

Table des matières

Introduction, Jean-Claude Serge Lévy (page 3)

Partie I

DÉSORDRE ET COMPLEXITÉ DANS LES ARTS ET LES TECHNIQUES

CHAPITRE 1, Kitsou Dubois

Corps modifié en microgravité. Complexité et paradoxe du corps en suspens (page 17)

- 1] Processus expérimentaux: l'immersion/expérimentation
 - 1.1] Immersion/expérimentation
 - 1.2] Incarnation/incorporation et création
- 2] Conclusion

CHAPITRE 2, Gaston Tolila

Processus de conception en architecture: entre analyse complexe et fulgurances désordonnées (page 23)

- 1] Méthode de conception architecturale
 - 1.1] Les objectifs
 - 1.2] Du contexte au concept
 - 1.3] De la consistance au construit
 - 1.4] Boucles itératives et fulgurances
 - 1.5] Matrice de conception
- 2] Exemple d'application
 - 2.1] Du contexte au concept
 - 2.2] De la consistance au construit
- 3] Finalité de la méthode de conception
- 4] Conclusion

CHAPITRE 3, Jean-Claude Serge Lévy

Complexité et désordre en peinture, architecture et urbanisme: vers une cité tridimensionnelle. Une vue de physicien (page 39)

- 1] Complexité et désordre en peinture

- 2] Complexité et désordre dans les symétries des pavages de l'art islamique
- 3] Complexité et désordre en architecture civile
 - 3.1] Complexité et désordre des façades
 - 3.2] Complexité et désordre des formes architecturales
- 4] Complexité et désordre en urbanisme
 - 4.1] Quelques calculs de densité en urbanisme
- 5] Conclusion

Partie II

DÉSORDRE ET COMPLEXITÉ EN PHILOSOPHIE, MATHÉMATIQUE ET ÉPISTÉMOLOGIE

CHAPITRE 4, Nicolas Piqué

Chaos et émergence: penser la complexité historique (page 69)

CHAPITRE 5, Vincent Legeay

Complexité et phase de constitution des corps chez Spinoza (page 85)

- 1] Les paires de phases au principe de la constitution des corps en E2p13sc
- 2] En sens inverse: de Cordón à Spinoza
- 3] Le moment de la balance: quels gains, quelles pertes?
 - 3.1] Les gains, en pagaille, d'une telle analyse historique
 - 3.2] Les pertes ou les limites sur un tel chantier d'analyse
- 4] Conclusion

CHAPITRE 6, Fabrizio Li Vigni

La place du désordre dans les différentes traditions des théories de la complexité (page 99)

- 1] Pourquoi parler de traditions?
- 2] Trois théories sur un tableau
- 3] Exercices définitionnels
- 4] Une première tradition: la complexité algorithmique
- 5] Une deuxième tradition: une science des réseaux dynamiques
- 6] Une troisième tradition: cybersystémique
- 7] La place du désordre dans les trois traditions de la complexité

CHAPITRE 7, Philippe Depondt

Démocrite, Épicure et Karl Marx, vus par un physicien (page 111)

CHAPITRE 8, Hervé Zwirn

Émergence et irréductibilité computationnelle (page 121)

- 1] Des systèmes simples dont est bien en peine de prédire le comportement
 - 1.1] Les automates cellulaires monodimensionnels
 - 1.2] Le jeu de la vie
 - 1.3] La fourmi de Langton
- 2] L'irréductibilité computationnelle
 - 2.1] Définition intuitive
 - 2.2] Définition formelle
- 3] L'explication de l'émergence
- Appendice] Les machines de Turing

CHAPITRE 9, Laurence Viennot et Nicolas Décamp

Concept et critique: lignes enchevêtrées des dynamiques d'apprentissage en physique (page 143)

- 1] Une étude emblématique: la datation au carbone 14
 - 1.1] ^{14}C : l'enquête
 - 1.2] ^{14}C : critique différée et anesthésie experte du jugement
- 2] L'anesthésie experte: la chute « libre » depuis un ballon à hélium
- 3] La critique différée: l'exemple de la couverture de survie
- 4] Récapitulation et remarques finales

Partie III**DÉSORDRE ET COMPLEXITÉ DANS LES SYSTÈMES PHYSIQUES**

CHAPITRE 10, Hung T. Diep

Complexité, désordre et frustration (page 155)

- 1] Terminologie pour les non-spécialistes
- 2] Ordre-désordre aux frontières des phases dans des systèmes frustrés
- 3] Films minces magnétiques aux frontières des phases
- 4] En guise de conclusion: physique statistique et socio-physique

CHAPITRE 11, Anne Tanguy

Le désordre peut-il être source de mouvements collectifs?**L'exemple des matériaux amorphes** (page 171)

- 1] Qu'est-ce qu'un matériau amorphe?
- 2] Désordre et instabilités
- 3] Désordre et vibrations

4] Désordre et diffusion

5] Conclusion

CHAPITRE 12, Jean-Claude Serge Lévy, Philippe Depondt, Slawomir Mamica

Tourbillons magnétiques à trois dimensions.

Une complexité inexplorée (page 191)

1] Bref historique des progrès récents en structure magnétique

2] La recherche des structures magnétiques en volume

CHAPITRE 13, Kamel Boukheddaden et Mouhamadou Sy

Émergence de structures de Turing dans les cristaux à transition de spin sous lumière (page 213)

1] Une brève présentation de la transition de spin

2] Un exemple de comportement thermique à l'état solide

3] Visualisation de la transition de spin sur monocristal

4] Un front de propagation plus lent qu'un escargot

5] Les gradients thermiques comme moyen de contrôle de la dynamique d'interface

6] Modélisation spatio-temporelle du phénomène de transition de spin

7] Les fronts de transition

8] Prédiction de structures auto-organisées et émergence de la complexité

8.1] Solutions spatialement homogènes

8.2] Solutions inhomogènes

8.3] Courbes de dispersion

9] Structures dissipatives

10] Conclusion

Partie IV

DÉSORDRE ET COMPLEXITÉ DANS LES SYSTÈMES VIVANTS ET SOCIAUX

CHAPITRE 14, Thomas Vourc'h, Julien Léopoldès et Hassan Peerhossaini

Caractérisation de la dynamique diffusive de la cyanobactérie *Synechocystis* sp. PCC 6803 (page 253)

CHAPITRE 15, Laurent Goffart

De la représentation cérébrale spatio-temporellement distribuée à la capture ici et maintenant d'un objet visuel en mouvement (page 267)

1] L'orientation du regard et la mensuration du champ visuel

- 2] Quelques éléments neuro-psycho-physiologiques de base
- 3] Le découpage oculomoteur du champ visuel
- 4] La transformation spatio-temporelle
- 5] Une transformation implicite ou explicite?
- 6] Des notions permettant de raisonner sur les mesures
- 7] Le monde regorge de choses en mouvement
- 8] L'hypothèse de la double commande
- 9] Échantillonnage discret versus flux continu
- 10] Hyperespace cérébral versus dynamisme
- 11] Que signifie ici et maintenant?
- 12] Des modèles dans le cerveau ou sur le papier?

CHAPITRE 16, Victor Lefèvre

Faut-il postuler un ordre écologique pour expliquer la persistance des écosystèmes? (page 295)

- 1] Pourquoi expliquer la persistance des écosystèmes?
 - 1.1] La structure générique d'un écosystème
 - 1.2] Pourquoi expliquer la persistance des écosystèmes?
- 2] Expliquer la persistance des écosystèmes par l'auto-organisation
 - 2.1] Comprendre l'auto-organisation: l'exemple des cellules de Bénard
 - 2.2] Importance de l'auto-organisation pour la persistance des écosystèmes
 - 2.3] Limites du maintien des écosystèmes par l'auto-organisation
- 3] Expliquer la persistance des écosystèmes par la clôture organisationnelle
 - 3.1] L'organisation biologique comme clôture organisationnelle
 - 3.1.1] *L'organisation biologique comme autopoïèse*
 - 3.1.2] *L'organisation biologique comme clôture de contraintes*
 - 3.2] Stabilisation des écosystèmes par la clôture organisationnelle
 - 3.2.1] *Contraintes et processus au sein du sol d'une forêt tempérée*
 - 3.2.2] *Contraintes et processus au sein des écosystèmes de castors*
 - 3.2.3] *Contraintes et processus au sein des écosystèmes océaniques*
- 4] Conclusion

CHAPITRE 17, Raymond Pictet

Pourquoi la société humaine implique-t-elle le désordre? (page 321)

- 1] Le comportement
- 2] La vie sociale: origine et définition
- 3] Vie sociale et coopération
- 4] La vie sociale: la tribu
- 5] De la vie sociale à la vie sociétale
- 6] Le comportement social génétique: le cas des «sociétés» animales
- 7] La capacité d'apprendre
- 8] La communication
- 9] Origine et spécificité du langage
- 10] Le langage: communiquer dans le cadre de la vie sociale et de la vie sociétale n'est pas seulement une augmentation de complexité mais aussi un changement de type de complexité
- 11] De la société à la mondialisation

CHAPITRE 18, Pierre Ghewy, Marc Jaillot & Anthony Tchekemian

Complexité organisationnelle et désordre relationnel: quels impacts sur les performances des entreprises? (page 341)

- 1] La performance des coopérations interentreprises et leur formalisation
 - 1.1] La performance des coopérations interentreprises
 - 1.2] La formalisation des coopérations
 - 1.3] Le stress de rôle
- 2] La méthodologie
 - 2.1] Le recueil des données
 - 2.2] L'analyse des données
 - 2.3] La validation du modèle et des hypothèses
 - 2.4] La discussion des résultats
 - 2.4.1] *L'impact de la formalisation du contrat sur la perception des résultats de la coopération*
 - 2.4.3] *L'impact du stress de rôle sur la performance de la coopération*
- 3] Implications managériales
- 4] Conclusion

Introduction

Jean-Claude Serge Lévy¹

Cet ouvrage pluridisciplinaire «Complexité-Désordre» s'inscrit dans ce qui est déjà une tradition de dialogue entre disciplines, à parts égales, entamée depuis longtemps à propos de différents thèmes, bien sûr apparentés entre eux, comme les systèmes à mémoire², les nouveaux matériaux³ ou les tourbillons, spirales et labyrinthes⁴. Cette tradition a été poursuivie avec les réunions «Complexité-Désordre⁵». À l'origine de cet effort de mélange entre disciplines vient la constatation d'une dualité essentielle et malgré tout peu développée dans l'activité du chercheur : de même que l'enseignement à différents niveaux est une démarche complémentaire de la recherche la plus pointue en ce qu'elle assure la possibilité de la transmission des résultats de recherche, et donc d'un élargissement réfléchi de ces mêmes résultats, le partage d'expériences de recherche, de concepts, avec les chercheurs d'autres disciplines est une étape essentielle d'appréciation et de fertilisation réciproque, cette fois avec une réelle égalité entre les partenaires de cet échange, même si la

[1] Professeur émérite à l'Université Paris Diderot, laboratoire Matériaux et phénomènes quantiques, UMR CNRS 7162, UFR de physique, Université Paris Diderot, 10 rue Alice Domon et Léonie Duquet, 75013 Paris.

[2] À la suite de réunions pluridisciplinaires au début des années 1980, Jean Delacour et moi-même avons dirigé *Systèmes à mémoire, une approche multidisciplinaire* (Masson, 1989) rédigé par 13 auteurs. Parallèlement, nous avons dirigé, à la suite d'un colloque international tenu à Paris en 1987, *Systems with Learning and Memory Abilities* (North Holland, 1988), avec 31 auteurs.

[3] Dans l'ouvrage *Nouvelles structures de matériaux* (Masson, 1992), dont j'ai été le directeur, trois sortes de matériaux sont considérées : les quasi-cristaux situés entre les cristaux et les amorphes, les fractals et les réseaux neuronaux.

[4] Au sein de l'Université Paris Diderot, en mai 2010, j'ai coorganisé avec Anne Debaecker les journées «Tourbillons, spirales et labyrinthes».

[5] Les réunions «Complexité-Désordre» développées à l'Université Paris Diderot et soutenues par l'UFR de physique dès leur création en 2012 ont déjà donné lieu à une première publication : *Complexité et désordre : éléments de réflexion* (EDP Sciences, 2015), avec 12 auteurs.

distance est grande. Le critère primordial d'évaluation d'une telle entreprise d'échange est son efficacité. Cette efficacité ne peut se lire, être mesurée, que sur des temps longs, car il s'agit ici d'effets indirects, non forcés par une nécessité économique mais simplement soutenus par une réflexion. Ces échanges peu probables sont donc rares, mais significatifs, et donc porteurs de conséquences. Du coup, il est nécessaire de prendre du recul dans le temps et l'espace pour apprécier les avantages d'une telle complémentarité pluridisciplinaire étendue. Pour cela l'exemple de la longue vie et de l'immense œuvre de Claude Lévi-Strauss, à la fois philosophe, ethnologue, anthropologue, écrivain, et scientifique, fondateur du Laboratoire d'anthropologie sociale, et donc éminemment pluridisciplinaire lui-même, est enrichissant. Il s'exprimait ainsi, non sans humour, en réponse à des critiques :

Mon but n'est pas de formuler un système, mais faisant flèche de tout bois, de recourir à n'importe quel schème tombé dans le domaine public de la tradition philosophique, s'il peut servir mon intention profonde de conduire mes contemporains à percevoir la saveur unique d'une institution ou d'une croyance. Les considérations philosophiques ne sont que des socles bâclés sur lesquels je monte de plus précieux objets⁶.

Plusieurs points dans le parcours de Lévi-Strauss marquent de façon décisive l'approche actuelle de la complexité et du désordre que l'on peut avoir d'un point de vue pluridisciplinaire. Ainsi sa considération à la fois de toutes les civilisations passées et présentes est une entreprise où le désordre paraît nécessaire, ou au moins normal dans un contexte aussi complexe.

Le premier point que nous choisirons de souligner ici est celui de la méthode à utiliser pour traiter de la complexité et du désordre. Lévi-Strauss s'est tout d'abord intéressé à de petits groupes d'Indiens, à une époque où ces groupes étaient à peu près isolés. Une telle étude de phénomènes complexes, initialement dans de petits systèmes, permet une analyse fine qui sera ensuite utile pour découvrir ce qui se passe à une échelle plus vaste. « Le lointain éclaire le proche, mais le proche peut aussi éclairer le lointain⁷. »

C'est cette même approche de petits systèmes qui est soulignée dans le qualificatif « élémentaire » inscrit dans le titre même de

[6] Claude Lévi-Strauss, « À propos de "Lévi-Strauss dans le XVIII^e siècle" », *Cahiers pour l'analyse* n° 8, 1969, p. 89-90.

[7] Claude Lévi-Strauss, « Le retour de l'oncle maternel », in *Nous sommes tous des cannibales*, Seuil, 1993, p. 242.

*Structures élémentaires de la parenté*⁸. En effet c'est la petite taille du groupe considéré qui va permettre d'étudier de façon exhaustive les graphes qui caractérisent ces structures. Et dans ce travail on a déjà, en même temps, un exemple fort de pluridisciplinarité avec l'étude technique, mathématique, de ces graphes devenus abstraits. De fait, ces groupes d'Indiens se fréquentent de temps en temps et on peut donc discerner, distinguer aussi des systèmes plus vastes, et voir comment la structure de ces graphes évolue avec ce changement d'échelle. C'est donc toute une démarche scientifique fructueuse de l'étude de la complexité qui se joue et se démontre ici.

Cette recherche d'exogamie, car c'est bien ce qui est souligné dans cette prohibition de l'inceste, moteur de ces structures sociales, le tout dans un espace assez confiné, peut donc être ainsi théorisée. La prohibition de l'inceste structure les générations successives de ces groupes, de ces peuples, et a aussi pour écho, ici dans le contexte de ce livre, l'intérêt pour des échanges extra-disciplinaires, au-delà des réseaux intradisciplinaires directs, proches et familiers en quelque sorte. Ceci est un deuxième point d'intérêt de l'œuvre et du parcours personnel de Claude Lévi-Strauss qui a aussi vécu de façon imagée, mais personnelle, l'expérience de la rencontre des groupes d'Indiens. En effet, le caractère fructueux de ces rencontres entre groupes d'Indiens, dans un contexte relativement confiné, s'est effectivement reproduit pour Lévi-Strauss lors de ses années new-yorkaises où il se trouve dans une communauté d'émigrés à la fois relativement petite et très variée, parmi les exilés français et bientôt à l'École libre des hautes études, avec de nombreux représentants d'autres disciplines et notamment des linguistes comme Roman Jakobson, des historiens comme Fernand Braudel ou des artistes comme André Breton. Le parallèle entre son expérience d'ethnologue et sa vie réelle est assez évident pour être déjà souligné⁹. L'histoire a prouvé la fertilité de ces rencontres, tant pour le parallèle mené avec la linguistique, berceau du structuralisme, que pour les collections artistiques d'objets amérindiens, collections dont sont issus les principes fondateurs de plusieurs musées de l'homme jusqu'au musée des arts premiers, pour ne citer que quelques étapes marquantes de cette réunion à la fois provisoire et fructueuse. C'est bien un indice particulièrement favorable pour mener un tel effort de dialogue pluridisciplinaire, où l'exil provisoire est ici simplement

[8] Claude Lévi-Strauss, *Les Structures élémentaires de la parenté*, PUF, 1949.

[9] Emmanuelle Loyer, *Lévi-Strauss*, Flammarion, 2015.

la distance à la fois momentanée et virtuelle que l'on prend avec sa discipline.

Un autre lien de la complexité avec l'œuvre de Lévi-Strauss est l'intérêt qu'il a montré pour les interactions à longue distance, des interactions qui, dès une première lecture, génèrent de la complexité comme des liens lointains, difficiles à satisfaire tous à la fois. Un premier exemple de ce classement des interactions selon leur portée provient directement des *Structures élémentaires de la parenté*¹⁰ puisque l'on peut distinguer plusieurs niveaux de parenté et donc déduire de ce classement selon ces niveaux des critères distincts d'interdiction comme le mariage symétrique ou échange restreint et le mariage asymétrique ou échange généralisé. De telles règles de prohibition se réalisent d'ailleurs avec un certain désordre selon les populations considérées, en fonction de différentes nécessités, ce qui montre directement le lien entre effet à longue portée et désordre.

D'une façon à la fois plus précise et plus imagée, on perçoit un tel effet d'interaction à longue distance dans le chapitre XXIX de *Tristes tropiques*¹¹ consacré aux « Hommes, femmes, chefs » et marqué par une forte référence aux *Essais* de Montaigne qui avait lui-même rencontré trois Indiens brésiliens quelques siècles auparavant :

Le nom qui sert à désigner le chef dans la langue nambikwara, *Ulikandé*, semble vouloir dire « celui qui unit » ou « celui qui lie ensemble ». Cette étymologie suggère que l'esprit indigène est conscient de ce phénomène que j'ai déjà souligné c'est-à-dire que le chef apparaît comme la cause du désir du groupe de se constituer comme groupe, et non comme l'effet du besoin d'une autorité centrale ressenti par un groupe déjà constitué¹².

Assez curieusement, l'application de ce concept d'action à longue distance à la formation d'un agrégat matériel montre que l'élément qui catalyse la formation autour de lui d'un petit agrégat se trouve souvent rejeté à un stade ultérieur de la croissance de cet agrégat, parce que la portée de son interaction efficace ne s'étend pas assez loin pour lier à ce stade de croissance ce qu'il avait initialement uni et que l'agrégat ayant grossi rejette alors en périphérie cet élément, initialement fédérateur. En un sens le catalyseur, le ferment de cette agrégation est alors rejeté à l'extérieur et régénéré pour de nouvelles aventures. Ce concept est particulièrement riche et suggère bien des réflexions.

[10] Lévi-Strauss *Les Structures élémentaires de la parenté*, op. cit.

[11] Claude Lévi-Strauss, *Tristes tropiques*, Plon, 1955.

[12] *Ibid.*, p. 356.

Un autre lien profond entre l'œuvre de Lévi-Strauss et le thème de la complexité-désordre est l'étude des variantes d'une structure. C'est une question que l'on rencontre souvent lors de l'étude de phénomènes complexes : « Est-ce que l'arbre ou le bosquet d'arbres ne cache pas la forêt ? » Évidemment, une étude exhaustive de ces phénomènes complexes est toujours ou presque impossible. En ce sens l'exploit des *Mythologiques*¹³ de Lévi-Strauss de considérer un très grand nombre de mythes de toute origine et leurs variantes, de l'ordre du millier, laisse pantois, avec le résultat à la fois simple et fort, unanime, de cette étude de variantes : pour l'humanité, dès ses premiers niveaux de conscience, le mythe tente de résoudre le difficile problème de la compréhension de la nature dans sa complexité et son désordre. Incidemment, cette observation renforce la validité du thème complexité-désordre en prouvant l'étendue de la portée de ce thème.

Ainsi munis d'une belle trousse à outils théoriques, nous pouvons maintenant avancer pour défricher les exemples de complexité et désordre qui nous concernent ici.

Pour introduire les différents chapitres de ce livre, il faut, faute de pouvoir trouver un fil conducteur – une épreuve impossible parce que les liens entre ces textes sont nécessairement multiples –, utiliser un peu une classification approximative par disciplines, quitte à souligner ensuite les liens qui relient ces textes à d'autres disciplines. D'où la nécessité d'une première classification de ces disciplines assez arbitraire, mais pratique : « art, philosophie, mathématiques, physique, biologie et économie et sociologie ». La nécessité de donner un ordre, au moins provisoire, conduit à une telle perspective générale suivie de zooms plus spécialisés. Évidemment, le principe de classification continue à s'exercer ensuite ; ce qui permettra, par compensation, de souligner très naturellement les liens qui unissent ces textes, ces disciplines.

Partie I : Désordre et complexité dans les arts et les techniques

Le chapitre I est consacré à l'art de la danse. La danse est un art très ancien, rapporté par de nombreux documents et le sujet de **Kitso Dubois** nous révèle une toute nouvelle version de la danse issue des nécessités techniques actuelles, la danse en apesanteur, à la fois un état de grâce, car libéré des contraintes, et aussi un état de trouble car soumis à de

[13] Claude Lévi-Strauss, *Mythologiques 1*, 1964, *Mythologiques 2*, 1966, *Mythologiques 3*, 1968, *Mythologiques 4*, 1971, Plon.

nouvelles lois qu'il faut saisir et maîtriser. Justement cette maîtrise que Kitsou Dubois a acquise et continue d'améliorer, lui permet de relever le défi de cette nouvelle complexité et du désordre qu'elle introduit chez celui qui désire pratiquer ce nouvel art, en proposant une nouvelle dynamique du corps, du geste. Les liens avec d'autres disciplines et d'autres articles sont nombreux. Le premier lien est philosophique : Montaigne proposait de mettre un philosophe en cage au-dessus du vide ; Kitsou Dubois place l'homme dans le vide, sans autre repère et crée donc aussi une émotion, une sensation de vertige. Cette situation philosophique innovante est aussi concrète et en appelle à la physique et la biologie. D'une façon plus précise, cette découverte de l'espace à trois dimensions sans la contrainte de la verticalité, incite à penser à une nouvelle architecture qui exploite toutes les potentialités de l'espace en s'affranchissant en quelque sorte du terre à terre.

Le **chapitre 2** est consacré à l'architecture, à la fois un art et une technique, apparue dès le début de la sédentarisation. **Gaston Tolila** nous montre d'entrée de jeu à la fois la complexité et l'étendue des contraintes qui pèsent sur ces réalisations, contraintes physiques, artistiques et sociologiques. Devant cette complexité, proche du désordre, et avec la nécessité d'un programme de réalisation, Gaston Tolila indique comment réduire peu à peu les latitudes du choix, pour faire ensuite jaillir la «fulgurance» du principe d'une solution, qu'il élabore ensuite. Le lecteur est ainsi au cœur du processus de création, presque dans ses transes. Bien des liens avec d'autres disciplines, comme la géométrie ou la sociologie, voire l'histoire de l'art, et avec d'autres textes de ce recueil, apparaissent : le caractère à trois dimensions du pavage de façade qu'il choisit nous ramène encore à ces problèmes évoqués avec Kitsou Dubois, une appréhension concrète de la géométrie. Le jeu avec la lumière et les couleurs lors de la réalisation de la façade, nous amène à la peinture et à l'optique dont il est encore question ailleurs dans ce livre.

Le **chapitre 3**, de **Jean-Claude Serge Lévy**, est situé à l'interface entre les arts, peinture, pavage, architecture, urbanisme et les sciences et notamment la physique. Après avoir montré combien la réflexion des artistes avait souvent devancé celle des scientifiques, en stimulant un dialogue qui s'est concrétisé plus tard, l'auteur montre que l'architecture et l'urbanisme actuel sont arrivés à un raffinement extrême de la possibilité de réalisation de façades infiniment variées, dans leurs formes et leurs matières, véritables vitrines de la technologie. Par un simple effet de balance, la question d'un urbanisme complètement à trois dimensions

se pose alors. Au-delà des quelques exemples cités, la « Grande arche » de la Défense, un cube partiellement évidé de plus de cent mètres de côté, est une première réalisation dans ce sens, même si, comme il est indiqué, ce doit être un ferment pour des réalisations futures qui satisfassent à de nombreuses contraintes, de nombreuses possibilités à la fois, comme la circulation de la lumière à l'intérieur du bâtiment et la circulation des personnes et des matériaux à tous les niveaux. Cette densité exceptionnelle, enrichissante sur le plan des contacts, permet aussi une économie d'énergie considérable. Bien entendu, les rapports entre arts, sciences et sciences humaines sont clairs et nombreux.

Partie II : Désordre et complexité en philosophie, mathématique et épistémologie

En philosophie, **Nicolas Piqué**, dans le **chapitre 4**, s'attaque à la conception de l'histoire, en montrant qu'elle échappe à une conception unique et permanente, au moins depuis les grandes découvertes et leurs conséquences politiques. Dès lors, il faut accepter la multiplicité de l'histoire, sa complexité, voire son désordre. C'est avec brio qu'il montre cette cassure, déjà perceptible dans les ressources de l'optique sophistiquée des anamorphoses que déployait Bossuet pour tenter de maintenir cette unité. Cette tentative de démonstration elle-même souligne combien philosophie et sciences sont liées, au moins par le souci du concret, de l'image. C'est finalement à la pensée du philosophe moderne Cornélius Castoriadis, sensible aux émergences des temps modernes, que Nicolas Piqué se rattache pour apprécier cette multiplicité de l'histoire.

Dans le **chapitre 5**, **Vincent Legeay** montre toute la modernité de Spinoza en comparant ses textes à propos de la phase de constitution des corps à ceux d'un éminent biologiste contemporain, Faustino Cordón. Spinoza a démontré l'apport des différents niveaux de conscience à la synthèse active des corps. Cet apport très fortement pluridisciplinaire puisqu'il touche non seulement la biologie, mais encore la sociologie, voire la politique, est extrêmement novateur. Avec Nicolas Piqué, on touche encore une fois à une double nature entre unité et multiplicité, au cœur de ce jeu entre complexité et désordre.

Au **chapitre 6**, **Fabrizio Li Vigni** étudie le développement de la réflexion scientifique et philosophique sur les « systèmes complexes » depuis la seconde partie du XX^e siècle. Le foisonnement des références, leur relatif désordre, indiquent bien à la fois l'importance actuelle de la place de ces systèmes complexes dans notre perception du monde et le lien accru entre sciences et philosophie qui se répondent en écho, parfois

avec des retards appréciables. La coordination entre ces multiples activités récentes se révèle difficile et le point imposé par l'existence des réunions «complexité-désordre» semble tout à fait utile pour pouvoir les fédérer ou tout au moins les faire communiquer.

Philippe Depondt, au **chapitre 7**, fait lui remonter la discussion sur ces systèmes complexes aux philosophes grecs, ce que le jeune Karl Marx avait déjà noté en comparant dans sa thèse les théories de Démocrite et d'Épicure. En effet, à la forte réflexion scientifique de Démocrite, Épicure a ajouté, en fin observateur de la réalité sociale, la notion de désordre qui module la valeur des résultats. Le débat entre complexité et désordre est donc ouvert depuis longtemps, même si les intermitteances du développement de cette notion de désordre rejettent à bien plus tard et à l'avènement de la mécanique quantique, l'émergence d'une nouvelle rationalisation d'un désordre intrinsèque.

Hervé Zwirn, au **chapitre 8**, en s'intéressant à la complexité des automates cellulaires où des règles locales peuvent donner lieu à des résultats si difficiles à prévoir à grande échelle qu'on peut les qualifier d'imprévisibles, nous amène à la fois de façon simple au cœur du problème de la complexité et du désordre et, ainsi, vers d'autres disciplines par les nombreuses extrapolations qu'il suggère. De plus, il nous montre que l'on peut étendre cette notion d'imprédictibilité de façon mathématique, c'est-à-dire parfaitement contrôlée.

Dans le **chapitre 9**, **Laurence Viennot** et **Nicolas Décamp** présentent le problème délicat de la formation de l'esprit critique, une requête formulée par de nombreuses instances éducatives françaises et européennes. Ces auteurs nous montrent, à partir de trois cas distincts et bien choisis, étudiés avec des étudiants qui se destinent à la pédagogie, l'enchevêtrement de la réflexion, des connaissances et de l'esprit critique et donc la complexité de la tâche pédagogique. Il apparaît que la formation à l'esprit critique doit se dérouler en considérant des énoncés assez simples qu'il faut compléter à l'aide de connaissances à rechercher et à analyser de façon critique, en dégageant peu à peu l'étudiant de contraintes affectives qui, pour être sympathiques, restent maladroites et paralysent un réel jugement critique. Là encore, l'étude de la complexité se révèle féconde.

Partie III : Désordre et complexité dans les systèmes physiques

Le **chapitre 10** de **Hung T. Diep** porte sur l'étude des systèmes frustrés à l'équilibre, ce qui donne lieu à des structures évidemment complexes. Ces systèmes sont frustrés en ce qu'ils ne peuvent pas satisfaire de

façon optimale à toutes leurs interactions à la fois. Dans ces conflits, différents compromis sont possibles, d'où à la fois complexité et désordre. Cet exposé fait donc tout naturellement écho à celui de Fabrizio Li Vigni sur la pensée philosophique contemporaine qui a été marquée par ces systèmes frustrés. The-Hung Diep nous fait pénétrer de façon simple au fond de ces problèmes de physique et nous donne quelques voies de passage pour une approche de « socio-physique », plus proche des phénomènes politiques actuels. Il montre comment les contraintes imposées par des interactions complexes, frustrantes, amènent un certain jeu avec le désordre et les symétries, en physique, et l'on devine bien des interrogations au-delà de la physique, notamment en biologie et en sociologie.

Le **chapitre 11**, d'Anne Tanguy, est consacré aux propriétés vibrationnelles des verres. Les verres sont l'exemple même du désordre et s'ils sont connus de façon naturelle dans les roches volcaniques comme l'obsidienne, et pour être produits de façon systématique depuis l'époque romaine, l'amélioration des techniques de refroidissement rapide d'un liquide a permis récemment d'étendre considérablement la variété de ces produits, des semi-conducteurs amorphes aux verres métalliques par exemple. Anne Tanguy réussit ici à nous donner un exposé synthétique des états de vibration caractéristiques de ces verres anciens et nouveaux. À de rares modes de propagation comparables aux modes de vibration des cristaux, s'ajoutent des modes essentiellement locaux et des modes à plusieurs échelles, pour tous les verres considérés, à la suite d'observations directes et d'observation par simulation. De fait, l'irrégularité locale de ces verres contraint fortement leurs modes de vibration malgré l'homogénéité globale. Ces résultats, brillamment synthétisés par Anne Tanguy, expliquent la faible conductivité des verres, ce qui à son tour devrait susciter de nouvelles applications.

Philippe Depondt et Jean-Claude Serge Lévy rappellent, dans le **chapitre 12**, le problème des structures magnétiques en le ramenant à une confrontation entre une interaction à courte portée typique et une interaction à longue portée bien connue. De ce conflit naît une frustration essentielle connue depuis longtemps, mais peu traitée, et abordée ici de façon numérique. La méthode adoptée consiste à traiter de petits systèmes, à la fois parce que la nanotechnologie devient extrêmement importante et aussi selon la remarque de Claude Lévi-Strauss déjà citée à propos de l'étude des petits systèmes : « Le lointain éclaire le proche, mais le proche peut aussi éclairer le lointain. » Un deuxième point nous rapproche des considérations de Lévi-Strauss, celui de

l'étude des variantes. En effet, l'étude de nombreuses variantes nous permet d'approcher l'essentiel du problème, une structure complexe de lignes de singularités potentiellement mobiles qui caractérise la structure magnétique. En plongeant ainsi dans un problème spécifique, celui des tourbillons magnétiques, on évoque un cas de frustration et on met en évidence la spécificité du caractère tridimensionnel de l'espace, comme Kitsou Dubois en danse et Gaston Tolila en architecture.

Le **chapitre 13**, de **Kamel Boukheddaden et Mouhamadou Sy** est consacré à l'émergence de nouvelles structures dans les cristaux, soit sous l'influence d'une variation de température, comme une transition de phase usuelle, soit sous l'influence d'une irradiation par une lumière convenable. Les changements qu'ils considèrent modifient à la fois les propriétés mécaniques, ici le volume, voire l'élasticité, les propriétés magnétiques, du diamagnétisme au paramagnétisme, et les propriétés optiques, ici la couleur, le tout assez lentement dans le cas considéré pour permettre une observation directe. En particulier, l'effet optique est tout à fait caractéristique des centres colorés, comme le changement de couleur de l'hémoglobine oxydée le montre. D'où une profusion de renseignements sur ces transitions jusqu'à présent assez mystérieuses malgré leur intérêt général. C'est ce qui permet de revivifier cette vue à la fois de la cristallogénèse et de la réaction chimique qui a inspiré les mathématiciens, physiciens, chimistes, biologistes et philosophes depuis longtemps. En particulier, cela fait écho ici à l'étude de Fabrizio Li Vigni.

Partie IV : Désordre et complexité dans les systèmes vivants et sociaux

En biologie, on lira d'abord le **chapitre 14** de **Thomas Vour'h, Julien Leopoldes et Hassan Peerhossaini** sur la dynamique diffusive d'une cyanobactérie. Le sujet se rattache à la biologie puisqu'il s'agit du déplacement d'une bactérie. Ce mouvement parent du mouvement brownien est aussi un thème physico-mathématique original dans sa particularité. Enfin, l'intérêt porté à cette bactérie tient à la réception de l'énergie solaire. C'est donc un sujet largement pluridisciplinaire. L'intérêt scientifique de cette étude tient au comportement original en deux régimes de cette diffusion : aux temps courts, aux petites distances, la bactérie explore un environnement dense tandis que sur des échelles de temps plus larges, elle franchit des barrières et de fait observe un environnement moins contraint, d'où un comportement original. Dans les situations complexes de la biologie, on peut s'attendre à ce que de telles situations d'environnement à plusieurs échelles soient assez fréquentes.

Laurent Goffart, au **chapitre 15**, étudie comment un cerveau détecte un mouvement. Cette action, décisive pour la chasse mais aussi pour la survie de l'individu dans le cas de la détection d'un prédateur, est à la fois importante et complexe puisqu'elle met en jeu la représentation de l'espace-temps qui doit être d'origine génétique et que l'individu adapte selon ses expériences personnelles. Le cerveau joue à la fois sur l'espace de larges populations de neurones et sur le temps par la variété des saccades de potentiel d'action, le tout pour optimiser son efficacité de façon à cerner en quelques brèves étapes cette vitesse instantanée. Au défi biologique de cette recherche correspond le défi physique, voire philosophique, de la compréhension de l'apprentissage de la représentation du monde dans ses quatre dimensions.

Au **chapitre 16**, **Victor Lefèvre** nous fait pénétrer concrètement, avec des considérations générales et des exemples intéressants, dans toute la complexité de l'écologie en montrant que la stabilité observée des écosystèmes se situe bien au-delà des théories actuellement concevables d'un point de vue de physico-chimiste. La complexité ici n'est plus simplement due au nombre de particules comme en physique ou en chimie, mais aussi aux nombres d'espèces en présence, au nombre d'interactions entre ces espèces. La complexité et le désordre sont dans ce cas décuplés et curieusement la stabilité de ces écosystèmes se maintient. On perçoit ici le caractère central de ces études à venir sur la complexité et le désordre. Évidemment, ces problèmes philosophiques sont proches de ceux que Vincent Legeay relevait dans son étude de la pensée de Spinoza.

Au **chapitre 17**, dans une puissante étude de la société humaine au cours de sa constitution progressive, **Raymond Pictet** montre comment la société humaine implique le désordre dans de multiples cas, sans commune mesure avec les sociétés animales observées en biologie. Les étapes significatives qu'il souligne sont nombreuses : la division du travail comme les changements rapides de nature du travail impliquent ce désordre qu'il retrouve même dans l'usage des langues. C'est un paysage de la société humaine à la fois fascinant par sa diversité et inquiétant par sa mobilité incontrôlable qu'il nous livre avec une interrogation fondamentale sur l'avenir.

En sociologie et économie, c'est une équipe de sciences humaines située en Polynésie française et constituée de **Pierre Ghewy**, **Marc Jaillot** et **Anthony Tchekemian** qui analyse, dans le **chapitre 18**, le problème du désordre humain induit par les regroupements d'entreprise. Les auteurs montrent d'abord l'importance numérique des regroupements d'en-

treprise souvent effectués sous la forme de contrats ponctuels d'association. Ensuite, aux termes d'une analyse statistique poussée, ils montrent que ces efforts apparents de rationalisation de la production et des circuits de vente conduisent, à la fois par leur création de frustration et par leur fréquence élevée, à des situations humaines difficiles. Leur fine analyse permet même d'entrevoir le principe de solutions en augmentant l'information à l'intérieur des entreprises concernées.



Pour conclure, cet ouvrage présente de nombreux aspects de la complexité et du désordre dans son actualité, avec un réel mélange des disciplines. Les points forts sont aussi nombreux et c'est au lecteur de les apprécier. Citons quand même l'actualité de Spinoza dans sa perception de la biologie comme haut lieu de complexité et de désordre à mieux comprendre. En physique aussi les problèmes de complexité et de désordre, même s'ils ont été déjà abordés, restent porteurs d'avenir. Pour les arts, la rationalisation « scientifique » incite aussi à une recréation de la complexité et du désordre.