

## Zoom sur le Chaos

auteur: LOUIS J. DUBÉ

article paru dans *Interface* **18**, mars-avril 1997, 50-51.

Le phénomène dynamique que la recherche moderne appelle *chaos* a toujours existé, mais avant son appellation il n'existait aucun moyen de le distinguer d'autres types de comportements de nature aléatoire ou ordonnée. Et sans un moyen de le traiter en tant qu'entité séparée, on serait incapable même de concevoir son utilité, sa manipulation ou son contrôle.

Avant de donner une définition technique du chaos et afin de bien mettre en perspective la confusion possible entre son utilisation plus mondaine et celle qu'en font les scientifiques, un bref aperçu de l'origine du terme nous semble utile. Reprenons les choses depuis l'origine des temps.

*Au début, tout n'était que chaos,  
Rien que du vide, matière informe et espace infini.*

C'est ainsi qu'écrivait Hésiode dans sa Théogonie au 8<sup>ième</sup> siècle avant notre ère. Voici donc une première définition de l'état primordial de l'Univers où l'ordre et le désordre sont encore impensables. Un tel état est donc encore en deçà de toute description. Platon introduira ensuite son démiurge mathématicien qui permettra de retrouver l'ordre réel derrière le désordre apparent. Pour les anciens philosophes grecs, l'Univers devenait ainsi ce champ de bataille où s'affrontaient les forces de l'ordre, produisant le *cosmos*, et celles du désordre, menant au chaos. Par extension, la définition du chaos se cristallisa autour de celui d'un état de désordre dont la mesure se fait par rapport à un ordre (social, moral ou autre) préétabli. Une étude du désordre était rendu possible. En effet, même dans cette période sombre que fût le Moyen Âge, la *chaologie* semble avoir déjà été une sous-discipline de la théologie!

*La classification des composantes du chaos,  
Rien de moins n'est ici essayé.  
HERMANN MELVILLE dans "Moby Dick"*

Pour donner naissance à la *science du désordre*, il a fallu s'éloigner des origines mythologiques et religieuses du chaos. Une définition renouvelée s'imposait.

Alors qu'aucune définition n'est universellement acceptée, presque tous seront d'accord sur les 3 ingrédients suivants pour une définition opérationnelle. Le chaos est un *comportement apériodique à long terme* d'un *système dynamique* possédant une propriété d'*extrême sensibilité aux conditions initiales*. On s'explique.

- comportement apériodique à long terme signifie que l'évolution temporelle du système ne tend pas vers un état stationnaire ou périodique: la *régularité* est absente.
- système dynamique décrit tout processus dont le comportement est tel que le futur dépend d'une manière stricte de son état passé. Une loi existe donc qui régit les mouvements du système: le *déterminisme* est présent et la source de l'irrégularité est inhérente et n'est pas à chercher dans une composante aléatoire.
- extrême sensibilité aux conditions initiales indique qu'un très faible écart dans ces dernières suffit pour qu'apparaissent de très grands écarts dans les états ultérieurs. Cette propriété fondamentale est maintenant connue sous le nom évocateur d'*effet papillon*, selon lequel les battements d'ailes d'un papillon au Brésil seraient responsables d'un ouragan, quelques jours plus tard, sur les côtes de la Gaspésie. L'implication est bouleversante (non seulement pour les gens de la péninsule gaspésienne): malgré le déterminisme, la prévisibilité a disparu puisqu'il nous est impossible de spécifier les conditions initiales avec une précision absolue! On parlera donc de *chaos déterministe*, juxtaposition paradoxale mais tout à fait pertinente.

*Dans tout chaos existe un cosmos,  
Dans tout désordre un ordre secret.*  
CARL JUNG

Afin de saisir le bouleversement conceptuel qu'implique l'existence du chaos déterministe, il nous faut retourner en arrière, en fait quelque 300 ans. L'énoncé des lois universelles de la gravitation par Newton a transformé l'idée qu'on se faisait de l'Univers, non plus comme un organisme vivant ainsi que le concevait Aristote, mais plutôt comme une immense machine dont les rouages restaient à découvrir. Cette image strictement déterministe culmina un siècle plus tard et prit sa forme la plus extrême avec Pierre Simon de Laplace. Pour lui, toute matière était soumise aux lois mathématiques du mouvement et ce, dans le moindre détail. Etant donné l'état de l'Univers à un temps précis, le futur cosmique tout entier pouvait être uniquement déterminé, à une précision infinie, par les lois de Newton. Le temps cessait d'avoir une signification physique, puisque le futur était contenu dans le présent. Le temps ne faisait que tourner la page d'un livre cosmique déjà écrit ...

Cet édifice newtonnien fut sérieusement ébranlé au XX<sup>ième</sup> siècle. La *relativité* a mis fin à l'illusion newtonnienne du temps et de l'espace absolue. La *théorie quantique* introduisit un élément véritable d'imprévisibilité dans la nature; la chance apparaissait dans la fabrique même de la réalité. Et finalement, le *chaos* élimina la fantaisie laplacienne de la prévisibilité déterministe, même dans un monde purement classique.

*On doit posséder le chaos en soi*

*Pour engendrer une étoile qui danse ...*

FRIEDRICH NIETZSCHE

La *théorie du chaos* est jeune, à peine trente ans, en plein essor, animée par les idées originales de son grand précurseur, le mathématicien Henri Poincaré (1854-1912). L'enjouement pour cette "nouvelle science" est maintenant universelle se retrouvant aussi bien dans les sciences physiques qu'en sciences de la vie (biologie, physiologie) et sciences sociales (sociologie, économie, psychologie ...). CAVEAT EMPTOR! Les résultats de ces études sont d'autant plus fiables que la complexité du système original est faible. Les recherches en sciences de la vie et sciences sociales, par la nature même du système observé, ont très souvent une relation fort ténue avec la théorie *mathématique* du chaos. On doit se garder des généralisations trop "hyperboliques" et les conclusions doivent encore se prendre *cum grano salis*.

Les scientifiques ont quand même isolé un certain nombre de leçons de leurs recherches sur le chaos. Sans pouvoir entrer dans le détail, en voici une courte liste:

- a. le déterminisme implique la prévisibilité seulement dans le cas d'une précision infinie.
- b. même des lois simples peuvent engendrer des comportements fort complexes; certains parleront du chaos comme d'un nouveau *paradigme de la complexité*.
- c. "le déterminisme des lois naturelles n'exclut pas la fantaisie, le fortuit, l'imprévisible": une formule que l'on doit à I. Ekeland.
- d. malgré son imprévisibilité inhérente, on peut tirer partie de la richesse et de la complexité du comportement chaotique et envisager son contrôle.

Nous nous attarderons sur cette dernière leçon.

*Le Chaos donne souvent naissance à la vie*

*Là où l'Ordre n'engendre que l'habitude.*

HENRY BROOKS ADAMS

Les plus récents développements dans la théorie du chaos concernent la démonstration (théorique *et* expérimentale) de la maîtrise de l'imprévisible, i.e. le *contrôle du chaos*.

Le contrôle d'un état instable peut être visualisé par un exemple simple. Considérons le système consistant en un bâton déposé dans la paume de la main. Ce système n'est pas chaotique certes, mais si la position du bâton ne s'éloigne pas trop de la verticale, son état normalement instable peut être stabilisé par de faibles déplacements de la main. Ceci représente un exemple de stabilisation d'un état instable. (Un autre exemple de même nature est celui de la stabilisation d'une bille de verre sur une selle (près du point de selle évidemment. )

Les stratégies de contrôle de systèmes chaotiques sont des traductions mathématiques des déplacements de la main pour l'exemple précédent. Par ailleurs, le contrôle peut aussi s'effectuer sans une connaissance *a priori* d'un modèle mathématique du système dynamique étudié. De même manière qu'on peut balancer un bâton dans sa main sans pour autant connaître les équations du mouvement de Newton pour le bâton en question, on peut produire une stabilisation efficace de systèmes plus compliqués sans un système *explicite* d'équations différentielles. Cet aspect est particulièrement important parce que dans la plupart des situations expérimentales, on ne possède pas nécessairement de modèle analytique très précis.

La présence du chaos peut être un avantage considérable dans une variété de situations. Dans un système non-chaotique, de faibles manipulations changent peu la dynamique du système. Faute d'appliquer de fortes perturbations ou de modifier le système de façon importante, nous devons nous contenter de la performance que le système nous livre. Dans un système chaotique, d'autre part, nous pouvons choisir parmi une variété très riche de comportements dynamiques en employant seulement une "perturbation douce" grâce à l'effet papillon qui se chargera d'amplifier la perturbation. Ainsi on anticipe qu'il peut (pourra être) avantageux d'intégrer le chaos dans nos systèmes afin d'avoir accès à plusieurs types de comportement sans la nécessité d'avoir à appliquer de fortes perturbations ou encore d'avoir à concevoir des systèmes différents pour chaque comportement désiré. Il semble que le cerveau humain utilise déjà, du moins si la trace encéphalographique est une représentation adéquate de son activité, une stratégie d'opération où le chaos joue un rôle essentiel.

Le problème général du contrôle de systèmes dynamiques est très riche et peut apporter solution à d'importants problèmes technologiques dans un nombre toujours grandissant de domaines d'étude. Deux exemples spectaculaires se retrouvent dans les domaines de la *communication* (utilisation d'un signal chaotique porteur dans la transmission codée (secrète) d'information) et de la *physiologie* (contrôle de certains types d'arythmies cardiaques, (anti-) contrôle lors d'attaques épileptiques, traitement d'information neuronale).

Ainsi les scientifiques ont démontré que le désordre est loin d'être inaccessible ou dénué d'intérêt. Bien au contraire, "l'activité créatrice du chaos" nous apprend que l'ordre n'a plus le monopole du prodigieux.

**Pour en savoir davantage sur le CHAOS**

EKELAND I., *Au Hasard. La Chance, la Science et le Monde.* (Seuil, 1991)

FORD J., *What is chaos, that we should be mindful of it?*, dans "The New Physics", éd. par Paul Davies (Cambridge Uni. Press, 1989)

GLEICK J., *Chaos. Making a New Science.* (Viking Press, 1987);  
version française: *La théorie du Chaos: Vers une Nouvelle Science.* (Albin Michel, 1989)

HALL N. ED., *Exploring Chaos. A Guide to the New Science of Disorder.* (W.W. Norton and Co., 1993)

RUELLE D., *Hasard et Chaos.* (Odile Jacob, 1993)