Aperçu

edp sciences

LA THÉORIE DU CHAOS

EN IMAGES

ZIAUDDIN SARDAR & IWONA ABRAMS

→ Aperçu

LA THÉORIE DU CHAOS

ZIAUDDIN SARDAR & IWONA ABRAMS

edp sciences

Dans la même collection :

L'épigénétique en images, 2018, ISBN : 978-2-7598-2169-3

La théorie des jeux, 2018, ISBN : 978-2-7598-2168-6

Newton en images, 2017, ISBN : 978-2-7598-2097-9

La consciences en images, 2017, ISBN : 978-2-7598-1766-5

La philosophie des sciences en images, 2017, ISBN : 978-2-7598-2096-2

La linguistique en images, 2017, ISBN : 978-2-7598-1768-9

Les fractales en images, 2016, ISBN : 978-2-7598-1769-6

Les statistiques en images, 2016, ISBN : 978-2-7598-1770-2

L'infini en images, 2016, ISBN : 978-2-7598-1771-9

Stephen Hawking en images, 2016, ISBN : 978-2-7598-1966-9

L'intelligence artificielle en images, 2015, ISBN : 978-2-7598-1772-6

Les mathématiques en images, 2015, ISBN : 978-2-7598-1737-5

La génétique en images, 2015, ISBN : 978-2-7598-1767-2

La logique en images, 2015, ISBN : 978-2-7598-1748-1

La relativité en images, 2015, ISBN : 978-2-7598-1728-3

Le temps en images, 2014, ISBN : 978-2-7598-1228-8

La théorie quantique en images, 2014, ISBN : 978-2-7598-1229-5

La physique des particules en images, 2014, ISBN : 978-2-7598-1230-1

La psychologie en images, 2014, ISBN : 978-2-7598-1231-8

Translation from the English language edition of:
"Chaos: a graphic guide", © 2013 Icon Books Ltd
Traduction : Alan Rodney - Relecture : Gaëlle Courty

Imprimé en France par Présence Graphique, 37260 Monts
Mise en page de l'édition française : studiowakeup.com

ISBN (papier) : 978-2-7598-2352-9
ISBN (ebook) : 978-2-7598-2358-1

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinés à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1er de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences, 2019

Le yin, le yang et le chaos

La pensée chinoise ancienne reconnaissait l'existence d'un lien entre le chaos et l'ordre. Dans la mythologie chinoise, le dragon représente le principe de l'ordre, le yang, émergeant du chaos. Dans certains récits chinois de la création, un rayon de lumière pure, le yin, jaillit du chaos et construit le ciel. Le yin et le yang, respectivement les principes femelle et mâle, ont œuvré pour créer l'Univers. Mais même après avoir émergé du chaos, le yin et le yang en ont conservé les propriétés. Un excès de l'un ou de l'autre ramène inévitablement le chaos.

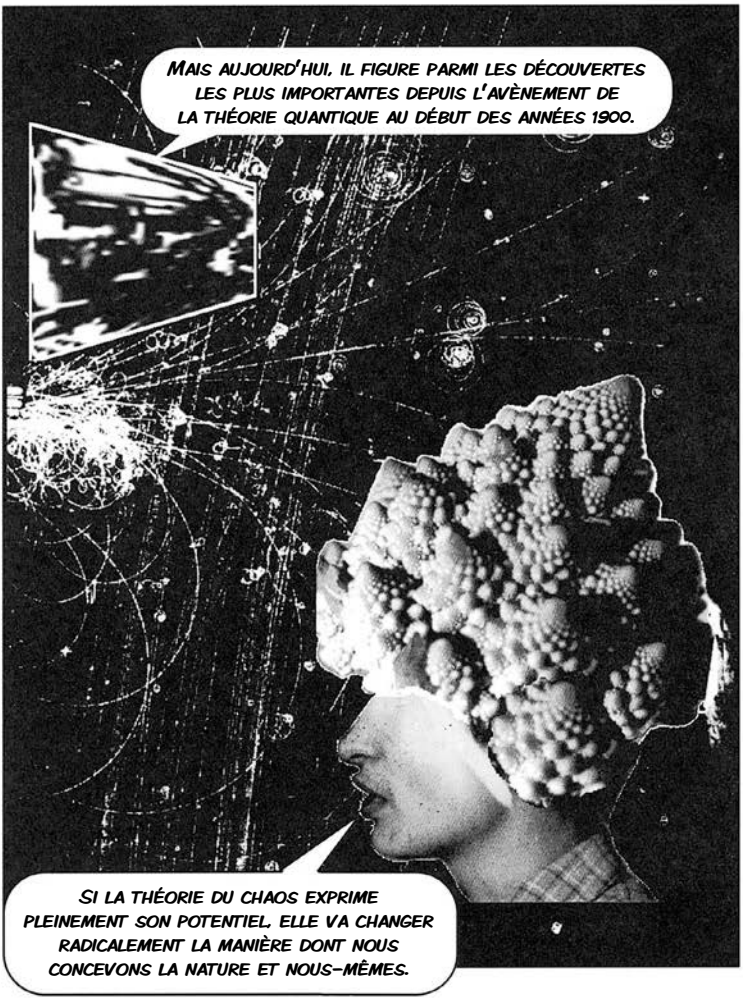
Le chaos ancien

Hésiode, un Grec du VIIIe siècle avant notre ère, est l'auteur de **La Théogonie**, un poème cosmologique qui affirme qu'« au commencement était le Chaos », puis vint la Terre et tout ce qui est stable. Les Grecs anciens semblaient avoir accepté l'idée que le chaos précède l'ordre, en d'autres termes que l'ordre provient du désordre.

La théorie du chaos

La théorie du chaos constitue un nouveau champ d'investigation scientifique passionnant.

Le phénomène du chaos est une découverte étonnante et controversée, que les scientifiques les plus respectables auraient qualifié de fantaisiste il y a environ une décennie.



Pourquoi le chaos est-il si passionnant ?

Le chaos est passionnant pour toutes les raisons suivantes…

Il relie nos expériences quotidiennes aux lois de la nature, en révélant les liens subtils entre *simplicité* et *complexité*, et entre l'*ordre* et l'*aléatoire*.

Il présente un univers à la fois déterministe et qui obéit aux lois fondamentales de la physique, mais est capable d'être désordonné, complexe et imprévisible.

Il montre que la prédictibilité est un phénomène rare qui n'opère qu'au sein de contraintes que la science a extraites de la riche diversité de notre monde complexe.

Il offre la possibilité de simplifier des phénomènes complexes.

Il combine les mathématiques imaginatives et la puissance de calcul phénoménale des ordinateurs modernes.

Il sème le doute quant aux démarches classiques de construction de modèles en science.

Il met en évidence le fait qu'il existe des limites inhérentes à notre compréhension et à notre capacité à prédire l'avenir à tous les niveaux de complexité.

Il est étonnamment attrayant ! Shakespeare avait vu juste en faisant dire à Hamlet dans l'acte 1, scène 5…

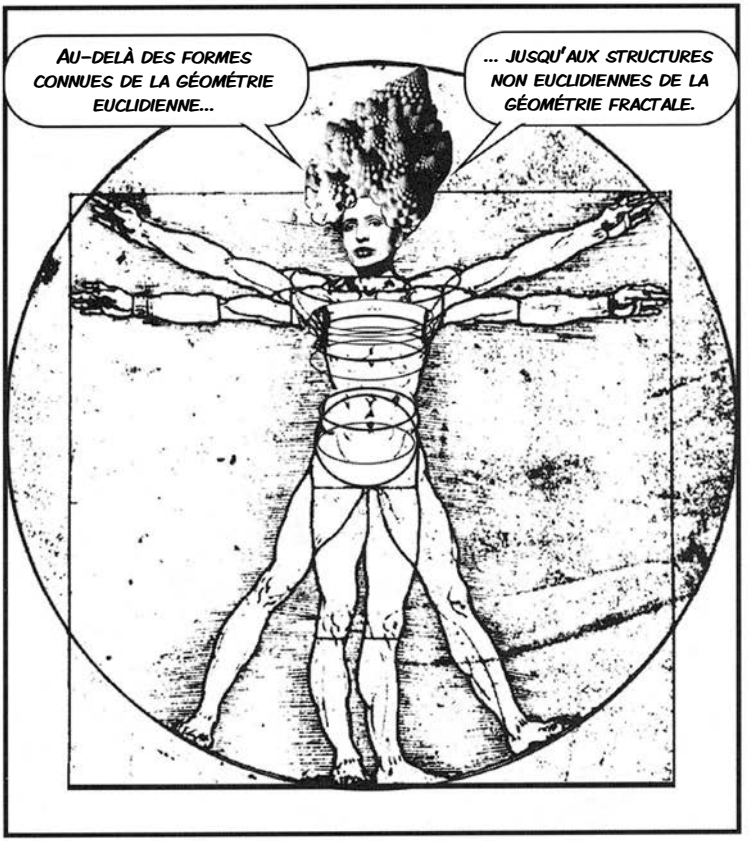
D'où provient le chaos ?

Trois développements majeurs récents ont fait du chaos un terme familier.

1. La puissance de calcul stupéfiante, qui permet aux chercheurs d'exécuter des millions de calculs complexes en quelques secondes.

2. L'augmentation de la puissance de calcul s'est accompagnée d'un intérêt scientifique croissant pour des phénomènes irréguliers tels que…

3. La théorie du chaos est née quand ces progrès ont été combinés à l'émergence d'un nouveau style de mathématiques géométriques…



Ces progrès ont eu un impact dans presque tous les domaines de l'entreprise humaine. La théorie du chaos ressemble à une mer dans laquelle se déversent les fleuves et leurs affluents de presque toutes les disciplines et tous les sujets – depuis les mathématiques, la physique, l'astronomie, la météorologie, la biologie, la chimie, la médecine à l'économie et l'ingénierie, de l'étude des fluides et des circuits électriques à l'étude des marchés financiers et des civilisations.

Définir le chaos

Différentes définitions ont été proposées pour décrire le chaos. En voici quelques-unes…

« Une sorte d'ordre sans périodicité. »

« Un comportement récurrent en apparence aléatoire dans un système simple déterministe (comme un mécanisme d'horloge). »

« L'étude qualitative du comportement apériodique instable dans les systèmes déterministes dynamiques non linéaires. »

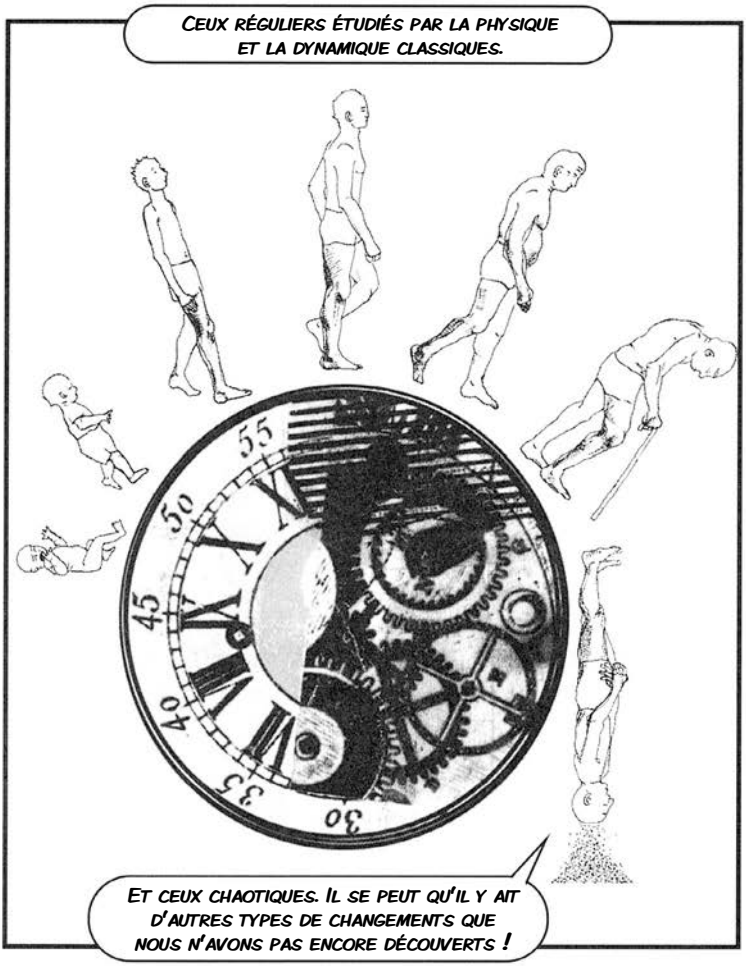
Et en voici une autre que nous devons à un mathématicien du domaine, **Ian Stewart** [1945-].

Les définitions techniques du chaos ne sont pas faciles à comprendre. Commençons donc par nous familiariser avec sa terminologie.

Le langage du chaos

Dynamique, changement et variable

Le chaos est un phénomène *dynamique*. Il a lieu quand quelque chose change. Fondamentalement, il existe deux sortes de changements.



Ce qui peut subir un changement dans une situation donnée s'appelle une **variable**.

Les systèmes

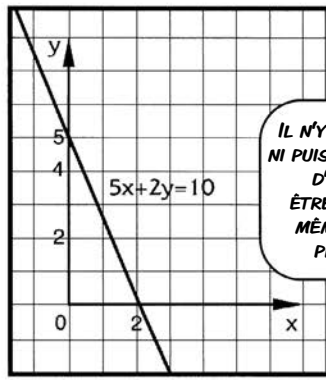
Une entité qui change au cours du temps est appelée **système**.
Les systèmes possèdent par conséquent des variables. Voici quelques exemples de systèmes.

Définir les systèmes

Un **système déterministe** est à la fois prédictible, stable et totalement connaissable. Un exemple classique de système déterministe est la vieille horloge de nos grands-parents. Les boules sur une table de billard ont un comportement circonscrit aux limites d'un système déterministe.

Dans les **systèmes linéaires**, les variables sont simplement et directement liées. Mathématiquement, une relation linéaire peut être exprimée comme une équation simple, où les variables impliquées apparaissent uniquement à la puissance un :

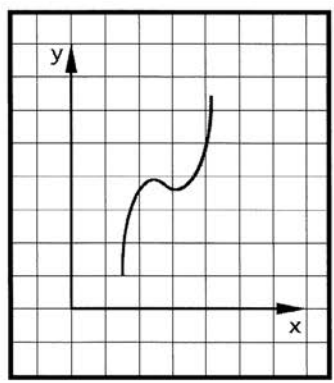
x = 2y + z



IL N'Y A ICI NI CARRÉ, NI CUBE, NI PUISSANCE 4, ETC. CES TYPES D'ÉQUATIONS PEUVENT ÊTRE RÉSOLUS FACILEMENT, MÊME SI ILS CONTIENNENT PLUSIEURS VARIABLES.

Les relations **non linéaires** impliquent des puissances autres que un. Voici une équation non linéaire :

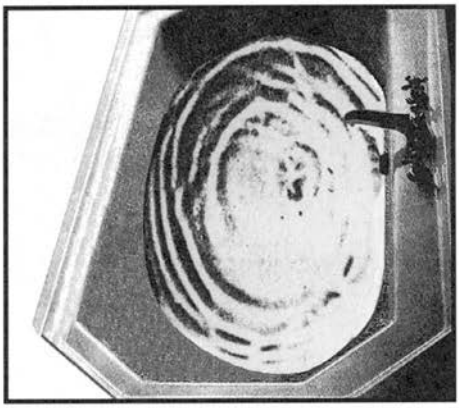
$A = 3B^2 + 3C^3$



De telles équations sont plus ardues à analyser et nécessitent souvent l'aide d'un ordinateur pour être comprises.

Équations périodiques et apériodiques

Une **période** est un intervalle de temps caractérisé par l'occurrence d'une certaine condition ou d'un certain événement. Une variable dans un **système périodique** reproduit exactement son comportement passé à intervalles réguliers – songez au mouvement d'un pendule.



Un comportement **apériodique** se produit lorsqu'aucune variable conditionnant l'état du système ne présente de répétition parfaitement régulière de valeurs – visualisez le flux d'eau qui s'écoule dans un lavabo.

Un comportement **apériodique instable** est extrêmement complexe. Il ne se répète jamais et continue de montrer les effets de la moindre petite perturbation du système. Cela rend les prédictions exactes impossibles et produit une série de mesures qui semblent aléatoires.

Qu'est-ce qu'un comportement instable apériodique ?

Un comportement instable, mais périodique, est difficile à imaginer – en effet, il semble contradictoire par définition. Cependant, l'histoire de l'humanité nous fournit justement plusieurs exemples d'un tel phénomène. Il est possible de rendre compte des schémas généraux dans l'essor et le déclin des civilisations. Nous pouvons voir que ces schémas sont *périodiques*. Mais nous savons que les événements ne se répètent en réalité jamais exactement. Dans ce sens réaliste, l'histoire est *apériodique*. Nous pouvons aussi lire dans nos livres d'histoire que de petits événements apparemment insignifiants ont débouché sur des changements durables dans le cadre des affaires humaines.

Maintenant que notre perception a évolué, nous observons un tel comportement dans les événements les plus courants : l'eau qui goutte d'un robinet, un drapeau qui ondule dans le vent, la fluctuation des populations animales.

Les systèmes linéaires

Donc : tout simplement, le chaos est l'occurrence d'événements apériodiques, en apparence aléatoires, dans un système déterministe. Il y a de l'ordre dans le chaos et du chaos dans l'ordre. Les deux sont plus étroitement liés qu'on ne l'avait jamais imaginé.

Mais puisque les systèmes déterministes sont prédictibles et stables, cela paraît illogique. Les Hommes ont l'habitude de chercher des schémas et des relations linéaires dans tout ce qu'ils voient.

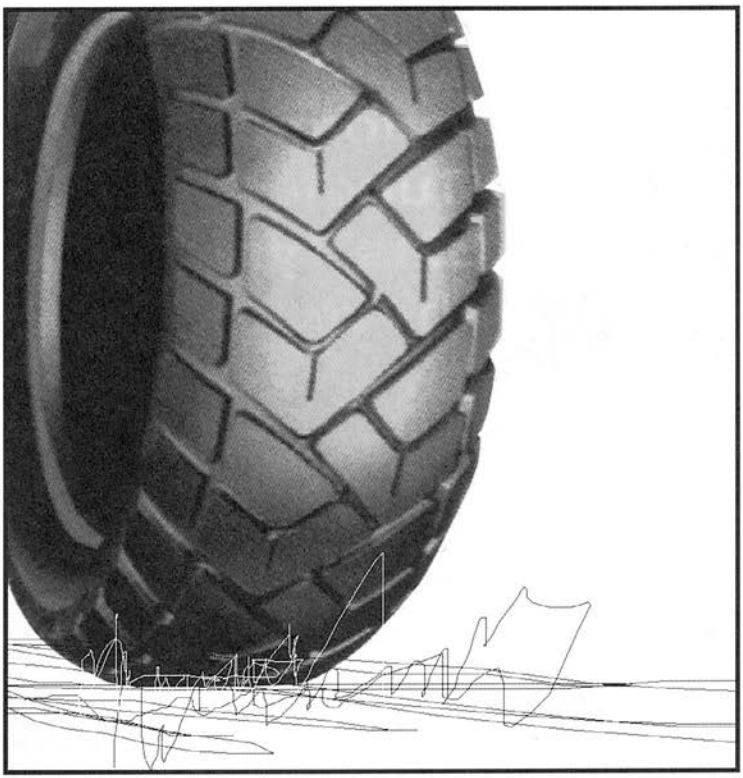
Autrement dit, elles forment une ligne droite sur le graphique et nous savons où va cette ligne.

Les relations linéaires et les équations sont résolubles. Il est ainsi plus facile de les aborder et les manipuler.

Difficulté non linéaire

En revanche, les équations non linéaires sont insolubles. La friction, par exemple, rend souvent les choses difficiles en introduisant de la non-linéarité. Sans friction, la quantité d'énergie nécessaire pour accélérer un objet est exprimée par une équation linéaire…

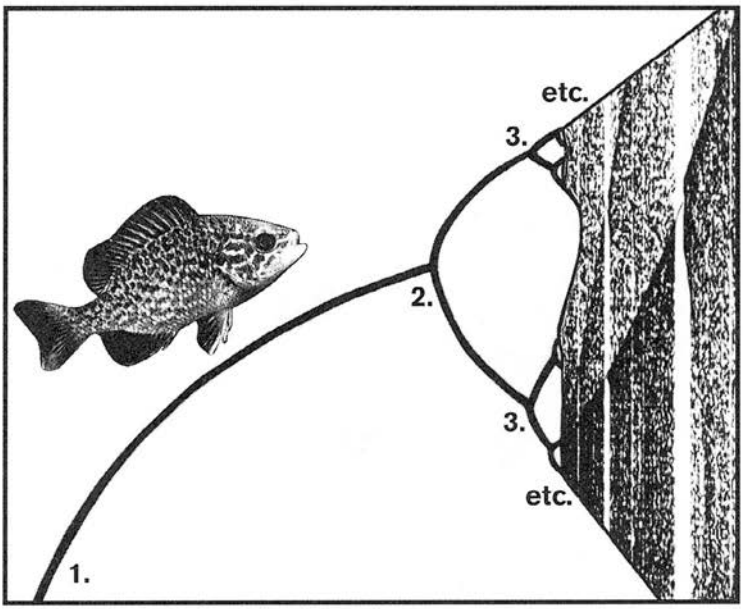
force = masse × accélération



La friction complique les choses car la quantité d'énergie varie selon la vitesse de déplacement de l'objet.

Par conséquent, la non-linéarité modifie les règles déterministes au sein d'un système et rend la suite des événements difficile à prédire.

Il existe un exemple très connu de relation non linéaire dans l'histoire du chaos. **Robert May** [1936-], un biologiste, étudiait une population imaginaire de poissons. Le modèle mathématique dont il se servait pour la population des poissons était l'équation $\mathbf{x}_{\text{prochaine}} = \mathbf{rx(1 - x)}$, où **x** représente la population actuelle de poissons dans une zone. Lorsque le paramètre **r** (taux de croissance) était de 2,7, May trouva que la population était de 0,6292.



1. Au fur et à mesure que le paramètre r augmentait, la population finale augmentait aussi légèrement, dessinant une ligne qui montait au fur et à mesure qu'elle se déplaçait de gauche à droite sur le graphique.

2. Soudain, alors que **r** avait dépassé la valeur 3, la ligne se subdivisa en deux et May dut réaliser le tracé de deux populations. Cette scission signifiait que la population passait d'un cycle annuel à un cycle bisannuel.

3. Au fur et à mesure que le paramètre augmentait encore plus, le nombre de points doublait encore et encore. Le comportement était complexe mais régulier. Au-delà d'un certain point, le graphique devint totalement chaotique – et le graphique fut entièrement noirci. Cependant, même au milieu de ce chaos, des cycles stables revenaient alors que le paramètre augmentait.

La plupart des forces dans la vie réelle sont non linéaires. Pourquoi alors n'avons-nous pas découvert cela plus tôt ? La raison pour laquelle le comportement chaotique n'avait pas été étudié jusqu'à présent réside dans le fait que les scientifiques réduisaient des problèmes non linéaires difficiles à des problèmes linéaires plus simples afin de les analyser. Les travaux de Galilée sur la gravité nous en offrent un excellent exemple. **Galilée** [1564–1642], un physicien italien, négligeait les petites non-linéarités afin d'obtenir des résultats nets.

Depuis l'avènement de la science occidentale « moderne », nous vivons dans un monde qui se comporte comme si le seul animal existant était l'ornithorynque !

Biographies

Ziauddin Sardar a toujours vécu au bord du chaos. Ayant débuté comme journaliste scientifique, il s'est auto-organisé spontanément en reporter télévisuel, futurologue, expert d'études islamiques, critique culturel et professeur invité en sciences politiques. Ce comportement chaotique l'a poussé tout naturellement vers un attracteur étrange appelé gribouillage ; et le doublement périodique l'a conduit à produire une bonne vingtaine d'ouvrages académiques et populaires. Il est l'auteur d'études classiques, dont *The Future of Muslim Civilisation* et *Islamic Futures*. Parmi ses écrits plus récents, on trouve *Mathematics*, *Muhammad*, *Cultural Studies* et *Postmodernism* (coauteur) dans la collection « *Introducing…* », *Postmodernism and the Other*, *Barbaric Others* (coauteur), *Cyberfutures* (coédité) et *The Consumption of Kuala Lumpur*. La dépendance sensitive aux conditions initiales ont nécessité une vie de famille : il est marié, a trois enfants et vit à Londres.

Iwona Abrams – illustratrice et graveuse.
Diplômée de l'Académie des beaux-arts de Cracovie en Pologne et du Royal College of Art de Londres.
Ses œuvres ont été exposées en Grande-Bretagne et à l'étranger.
Commandes: Vintage, Woman's Press, Heinemann International, Cambridge University Press, *The Sunday Times*, *GQ*, *The Economist*, *The Observer*, *Spero Communications*.

Remerciements

Nous remercions Gail Boxwell pour son aide chaotique.

Iwona Abrams remercie Teresa Frodyma pour avoir joué le rôle de Chou-Choux.

Si un papillon bat des ailes au Brésil, est-ce que cela peut provoquer une tornade au Texas ?

La théorie du chaos tente de répondre à de telles questions déroutantes. La découverte d'aléatoire au sein de systèmes physiques en apparence stables s'est transformée en une science proclamant que l'Univers est bien plus imprévisible que nous ne l'avions imaginé.

Cet « Aperçu » du chaos explique comment le chaos se manifeste dans une série d'événements, depuis les fluctuations des populations animales aux hauts et bas du marché financier. Il analyse également les racines du chaos dans les mathématiques modernes et la physique, et explore les liens entre chaos et complexité, la théorie unificatrice qui suggère que tout système complexe évolue à partir de quelques règles très simples.

Le livre offre une introduction accessible à une théorie étonnante et controversée.

Ziauddin Sardar est écrivain et journaliste scientifique. Il écrit sur une grande variété de sujets dans de nombreux journaux et magazines à travers le monde. Il est également professeur invité d'études postcoloniales à la City University de Londres. Iwona Abrams est illustratrice et graveuse.

Originale et très illustrée, la collection **Aperçu** *est une introduction aux grands concepts ou théories scientifi ques. Grâce à son style décalé et ludique, elle permettra à tout lecteur d'enrichir sa culture générale.*

Prix : 9,90 €

Couverture et illustration par edwardbettison.com

ISBN 978-2-7598-2352-9