommes malgré cela enclins au doute : le monde globalisé et contemporain est bien peu prévisible. Nous sommes déstabilisés par ce qui nous dépasse, par ce que nous n'arrivons pas à expliquer. Alors, nous avons trouvé cette parade : c'est que les choses sont « complexes ». A la question de savoir comment cerner la complexité, les scientifiques, tous domaines confondus, répondent volontiers que « tout est complexe ». Il suffit d'y être attentif pour se rendre compte que le mot subit aujourd'hui une inflation sans pareille.

Cet usage facile du mot mérite réflexion. Ne serions-nous pas justement en train d'éluder, de contourner toute situation qui risque de nous amener à un face-à-face avec la complexité ? Prenons l'analyse multicritère, par exemple. Au premier abord, c'est un bon moyen de prendre en compte différents points de vue, même si cela se passe en général au détriment de l'excellence. Cependant le multicritère, dans la pratique, revient souvent à compartimenter ce que l'on pensait décloisonner.

Le tout est plus que la somme de ses parties, faut-il le rappeler ? Ce n'est pas pour rien que Réda Benkirane, avec qui nous nous entretenons dans les pages qui suivent, associe le complexe avec les notions de vertige et de promesse[2]. Il est vrai que la complexité incarne un tremplin vers l'inédit – d'où les promesses – mais signale également l'impossibilité, même en théorie, d'une omniscience, et induit par là le fait que nous ne maîtrisons pas les choses – d'où le vertige. La complexité, « c'est le défi, ce n'est pas la réponse », dit encore Edgar Morin[3]. « Je suis à la recherche d'une possibilité de penser [...] à travers les incertitudes et à travers les contradictions. »

Anna Hohler

[1] Edgar Morin : « Introduction à la pensée complexe », *Ed. du Seuil*, 2005 [1990], p. 18
[2] Voir note p. 6
[3] Op. cit., p. 134

Réda Benkirane
Propos recueillis par Anna Hohler

« Nous vivons actuellement **l'âge d'or** de la 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 remarqué[1], 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 ?

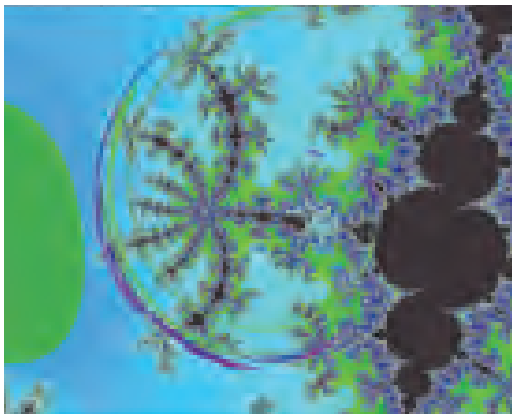
Réda Benkirane : L'origine de ce domaine remonte au XIXe siècle où, progressivement, on découvre aux bordures de la science classique, déterministe, linéaire, des phénomènes qui ne relèvent pas de la régularité, de l'invariance et de la symétrie. L'exemple le plus frappant concerne la géométrie. Pendant 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 XIXe, 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-

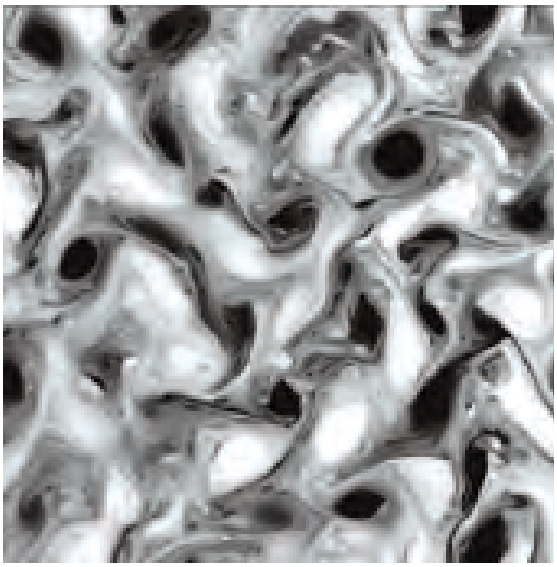


1

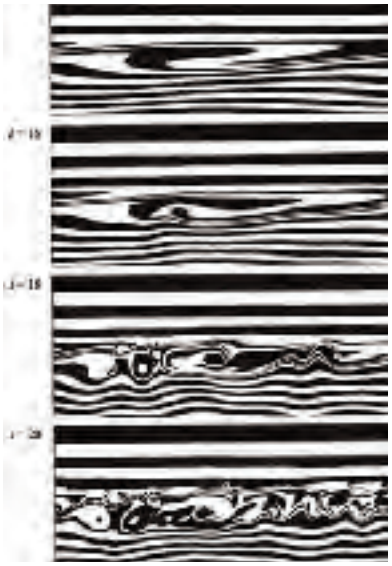
Fig. 1 : Figures du chaos, attracteur (Document J. C. Sprott)

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 ?

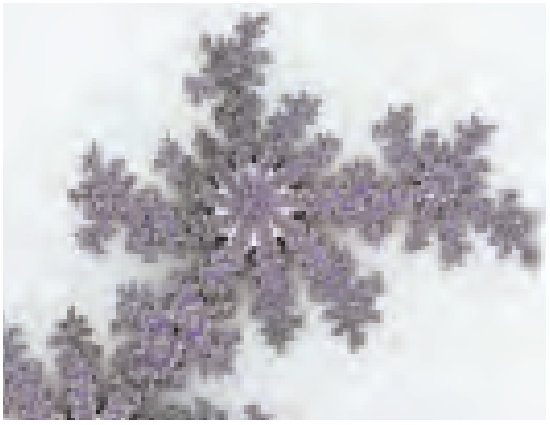
R. B. : Nous vivons actuellement son âge d'or. C'est une science participative de ce qu'elle observe, elle décrit des phénomènes hors de notre contrôle et de notre horizon de prédictibilité. Les sciences non-linéaires actuelles mettent fin à une crise de l'interprétation. Il s'agit de décrire des phénomènes 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

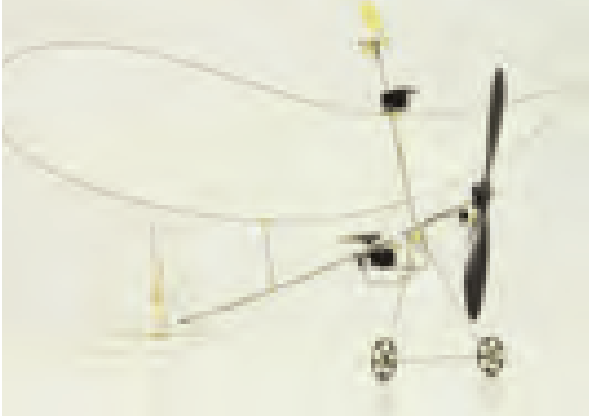
Fig. 5 : Robot volant du Laboratoire de systèmes intelligents de l'EPFL. Il pèse dix grammes et est équipé deux caméras linéaires CMOS, de deux gyroscopes, d'un anémomètre, d'un microcontrôleur 8-bit et d'un module radio Bluetooth. (Photo LIS / EPFL)

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



5

6

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.

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 intégrables, 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 XIXe 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.

8

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 bibliograhie p. 13

Francesco Della Casa

Les **fluidités** du territoire

La théorie de la complexité s'étant développée à partir de la description de phénomènes dynamiques, on pourrait penser qu'elle n'a, dans les domaines de l'architecture et de l'urbanisme, qu'une influence marginale. Par ailleurs, ces deux disciplines ne se prêtent que partiellement à une modélisation mathématique. Mais la révolution culturelle qui s'amorce dans le champ scientifique, grâce au développement de l'analyse des phénomènes complexes, offre néanmoins quelques pistes de réflexion.

En partant de la différenciation proposée par Réda Benkirane entre complication et complexité – une montre ou une automobile sont compliquées, mais non pas complexes (voir pp. 6 à 10) – , on tentera de faire la part de l'une et de l'autre dans les disciplines de l'architecture et de l'urbanisme.

En architecture, les modes de production d'une construction peuvent être décrits comme compliqués. Même lorsque le projet comprend des surfaces gauches, sa réalisation recourt, pour le calcul ou la mise en œuvre, à des transpositions dans un système euclidien. On citera par exemple la résolution des problèmes statiques, thermiques ou acoustiques dans le projet du Learning Center de l'EPFL.

Par contre, le processus du projet d'architecture – de nature prédictive – s'apparente plutôt à une opération complexe. Il s'agit en effet d'identifier et d'analyser toute une série de conditions, de programmes, de modes de vie des utilisateurs, de coûts, de perceptions, etc., plus ou moins variables durant la période de temps correspondant à la durée d'existence de l'objet. On pourrait donc, parvenus à ce point, établir une forme d'analogie avec la météorologie, science qui permit les premiers développements d'une théorie du chaos.

Toutefois, le degré de complexité du projet d'architecture est plus élevé, car il fait intervenir des appréciations de nature subjective. C'est notamment le cas de l'ensemble des processus liés à la perception. Ceux-ci diffèrent considérablement à un temps donné et peuvent évoluer très fortement.

Incertitudes fertiles

Qu'il soit décrit comme travail de synthèse de plusieurs conditions ou comme choix entre un grand nombre de variantes, le projet d'architecture ne peut s'appuyer uniquement sur une démonstration rationnelle. Ce qui n'empêche pas certaines œuvres d'avoir la force d'une évidence[1]. Il serait peut-être vain – et sans doute démesuré – d'entreprendre une investigation épistémologique à propos de processus qui diffèrent d'un individu à l'autre, voire d'une expérience de projet à une autre. On se limitera donc au témoignage de quelques architectes, qui réfléchissent à leur pratique à la lumière des théories de la complexité.

Pour Andrea Bassi, le projet ne peut plus être considéré aujourd'hui comme un processus linéaire, à partir d'une hiérarchisation préliminaire partant du contexte historique et urbain, puis se déclinant successivement par les études typologiques et la matérialisation. Les idées doivent se développer de manière autonome, pour le plus grand comme pour le plus petit, sans présupposé programmatique ni hiérarchie d'échelle. Pour illustrer la relation qui s'établit ensuite entre elles, il aime se référer à une phrase de Walter Benjamin, « les idées sont aux choses ce que les constellations sont aux planètes[2] », reprise par Alessandro Baricco, qui ajoute que « [les idées] se dégagent sur le fonds d'un univers conceptuel dépourvu de centre comme de limite, articulé sur les lignes de toutes les dispositions possibles de ses éléments[3] ». En décrivant son expérience du processus de projet, Bassi ajoute encore que « le moment le plus beau, c'est quand on avance dans l'incertitude ».

Pour Ueli Brauen, le projet d'architecture s'apparente à une combinatoire de problèmes. Le défi qui se pose à l'architecte est de tendre vers une simplification capable de permettre, simultanément, plusieurs niveaux de perception et d'usage.

[1] Encore faudrait-il analyser si ce caractère d'évidence est universel, ou s'il résulte de la construction d'un consensus culturel.

[2] Walter Benjamin : « Origine du drame baroque allemand », *Flammarion*, Paris, 1985, p. 31

[3] Alessandro Baricco : « Constellations », *Folio*, Paris 2002

Fig. 1 : Le maillage serré des villes européennes de plus de 10 000 habitants et distantes de moins de 25 km

Fig. 2 : Idem, pour les villes de plus de 10 000 habitants et distantes de 25 à 50 km

Fig. 3 : Idem, pour les villes de plus de 100 000 habitants et distantes de moins de 100 km (segments noirs) et de 100 à 150 km (segments rouges) (Documents Céline Rozenblat, Université de Montpellier)

Fig. 4 : Essaim d'abeilles

Fig. 5 : Jean-Honoré Fragonard, « Groupe d'enfants dans le ciel », dit « Essaim d'amours ». Huile sur toile, 65 x 56 cm, cat. 144, vers 1767. Paris, Musée du Louvre

1

2

3

Il s'intéresse en outre à la possibilité de mettre en jeu le facteur temps, c'est-à-dire d'envisager le projet comme un processus. Mais en même temps, Brauen s'inquiète des effets pervers d'une évolution qui consisterait à s'adapter aux modèles issus du monde de l'économie, qui fut l'un des premiers à tenter d'appliquer des modèles mathématiques issus des théories du chaos. A trop considérer l'évolution des villes comme des systèmes fluides, on risquerait de ne favoriser, en fin de compte, que des modèles de gestion à court terme.

Ces attitudes ont en commun de s'opposer à une conception « mécaniste » de la production architecturale. Cette remise en cause pourrait être comparée, d'une certaine manière, à l'évolution conceptuelle survenue en physique, où l'on est passé d'une conception classique des systèmes dynamiques (l'univers est une horloge) à une conception quantique.

Complexités urbaines

Dans le domaine de l'urbanisme, les théories de la complexité ont permis de passer d'une description statistique de la croissance des villes à des modèles qui mettent en évidence l'émergence de structures d'évolution des phénomènes urbains[4]. Les géographes les observent selon trois niveaux, microgéographique (les acteurs urbains et leurs interactions), mésogéographique (la ville et sa morphologie) et macrogéographique (les systèmes de villes dans leurs interactions).

Une étude macrogéographique menée par le CNRS[5] au moyen d'un modèle fondé sur les interactions a permis de montrer que la fluidité de ces systèmes s'accroît rapidement, suivant les progrès des communications et les innovations. Les grandes villes, où les innovations ont une probabilité supérieure de survenir, bénéficient plus rapidement des améliorations de leurs systèmes de transports. Elles se développent plus rapidement que les petites villes.

Une autre étude portant sur la distribution spatiale des villes européennes[6] fait apparaître une similitude surprenante entre trois représentations par maillage, en connectant par un segment toutes les villes de plus de 10 000 habitants distantes de moins de 25 km l'une de l'autre, respectivement celles situées entre 25 et 50 km, puis les villes de plus de 100 000 habitants distantes de 100 à 150 km (fig. 1 à 3).

D'autres recherches appliquent les théories de la complexité dans des travaux portant sur les relations entre le comportement des acteurs et l'évolution de la forme des villes. Ils ont

[4] Voir à ce propos Denise Pumain : « L'émergence des villes », in *Pour la Science* N° 214, décembre 2003

[5] voir <www.parisgeo.cnrs.fr>

[6] Céline Rozenblat : « Tissu d'un semis de villes européennes », in *Mappemonde* 4/1995

4

5

permis de révéler comment les préférences et les modes de transport déterminent une morphologie fractale des villes, les processus de ségrégation spatiale de certaines catégories sociales ou la manière dont une structure spatiale ou fonctionnelle émerge des interactions de niveau inférieur et influe sur le comportement des éléments responsables de ces interactions.

Les théories de la complexité ont ouvert un champ d'investigations considérable au niveau territorial. Si les recherches ont encore un caractère principalement descriptif, elles devraient peu à peu produire des modèles de processus susceptibles de faire évoluer les méthodes de planification et de politiques urbaines. On notera toutefois que des facteurs influents résistent à l'accélération de la fluidité dynamique relevée plus haut. Il s'agit notamment des modes de financement, des durées d'amortissement, de la relative inertie des marchés immobiliers et, par voie de conséquence, d'un droit du sol qui contribue à immobiliser les droits d'usage sur le long terme. Ce sont alors des phénomènes d'obsolescence (friches) qui permettent une progression, certes par à-coups, de la fluidité dynamique de la ville.

Rebonds

Les recherches entreprises par les géographes laissent entrevoir la perspective d'une meilleure compréhension de l'intrication entre l'échelle urbaine et l'échelle de l'architecture. On pourrait alors envisager l'évolution des villes comme résultant de phénomènes de contaminations simultanés.

Nous n'en sommes probablement qu'aux prémices de l'influence culturelle des théories de la complexité dans les domaines de l'architecture et de l'urbanisme. Les questions de la représentation devraient sans doute y jouer un rôle important. Jusqu'ici, les théoriciens ont souvent eu recours à des images issues de la géométrie fractale ou figurant les mouvements d'un essaim d'animaux, oiseaux migrateurs, bancs de poissons ou abeilles (fig. 4). On trouve néanmoins des traces anciennes de ce genre de constructions mentales dans l'histoire de la peinture. En témoigne, par exemple, l'essaim de chérubins que peignit Jean-Honoré Fragonard vers 1767 (fig. 5). La dissémination de personnages, tous identiques, sur un tableau en ellipse permet à l'artiste de suggérer une multiplicité dynamique de perceptions de l'espace, l'œil rebondissant sans fin du renflement d'une joue vers l'arc d'un bras, puis sur le bourgeonnement d'un nuage.

Essaim, ellipse, nuages... comme si Fragonard avait eu un pressentiment de la complexité de l'univers à une époque où, pourtant, Laplace affirmait que celui-ci n'est qu'une horloge.

Francesco Della Casa

Brève bibliographie commentée

[1] R. Benkirane : « La complexité, vertiges et promesses », *Ed. Le Pommier*, 2006 [2002]. Un recueil de 18 entretiens avec des physiciens, des mathématiciens, des biologistes, un chimiste, des informaticiens, des astrophysiciens, un sociologue et un philosophe. Extrêmement riche et très abordable.

[2] N. Cattan, D. Pumain, C. Rozenblat et T. Saint-Julien : « Le système des villes européennes », *Anthropos*, 1999. Présente plusieurs travaux de simulation de l'évolution des villes européennes au cours du temps et de leurs interactions.

[3] J. Gleick : « La théorie du chaos. Vers une nouvelle science », Flammarion, 1991 [1987]. Un best-seller du journaliste scientifique du New York Times, un excellent travail de vulgarisation qui a beaucoup contribué à médiatiser la théorie du chaos et, plus particulièrement, la célèbre métaphore du battement d'ailes d'un papillon qui provoque un ouragan ailleurs sur la planète.

[4] T. Kuhn : « La structure des révolutions scientifiques », *Flammarion*, 1976. Un ouvrage de référence dans l'histoire et la philosophie des sciences. L'auteur y développe la thèse d'une science progressant de manière fondamentalement discontinue, non par accumulation mais par rupture, et introduit la notion centrale de « paradigme scientifique ».

[5] D. Lecourt (dir.) : « Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences », *PUF*, 1999. Nous renvoyons notamment aux articles de Jean-Louis Le Moigne aux entrées « Complexité » et « Système ».

[6] E. Morin : « Introduction à la pensée complexe », *Ed. du Seuil*, 2005 [1990]. Incontournable. Un recueil de six textes très différents, articles et conférences écrits ou présentés dans les années 80 et qui présente plusieurs approches de ce que l'auteur appelle « la pensée complexe ».

[7] I. Prigogine : « Les lois du chaos », *Flammarion*, 1994 [1993]. Un livre très spécialisé, nécessitant un solide bagage mathématique, ponctué cependant de nombreux aphorismes.

[8] I. Prigogine : « La fin des certitudes. Temps, chaos et les lois de la nature », *Ed. Odile Jacob*, 1996. Une introduction pour un lecteur averti. Cependant, l'avant-propos (« Une nouvelle rationalité ») et le premier chapitre (« Le dilemme d'Epicure ») sont plus abordables.

Sur la route de la complexité

Dans la pratique, on préfère éluder le complexe. Souvent, les ingénieurs optent pour une analyse multicritère ou s'en remettent à l'expérience, deux attitudes qui ne stimulent que peu l'émergence de solutions novatrices. Certes, les sciences de la complexité trouvent leur origine dans des disciplines éloignées de la construction, mais ne faudrait-il pas avouer que nous aurions tout à gagner à nous en inspirer ? Deux exemples dans le domaine de la construction routière.

Plaçons-nous tout d'abord au niveau des projets de construction de route, en prenant le cas emblématique de la réalisation du réseau des routes nationales. Les défis engendrés par les premiers projets tenaient essentiellement à la résolution de problèmes techniques. Il s'agissait d'une logique binaire mettant en présence une fin unique (l'autoroute) et des moyens (la technique). Ces deux aspects étaient appréhendés de manière exhaustive par un seul individu – l'ingénieur : on évoluait dans un cadre simple, permettant une vision globale de la problématique. Aujourd'hui, les obstacles techniques sont devenus marginaux : ils ne représentent plus qu'un élément parmi d'autres – législation, écologie, développement durable. Le projet ne peut plus être envisagé sans intégrer nombre d'aspects qui n'ont qu'un rapport indirect avec son but premier, la réalisation d'une autoroute. Il s'avère que ces éléments sont interdépendants, ce qui rend délicate – voire impossible – la vision globale (exhaustive) évoquée ci-dessus et influe considérablement la recherche d'une solution optimale : on est confronté à un cas de complexité.

Une multitude d'interactions

A une autre échelle, le fonctionnement d'une chaussée bitumineuse est un excellent exemple de complexité. En dépit du manque de prestige lié à ce domaine, la compréhension fondamentale du comportement à long terme d'une route est plus délicate que celle d'un bâtiment ou d'un ouvrage d'art. Les facteurs entrant en jeu sont multiples : ils concernent le comportement des matériaux (viscoplasticité, non-linéarité, interaction entre matériaux liés et non liés, propriétés des liants), les conditions climatiques (température, eau) et de chargement (intensité et mode d'application des charges, sollicitations thermiques, réactions chimiques), la mise en place ou la diversité des modes de dégradation. Ce qui distingue les structures bitumineuses d'autres domaines du génie civil n'est pas cette multiplicité de facteurs à prendre en compte, mais les interactions variées et diverses qui les relient. Par exemple, la réaction du sol de fondation dépend de la rigidité des couches bitumineuses, cette dernière étant fonction des propriétés des matériaux bitumineux, lesquelles sont influencées par la vitesse de la charge et la température : la complexité de la problématique est évidente.

Dénués face à la complexité

Les réponses apportées par nos professions à ces deux cas de complexité sont significatives de notre dénuement en la matière. Dans le premier cas, on peut avoir recours à l'analyse multicritère. Si cela permet de prendre en compte différents points de vue, c'est en général au détriment de l'excellence : en mettant l'accent sur la compensation, voire le compromis, on court le danger d'un nivellement vers le bas. Dans le second cas, les ingénieurs s'en remettent avant tout à l'empirisme et à leur expérience, n'étant pas à même d'intégrer à leur pratique des avancées théoriques réelles mais confinées chacune à un seul secteur. La construction et l'entretien des routes, qui impliquent des investissements considérables, bénéficient peu des développements scientifiques.

On le voit à travers ces exemples : notre attitude consiste souvent à contourner la complexité plutôt qu'à chercher réellement à la prendre en compte. Si les enseignements provenant des sciences de la complexité ne nous fournissent certes pas de marche à suivre, ils doivent en revanche nous inspirer dans notre manière de chercher de nouvelles solutions. Et nous pousser à mettre en question le mode de pensée trop linéaire de nos professions – et de la société en général.

Jacques Perret