

# Présentation de l'ouvrage

Après des études d'ingénieur et d'astronomie suivies de cinq années d'enseignement-recherche, Daniel Martin a fait une carrière internationale d'informaticien spécialiste des bases de données.

Ce livre commence par critiquer le déterminisme traditionnel, qui ne peut régir certaines lois de la nature. Il construit ensuite en trois étapes une définition qui les régit toutes : le déterminisme *scientifique* pour les lois de Newton et de Maxwell ; son extension au déterminisme *statistique* pour la physique quantique et les systèmes dynamiques ; enfin l'inclusion de ces doctrines dans celle du déterminisme *étendu*, pour les synthèses, les décompositions, les transitions de phase, ainsi que les principes d'incertitude, d'exclusion, de conservation, de symétrie, etc.

On voit alors comment toutes les lois physiques s'inscrivent dans un cadre logique rigoureux, et pourquoi il en existe deux catégories complémentaires : les lois d'évolution et les lois d'interruption. On voit aussi pourquoi les lois conservatives sont toutes symétriques, et pourquoi la thermodynamique oriente le déroulement du temps.

Une conclusion nette se dégage alors, que confirment Kant et des médaillés Fields : *le hasard n'existe pas, c'est un effet de notre ignorance*. Mais le déterminisme a lui-même des limites sérieuses de prédictibilité, de calculabilité et de complétude qu'il faut connaître.

Pour approfondir ensuite l'effet du déterminisme, le texte explique de manière à la fois complète et didactique la Relativité générale. Il en déduit et clarifie les phénomènes des trous noirs et de l'inflation après le Big Bang, puis l'évolution de l'Univers selon les théories de Friedmann et de Grande unification.

A travers des dizaines d'exemples et de diagrammes, ce livre rend simple à comprendre la Théorie des systèmes dynamiques, avec ses effets de chaos et de sensibilité aux conditions initiales, ainsi que ses relations avec les fractales ; ce déterminisme des évolutions par étapes complète celui des évolutions continues.

Le livre explique enfin les découvertes récentes comme le boson de Higgs et le temps quantique, et situe le déterminisme humain par rapport au problème philosophique classique du libre arbitre.

*Site Internet d'accompagnement du livre : extraits et textes complémentaires*  
<http://www.danielmartin.eu/dh.htm>

# Table des matières

<b>1. Doctrine du déterminisme</b> .....	<b>1</b>
1.1 Origine historique : déterminisme philosophique .....	1
1.2 Du déterminisme philosophique au déterminisme statistique .....	2
1.2.1 Evolution vers une superposition d'états.....	3
1.3 Les trois premiers niveaux de déterminisme.....	4
1.4 Lois conditionnelles.....	5
1.4.1 Evolutions non déterministes.....	6
1.5 Déterminisme étendu.....	7
1.6 Hasard .....	7
1.7 Ensemble des niveaux de déterminisme .....	8
1.8 Utilité du déterminisme : compréhension, prévision, prédiction .....	8
1.8.1 Différence entre prévoir et prédire.....	9
1.8.2 Le caractère déterministe ne doit pas être jugé à l'aide de situations .....	10
1.9 Postulat du déterminisme scientifique.....	11
1.9.1 Définition du postulat de causalité.....	11
1.9.2 Conséquences déterministes du postulat de causalité.....	12
1.9.3 Règle de stabilité (universalité, reproductibilité, invariance).....	12
1.9.4 Tout changement de cause suffisante est régi par une loi d'interruption .....	12
1.9.5 Limites du déterminisme scientifique .....	13
1.10 Déterminisme statistique .....	13
1.10.1 Evolution vers un ensemble d'états superposés.....	13
1.10.2 Décohérence : passage d'une superposition cohérente à un de ses objets .....	14
1.10.2.1.1 <i>A l'échelle atomique toute mesure perturbe le système mesuré</i> .....	15
1.10.2.1.2 <i>Réduction de la fonction d'onde – Preuve physique de la décohérence</i> .....	15
1.10.2.1.3 <i>C'est la mesure qui crée son résultat ; avant il n'existait pas</i> .....	15
1.10.3 Définition du déterminisme statistique.....	16
1.10.4 Lois d'évolution régies par le déterminisme statistique.....	16
<b>2. Philosophie du déterminisme.....</b>	<b>17</b>
2.1 Epistémologie .....	17
2.2 Caractéristiques déterministes des lois de la nature.....	17
2.3 Déterminisme des processus itératifs .....	21
2.4 Philosophie de la causalité .....	21
2.4.1 Définition d'une cause .....	21
2.4.2 Causalité, réalisme et idéalisme.....	22
2.4.3 Causalité, nécessité et explication du monde .....	24
2.4.3.1 Absurdité du concept « d'être absolument nécessaire » .....	25
2.4.4 Comment l'homme produit les lois de la nature .....	26
2.4.4.1 Importance de la vitesse et de l'amplitude d'une évolution .....	26
2.4.5 Principe de raison suffisante (en abrégé : Principe de raison) .....	27
2.4.5.1 Nécessité d'une cause déterminée.....	27
2.4.5.2 Etat (situation) d'un système.....	28
2.4.5.3 Définition d'une cause suffisante – Domaine causal d'application .....	29
2.4.6 Limites d'application d'une loi d'évolution.....	30
2.4.6.1 Changements de phase d'un corps pur .....	30
2.4.6.2 Diagramme des phases d'un phénomène d'évolution .....	31
2.4.6.3 Continuité dans le temps des évolutions naturelles .....	31
2.4.6.4 Nécessité de situations-limites .....	33
2.4.6.5 Enoncé du Principe de raison suffisante .....	34
2.4.6.6 Les 4 domaines régis par le principe de raison suffisante.....	34

2.4.6.7	Réciproques d'une raison suffisante d'évolution.....	39
2.4.6.8	Raison suffisante et chaîne de causalité .....	39
2.4.7	Le déterminisme ne garantit pas la prédictibilité .....	39
2.4.7.1	Décomposition radioactive d'un élément chimique.....	40
2.4.7.1.1	<i>Radioactivité alpha : émission d'une particule alpha</i> .....	40
2.4.7.1.2	<i>Radioactivité bêta : émission d'une particule bêta</i> .....	44
2.4.7.1.3	<i>Radioactivité gamma : émission d'un photon de haute énergie</i> .....	45
2.4.7.2	Conversion d'énergie électromagnétique en matière .....	45
2.4.7.3	Nécessité d'un autre déterminisme, adapté aux décompositions .....	45
2.4.7.4	Conditions nécessaires pour un déterminisme à résultats prédictibles.....	46
2.4.7.5	Autres exemples de phénomènes déterministes à résultats imprédictibles .....	47
2.4.7.5.1	<i>Algorithmes à résultat imprédictible</i> .....	47
2.4.7.5.2	<i>Machine de Turing</i> .....	48
2.4.7.5.3	<i>Mouvement brownien - Flocons de neige</i> .....	50
2.4.7.6	Déterminisme et durée d'exécution .....	51
2.4.7.7	Calculabilité, déterminisme et prévisibilité .....	52
2.4.7.7.1	<i>Calculabilité d'une prédiction</i> .....	54
2.4.7.7.2	<i>Phénomènes déterministes à conséquences imprévisibles et erreurs philosophiques</i> .....	56
2.4.7.7.3	<i>Calculabilité par limitations et approximations</i> .....	56
2.4.7.7.4	<i>Nombres réels et problèmes non calculables</i> .....	57
2.4.7.7.5	<i>Il y a infiniment plus de réels non calculables que de réels calculables</i> .....	60
2.4.7.7.6	<i>Propositions indécidables</i> .....	61
2.4.7.8	Déterminisme + complexité = imprédictibilité .....	61
2.4.7.9	Modélisation des systèmes complexes, notamment ceux du vivant .....	62
2.4.7.9.1	<i>Des avancées très prometteuses en matière de modélisation</i> .....	64
2.4.7.9.2	<i>Analyse statistique de systèmes complexes</i> .....	65
2.4.7.9.3	<i>Complexité et décisions médicales</i> .....	65
2.4.7.9.4	<i>Algorithme de calcul de Pi - Suite pseudo-aléatoire de nombres entiers</i> .....	68
2.4.7.10	Acquisition d'expérience – Intelligence artificielle .....	69
2.4.8	Ensemble de définition d'une loi déterministe.....	71
2.4.8.1	Structure.....	71
2.4.8.2	Ensemble de définition.....	74
2.4.8.3	Une erreur de certains philosophes.....	74
2.5	Déterminisme scientifique.....	75
2.5.1	Définition du déterminisme scientifique.....	75
2.5.2	Critère de vérité scientifique : l'examen contradictoire.....	76
2.5.2.1	La preuve de vérité est remplacée par l'absence de preuve de fausseté .....	76
2.5.2.2	Le rationalisme critique de Karl Popper .....	77
2.5.2.2.1	<i>La « vérité-consensus »</i> .....	78
2.5.2.2.2	<i>Pour être acceptable une hypothèse scientifique doit être falsifiable</i> .....	78
2.5.2.2.3	<i>Critères de vérité scientifique</i> .....	79
2.5.2.2.4	<i>Définition d'une théorie appliquée à un domaine pratique</i> .....	79
2.5.2.2.5	<i>Risques et inconvénients d'une vérité scientifique par consensus</i> .....	82
2.5.2.2.6	<i>Comparaison du rationalisme critique avec l'empirisme</i> .....	82
2.5.2.2.7	<i>Objection holistique à la falsifiabilité</i> .....	83
2.5.2.2.8	<i>Evolution d'une vérité, de la science et du monde selon Popper</i> .....	83
2.5.3	Remarques philosophiques sur le déterminisme et le hasard .....	84
2.5.4	Symétrie temporelle et réversibilité du déterminisme scientifique .....	85
2.5.4.1	Différence entre symétrie temporelle et réversibilité .....	85
2.5.4.2	Phénomènes irréversibles .....	86
2.5.4.3	Exemple de loi symétrique par rapport au temps et réversible .....	87
2.5.4.4	Système conservatif ou dissipatif – Force conservative ou dissipative .....	89
2.5.4.5	Irréversibilité thermodynamique.....	89
2.5.5	Définitions relatives à un système et à son état.....	90
2.5.5.1	Degrés de liberté d'un système .....	90
2.5.5.1.1	<i>Equipartition de l'énergie entre les degrés de liberté</i> .....	91
2.5.5.1.2	<i>Agitation thermique - Mouvement brownien des molécules</i> .....	92
2.5.5.1.3	<i>Paradoxe de l'émission continue du corps noir</i> .....	92
2.5.5.2	Espace des phases – Stabilité des lois physiques d'évolution.....	93
2.5.5.2.1	<i>Représentation de l'évolution d'un système</i> .....	95
2.5.5.2.2	<i>Evolution d'un système représentée par des équations différentielles</i> .....	96

2.5.5.2.3	<i>Lignes de force d'un espace des phases et unicité de l'évolution</i> .....	96
2.5.5.2.4	<i>Stabilité de l'évolution d'un système conservatif : théorème de Liouville</i> .....	98
2.5.5.3	Attracteurs de l'espace des phases .....	98
2.5.5.3.1	<i>Bassin d'attraction de l'espace des phases</i> .....	99
2.5.5.3.2	<i>Systèmes dissipatifs</i> .....	100
2.5.5.3.3	<i>Systèmes dissipatifs périodiques à échange d'énergie – Cycle limite</i> .....	100
2.5.5.3.4	<i>Systèmes à évolution quasi périodique</i> .....	101
2.5.6	Equipartition de l'énergie dans un champ – Stabilité des atomes .....	102
2.5.7	Contradictions de la physique traditionnelle et de son déterminisme .....	103
2.5.8	Des forces physiques étonnantes .....	104
2.6	Hasard .....	105
2.6.1	Hasard ou imprédictibilité ? .....	106
2.6.2	Le hasard n'existe pas .....	106
2.6.3	Le besoin de rigueur dans l'invocation du hasard .....	107
2.6.3.1	L'attribution d'une cause au hasard exige une démonstration .....	107
2.6.3.2	Cas dans lesquels une évolution a un résultat imprédictible .....	107
2.6.3.2.1	<i>La nature statistique de l'évolution de l'objet – Prédicibilité statistique</i> .....	108
2.6.3.2.2	<i>La complexité</i> .....	108
2.6.3.2.3	<i>L'ignorance</i> .....	110
2.6.3.2.4	<i>L'imprécision</i> .....	111
2.6.3.2.5	<i>L'instabilité</i> .....	111
2.6.3.2.6	<i>La sensibilité aux conditions initiales</i> .....	111
2.6.3.2.7	<i>L'exigence d'un raisonnement algorithmique</i> .....	112
2.6.3.2.8	<i>Des exigences de prédictibilité impossibles à satisfaire</i> .....	113
2.6.3.2.9	<i>Le psychisme humain</i> .....	114
2.6.3.2.10	<i>Les trois types d'imprédictibilité : logique, théorique et pratique</i> .....	114
2.6.4	Les trois définitions du hasard .....	115
2.6.4.1	Définition de René Thom .....	115
2.6.4.2	Définition par rencontre de chaînes de causalité indépendantes - Hasard par ignorance .....	116
2.6.4.3	Définition par la quantité d'information .....	117
2.6.5	Conclusion : il n'y a pas de hasard, tout ce qui arrive <i>devait</i> arriver .....	117
2.6.5.1	Principe de fatalisme .....	117
2.6.5.1.1	<i>Conséquence : la causalité déterministe est aussi présent vers passé</i> .....	119
2.6.5.2	La nature est parfaitement déterministe .....	119
2.6.5.3	La contingence des situations du passé, appréciation spéculative .....	120
2.6.5.4	Extension du déterminisme aux résultats stochastiques .....	122
2.6.5.5	Définition du déterminisme statistique .....	123
2.6.5.5.1	<i>Prédictions de résultats du déterminisme statistique</i> .....	123
2.6.5.6	Différence entre déterminisme statistique et hasard pur .....	123
2.6.5.6.1	<i>Exemple d'interférences de photons avec eux-mêmes</i> .....	124
2.7	Déterminisme statistique .....	125
2.7.1	Rappels sur les statistiques .....	127
2.7.1.1	Distribution de probabilités .....	127
2.7.1.1.1	<i>Probabilités de variables discrètes et de variables continues</i> .....	128
2.7.1.1.2	<i>Loi normale de probabilités</i> .....	128
2.7.1.1.3	<i>Théorème central limite</i> .....	130
2.7.1.2	Conclusions philosophiques sur les probabilités .....	131
2.7.2	Du déterminisme scientifique au déterminisme statistique .....	132
2.7.3	Etat quantique d'un système .....	132
2.7.3.1	Quantum .....	132
2.7.3.2	Relations de Planck-Einstein et de Louis de Broglie .....	132
2.7.3.3	Nombres quantiques d'un atome, un noyau ou une particule subatomique .....	133
2.7.3.4	Déterminisme dual corpusculaire / ondulatoire .....	133
2.7.3.5	Les ondes de matière de Louis de Broglie .....	134
2.7.3.6	Fonction d'onde .....	135
2.7.3.6.1	<i>Trajectoires d'un électron autour d'un noyau atomique : orbitales</i> .....	137
2.7.3.6.2	<i>Les ondes de probabilité traversent la matière comme un champ de gravitation</i> .....	138
2.7.3.6.3	<i>Théorie de la résonance chimique</i> .....	139
2.7.4	Equation de Schrödinger .....	139

2.7.5	Les 6 postulats de la Mécanique quantique .....	143
2.7.5.1	Impossibilité de décrire des phénomènes sans symétrie temporelle .....	145
2.7.5.2	Inadaptation à la gravitation et à son espace courbe relativiste.....	145
2.7.5.3	Etats finaux d'un système macroscopique .....	146
2.7.5.4	Paquet d'ondes de probabilité .....	146
2.7.5.5	Superposition d'états, cohérence et décohérence.....	150
2.7.5.6	Le chat de Schrödinger .....	151
2.7.6	La Mécanique quantique, outil mathématique de l'échelle atomique .....	153
2.7.6.1	Expériences et lois initiales de la physique atomique .....	155
2.7.6.1.1	<i>Planck : les rayonnements électromagnétiques sont quantifiés</i> .....	155
2.7.6.1.2	<i>Einstein et l'effet photoélectrique</i> .....	156
2.7.6.1.3	<i>Niels Bohr et la théorie de l'atome quantifié</i> .....	156
2.7.6.1.4	<i>Louis de Broglie et l'unification corpusculaire / ondulatoire</i> .....	157
2.7.6.1.5	<i>Schrödinger : naissance de la Mécanique quantique, outil de description des états stationnaires et des évolutions à l'échelle atomique</i> .....	157
2.7.6.2	Evolutions multiples simultanées suivies de décohérences .....	157
2.7.7	Principe d'incertitude de Heisenberg.....	158
2.7.7.1	Conséquences du principe d'incertitude dans l'espace des phases .....	160
2.7.7.2	Conséquences philosophiques du principe d'incertitude.....	161
2.7.7.2.1	<i>Principe de non-clonage</i> .....	161
2.7.7.2.2	<i>L'instabilité naturelle, effet sans cause</i> .....	161
2.7.7.2.3	<i>L'énergie potentielle négative du vide est instable</i> .....	162
2.7.7.2.4	<i>Imprécision des mesures de trop faibles durées ou énergies</i> .....	162
2.7.7.2.5	<i>Imprécision et indétermination</i> .....	162
2.7.7.2.6	<i>La causalité physique n'est rigoureuse qu'à l'échelle humaine</i> .....	162
2.7.7.3	Instabilité/indétermination et déterminisme étendu .....	163
2.7.7.4	Hasard, imprécision et indétermination en Mécanique quantique.....	163
2.7.7.4.1	<i>Effet tunnel</i> .....	163
2.7.7.4.2	<i>En Mécanique quantique, l'imprévisibilité est aussi une instabilité</i> .....	164
2.7.7.5	Remarques sur l'incertitude et l'imprécision .....	165
2.7.7.6	Origine physique de l'incertitude de Heisenberg lors d'une mesure .....	166
2.7.7.7	Incertain contextuelle de Kochen-Specker .....	167
2.7.8	Incertain due à l'effet Compton.....	168
2.7.9	Fluctuations quantiques.....	169
2.7.9.1	Un vide plein d'énergie .....	169
2.7.9.1.1	<i>Le vide de la physique quantique</i> .....	169
2.7.9.1.2	<i>Effet Casimir du vide quantique</i> .....	170
2.7.9.1.3	<i>Fluctuations de l'énergie et de l'espace-temps</i> .....	171
2.7.10	Fluctuations thermiques .....	173
2.7.11	Conséquences philosophiques des résultats d'évolution ensemblistes .....	174
2.7.11.1	Une évolution a pour conséquence un ensemble d'états .....	174
2.7.11.2	Un système n'a pas d'état absolu, indépendant de tout observateur .....	175
2.7.11.3	Superposition d'états et fluctuations de l'espace-temps.....	176
2.7.12	Temps et gravitation quantiques .....	177
2.7.12.1	Le temps, les durées et la gravitation sont quantifiés.....	177
2.7.12.2	Penser l'Univers par événements fugaces, non par objets persistants.....	178
2.7.12.3	Description d'évolutions physiques sans variable temps.....	179
2.7.12.4	Événements quantiques élémentaires.....	180
2.7.13	Le passage du temps .....	180
2.7.13.1	Cause de toutes les évolutions physiques.....	180
2.7.13.2	Pourquoi le temps passe .....	181
2.7.13.2.1	<i>Le temps, abstraction nécessaire, n'existe que dans notre esprit</i> .....	181
2.7.13.2.2	<i>Concepts kantien du temps et de l'espace</i> .....	181
2.7.13.2.3	<i>Raison psychologique du libre arbitre</i> .....	183
2.7.14	Modèle atomique .....	183
2.7.14.1	Structure d'un atome.....	183
2.7.14.1.1	<i>Atome de Bohr</i> .....	185
2.7.14.1.2	<i>Trajectoires d'un électron autour d'un noyau atomique : orbitales</i> .....	186
2.7.14.1.3	<i>Les 4 nombres quantiques</i> .....	189
2.7.14.1.4	<i>Paramètres d'un électron d'atome : les nombres quantiques</i> .....	192
2.7.14.1.5	<i>Tableau périodique des éléments chimiques (© Microsoft Bing Creative Commons)</i> .....	193

2.7.14.2	Ion .....	194
2.7.14.3	Spin, fermions et bosons .....	194
2.7.14.3.1	<i>Spin</i> .....	194
2.7.14.3.2	<i>Fermions et bosons</i> .....	195
2.7.14.4	Principe d'exclusion de Pauli .....	196
2.7.14.5	Statistique de Bose-Einstein .....	197
2.7.14.6	Nucléons : protons et neutrons .....	198
2.7.14.7	Particules et antiparticules subatomiques .....	198
2.7.14.7.1	<i>Leptons</i> .....	200
2.7.14.7.2	<i>Quarks</i> .....	200
2.7.15	Les 4 forces fondamentales de la nature .....	203
2.7.15.1.1	<i>Force de gravitation</i> .....	204
2.7.15.1.2	<i>Force nucléaire (interaction nucléaire forte)</i> .....	204
2.7.15.1.3	<i>Force faible (interaction nucléaire faible)</i> .....	206
2.7.15.1.4	<i>Théorie électrofaible</i> .....	207
2.7.15.1.5	<i>Champ et boson de Higgs</i> .....	208
2.7.15.1.6	<i>Relation entre portée des forces et masse des particules d'interaction</i> .....	209
2.7.15.1.7	<i>Symétries et lois de conservation des 4 types fondamentaux d'interaction</i> .....	210
2.7.15.1.8	<i>Une loi générale d'interruption du déterminisme des lois d'évolution</i> .....	211
2.7.15.1.9	<i>Modèle standard des particules élémentaires</i> .....	212
2.7.16	Théories des champs .....	214
2.7.16.1	Théorie des ondes électromagnétiques.....	215
2.7.16.1.1	<i>Onde électromagnétique</i> .....	215
2.7.16.1.2	<i>Equations de Maxwell</i> .....	216
2.7.16.2	Toute évolution nécessite une interaction avec échange d'énergie .....	216
2.7.16.3	Théorie quantique des champs .....	217
2.7.16.3.1	<i>Dualité onde-particule</i> .....	218
2.7.16.3.2	<i>Théorie du comportement particulière des ondes électromagnétiques</i> .....	220
2.7.16.3.3	<i>Théories de jauge</i> .....	220
2.7.17	Lois de conservation et symétries .....	221
2.7.17.1	Invariance de valeurs et de lois physiques .....	221
2.7.17.2	Invariance de lois physiques par rapport à l'espace et au temps.....	221
2.7.17.3	Invariances et lois de conservation (lois fondamentales de la nature).....	224
2.7.18	Déterminisme des lois fondamentales de la physique quantique .....	225
2.7.19	Problème de la mesure quantique .....	226
2.7.19.1	Critique de l'article [B154] Wikipédia <i>Problème de la mesure quantique</i> .....	226
2.7.19.2	Interprétation de Copenhague et Onde-pilote de De Broglie-Bohm.....	229
2.7.19.2.1	<i>Interprétation de Copenhague</i> .....	229
2.7.19.2.2	<i>Onde-pilote de De Broglie-Bohm</i> .....	230
2.8	Déterminisme arborescent à univers parallèles de Hugh Everett III .....	231
2.9	Chaos .....	234
2.9.1	Evolution itérative .....	235
2.9.2	Théorie des systèmes dynamiques .....	236
2.9.3	Conditions définissant le caractère chaotique d'un système dynamique .....	237
2.9.4	Propriétés d'une évolution chaotique .....	239
2.9.5	Déterminisme d'un processus itératif .....	240
2.9.5.1	Définition et objectifs.....	240
2.9.5.2	La fonction logistique .....	241
2.9.5.2.1	<i>Déroulement de l'itération</i> .....	241
2.9.5.2.2	<i>Evolution vers un point d'équilibre – Stabilité et instabilité</i> .....	242
2.9.5.2.3	<i>Evolution vers une oscillation entre deux points</i> .....	244
2.9.5.2.4	<i>Evolution vers une oscillation finale entre 4, 8 ou 3 points</i> .....	246
2.9.5.2.5	<i>Evolution apériodique</i> .....	247
2.9.5.2.6	<i>Sensibilité aux conditions initiales</i> .....	248
2.9.5.2.7	<i>Abandon du principe de limitation des conséquences d'une petite erreur</i> .....	251
2.9.5.2.8	<i>Diagramme des bifurcations - Universalité - Constante de Feigenbaum</i> .....	251
2.9.5.2.9	<i>Constante universelle de Feigenbaum et doublement périodique vers le chaos</i> .....	257
2.9.5.2.10	<i>Doublement périodique vers le chaos</i> .....	258
2.9.5.2.11	<i>Histogramme des évolutions chaotiques – Prédicibilité statistique</i> .....	259
2.9.5.2.12	<i>Intermittence</i> .....	262
2.9.5.2.13	<i>Attracteurs multiples</i> .....	262

2.9.6	Conditions d'apparition d'une évolution chaotique – Série de Fourier.....	264
2.9.6.1	Fluctuations faussement aléatoires d'un phénomène aperiodique .....	265
2.9.6.2	Des suites de nombres ou de chiffres sont-elles aléatoires ? .....	267
2.9.6.3	Orbites planétaires chaotiques .....	267
2.9.6.4	Turbulence .....	268
2.9.6.4.1	<i>Théorie des bifurcations - Théorie de la stabilité</i> .....	268
2.9.6.5	Problème des trois corps .....	269
2.9.6.6	Vie, organisation, complexité et entropie .....	270
2.9.6.6.1	<i>Evolutionnisme et auto-structuration du vivant</i> .....	271
2.9.6.6.2	<i>La thermodynamique ne contredit pas la doctrine matérialiste</i> .....	272
2.9.6.6.3	<i>Accidents de la réplication du génome et évolution vers la complexité</i> .....	273
2.9.6.6.4	<i>Preuves de l'évolution darwinienne des espèces</i> .....	273
2.9.6.6.5	<i>L'obstination des tenants du créationnisme</i> .....	274
2.9.7	Conclusions philosophiques sur les systèmes dynamiques .....	275
2.9.7.1	Simplicité formelle n'entraîne pas simplicité de comportement.....	275
2.9.7.2	Calculabilité n'entraîne pas précision .....	275
2.9.7.3	Le caractère numérique ou vectoriel d'une grandeur n'implique pas une précision illimitée .....	276
2.9.7.4	L'aptitude à réfléchir ne garantit pas des conclusions justes .....	276
2.9.7.5	Causalité naturelle et causalité géométrique.....	277
2.10	Fractales .....	278
2.10.1	Mesure et représentation d'objets complexes.....	278
2.10.2	Dimension de similitude.....	284
2.10.2.1	Dimension du flocon de neige .....	285
2.10.2.2	Dimension de l'ensemble de Cantor .....	286
2.10.2.3	Dimension du triangle de Sierpiński .....	287
2.10.3	Exposant de Liapounov .....	289
2.10.4	Fractales aléatoires .....	290
2.10.4.1	Génération de nombres pseudo-aléatoires .....	290
2.10.4.2	Utilité de fractales avec une dose de caractère aléatoire.....	290
2.10.4.3	Courbe de Koch .....	290
2.10.4.4	Images fractales.....	293
2.10.4.5	Résultats déterministes d'itérations aléatoires .....	294
2.10.5	Fractales dans le plan complexe .....	296
2.10.5.1	Ensembles de Julia.....	297
2.10.5.2	Ensembles de Mandelbrot .....	299
<b>3.</b>	<b>Déterminisme : étude détaillée.....</b>	<b>303</b>
3.1	Lois d'interruption et lois d'évolution .....	303
3.1.1	Lois d'interruption.....	304
3.1.2	Lois d'évolution .....	307
3.1.2.1	Contrôle de l'évolution .....	309
3.1.2.2	Lois d'évolution simultanées .....	309
3.1.3	Loi globale d'évolution de la physique.....	309
3.1.3.1	Universalité des lois physiques.....	310
3.1.3.2	L'évolution naturelle fait la synthèse de causes diverses .....	310
3.1.4	Loi globale d'interruption de la physique .....	310
3.1.5	Loi globale du déterminisme.....	311
3.1.5.1	Propriétés négatives de la loi globale d'évolution due à la causalité.....	311
3.1.5.2	Il n'y a pas de phénomène intelligible en totalité .....	312
3.1.5.3	Conséquence philosophique des inégalités de Bell : la non-séparabilité.....	312
3.1.5.3.1	<i>Corrélation de particules : l'espace physique n'est pas séparable</i> .....	312
3.1.6	Action des 4 forces fondamentales de la nature .....	313
3.1.6.1	Les deux types de lois physiques .....	313
3.1.6.2	Similitude formelle des forces gravitationnelle et électrostatique .....	314
3.1.6.3	Action des forces de l'échelle subatomique.....	315
3.1.6.4	Forces intervenant dans les lois d'évolution .....	315
3.1.6.5	Déclenchement et interruption des forces fondamentales agissant sur un système .	316
3.2	Déterminisme scientifique de la physique macroscopique.....	316

3.2.1.1	Causalité étendue .....	317
3.2.1.2	Déterminisme et hystérésis.....	318
3.2.2	Déterminisme des évolutions régies par des équations différentielles .....	321
3.2.2.1	Définition d'une évolution .....	321
3.2.2.2	Evolutions dans le temps : variables et leurs dérivées .....	321
3.2.2.3	Charge d'un condensateur à travers une résistance .....	323
3.2.2.4	Résolution des équations différentielles de proche en proche .....	324
3.2.2.5	Equations différentielles autonomes à une variable .....	325
3.2.2.6	Equations différentielles à 2 variables – Modèle de Lotka-Volterra .....	326
3.2.2.6.1	<i>Point fixe attracteur</i> .....	328
3.2.2.6.2	<i>Cycle limite attracteur de Van der Pol</i> .....	330
3.2.2.7	Equations différentielles autonomes à 2 variables .....	331
3.2.2.8	Equations différentielles autonomes à 3 variables .....	332
3.2.2.8.1	<i>Equations de Lorenz – Dynamique chaotique</i> .....	332
3.2.2.8.2	<i>Attracteur de Rössler</i> .....	337
3.2.3	Déterminisme des formules, algorithmes et logiciels .....	339
3.2.4	Portée du déterminisme : locale ou globale .....	340
3.2.4.1	Principe de moindre action de Maupertuis .....	340
3.2.4.2	Principe de Fermat.....	341
3.2.4.3	Lois de Descartes .....	342
3.2.4.4	Quasi-cristaux .....	343
3.2.4.5	Conclusion sur le déterminisme global .....	344
3.2.4.6	Caractère humain, artificiel, de la notion d'échelle .....	344
3.2.4.7	Déterminisme global et déterminisme de proche en proche .....	345
3.2.5	Déterminisme et prédictibilité des systèmes .....	346
3.2.5.1	Autocorrélation.....	346
3.2.5.2	Imprédictibilité et principe d'incertitude de Heisenberg .....	347
3.2.5.3	Systèmes aperiodiques – Attracteurs étranges .....	347
3.2.5.4	Changement de loi d'évolution par bifurcation – Valeur critique .....	349
3.2.5.5	Réalité physique et représentation dans l'espace des états .....	350
3.3	Relativité restreinte .....	351
3.3.1	Toute trajectoire est relative à un référentiel.....	351
3.3.2	Référentiel galiléen – Transformation galiléenne.....	352
3.3.3	Principe de relativité restreinte .....	353
3.3.4	Théorie de la Relativité restreinte.....	354
3.3.5	Transformation de Lorentz .....	355
3.3.5.1	Effets sur les vitesses, les longueurs, les durées, les masses, etc. ....	356
3.3.5.2	La simultanéité n'existe pas physiquement .....	359
3.3.6	L'espace-temps relativiste .....	359
3.3.6.1	Quadrivecteur et quadrivitesse .....	359
3.3.6.2	Quadri-quantité de mouvement .....	360
3.3.6.3	Conservation et non-conservation de la quantité de mouvement .....	361
3.3.6.4	Energie et quantité de mouvement relativistes, et leur conservation .....	361
3.3.6.5	Continuum et Continuum euclidien.....	362
3.3.6.6	Interdépendance espace-temps dans la transformation de Lorentz .....	362
3.3.6.7	Intervalle d'espace-temps entre deux événements .....	363
3.3.6.7.1	<i>L'équation métrique, autre définition de l'intervalle d'espace-temps</i> .....	363
3.3.6.8	Métrie de Minkowski .....	363
3.3.6.9	Intervalle de temps entre deux événements.....	364
3.3.6.10	Conséquences déterministes de la Relativité.....	365
3.3.6.10.1	<i>Ecoulement du temps, Relativité et déterminisme</i> .....	365
3.3.6.10.2	<i>Paradoxe du voyageur de Langevin</i> .....	366
3.3.6.10.3	<i>Relativité et irréversibilité</i> .....	366
3.3.6.10.4	<i>Particules virtuelles. Electrodynamique quantique</i> .....	367
3.3.7	Les deux théories de la Relativité d'Einstein.....	368
3.3.7.1	Le prix Nobel .....	368
3.3.7.2	La révolution de la Relativité – Correspondance avec la Mécanique quantique.....	369
3.3.7.3	Le paradoxe philosophique de non-séparabilité.....	370
3.3.7.4	Extension du déterminisme à la Relativité et à la Conservation de l'information .....	370
3.3.8	Espace-temps de Minkowski .....	371



3.3.8.1	La Relativité restreinte .....	371
3.3.8.2	L'espace-temps .....	371
3.3.8.3	Diagramme d'espace-temps .....	372
3.3.8.4	Intervalle d'espace-temps .....	375
3.3.8.5	Condition de causalité entre deux événements .....	376
3.3.8.6	Indépendance entre deux événements et relation de causalité .....	377
3.3.8.7	Conclusions sur la causalité .....	380
3.3.8.8	Remarque sur la simultanéité .....	380
3.3.8.9	Ligne d'univers .....	381
3.3.8.9.1	<i>Temps propre d'un objet sur sa ligne d'univers</i> .....	381
3.3.8.10	Mouvement accéléré - Inclinaison du cône de lumière .....	382
3.3.8.11	Paradoxe du voyageur de Langevin .....	383
3.3.8.12	Quadrivecteur énergie-impulsion .....	384
3.4	Relativité générale .....	385
3.4.1	Masse gravitationnelle et masse inertielle .....	386
3.4.1.1	De la mécanique de Newton à celle de la Relativité générale .....	387
3.4.1.2	Pourquoi sa gravitation n'a-t-elle pas fait s'effondrer l'Univers ? .....	387
3.4.2	Hypothèse géodésique – Temps propre .....	388
3.4.3	Principe d'équivalence d'un référentiel galiléen .....	390
3.4.4	Un mouvement accéléré a le même effet sur une masse qu'une gravitation .....	391
3.4.5	Postulat fondamental de la Relativité générale .....	392
3.4.5.1	La gravitation ralentit le temps .....	393
3.4.6	La gravitation n'est pas due à la matière, mais à son énergie potentielle .....	394
3.4.7	Equation d'Einstein .....	395
3.4.8	Comment prouver que la Terre est ronde et non plate ? .....	396
3.4.9	Coordonnées de Gauss .....	397
3.4.9.1	Changement de référentiel .....	399
3.4.9.2	Quadrivecteur : transformation lors d'un changement de repère .....	399
3.4.9.3	Convention de notation d'Einstein .....	400
3.4.9.4	Vecteurs covariants et contravariants .....	400
3.4.10	Tenseur .....	400
3.4.11	Principe de relativité générale : premier énoncé .....	403
3.4.12	Espace et temps dans un champ de gravitation .....	404
3.4.13	Solution du problème de la gravitation en Relativité générale .....	405
3.4.14	Equations des géodésiques .....	406
3.4.14.1	Géodésiques du genre temps .....	406
3.4.14.2	Géodésiques du genre lumière .....	407
3.4.15	Métrique de Schwarzschild .....	407
3.4.15.1	Définitions mathématiques relatives à un espace métrique .....	407
3.4.15.2	Tenseur métrique de Schwarzschild .....	408
3.4.15.3	Intervalle de temps avec la métrique de Schwarzschild .....	409
3.4.15.4	Tenseur métrique de Schwarzschild .....	410
3.4.15.5	Quantités conservées le long des trajectoires géodésiques .....	410
3.4.15.6	Précession du périhélie des orbites des planètes .....	411
3.4.15.7	Trajectoires des photons .....	413
3.4.15.8	Déviations de la lumière d'étoiles par la gravité solaire .....	417
3.4.15.9	Lentilles gravitationnelles .....	417
3.4.16	Constante cosmologique .....	418
3.4.17	Interprétation de l'équation d'Einstein .....	420
3.4.18	Géométrie et évolution de l'Univers résultant de la Relativité générale .....	422
3.4.18.1	Facteur d'échelle .....	422
3.4.18.2	Evolution de l'Univers en coordonnées généralisées $q(\vec{r})$ .....	423
3.4.18.3	Equations d'état de l'Univers considéré comme un « gaz » de galaxies .....	425
3.4.18.4	Equation de Friedmann décrivant l'évolution de l'Univers .....	426
3.4.18.4.1	<i>Paramètre et constante de Hubble – Densité critique <math>\Omega</math></i> .....	427
3.4.18.4.2	<i>Equation d'expansion de l'Univers</i> .....	429
3.4.18.4.3	<i>Problème de l'espace plat, c'est-à-dire de courbure nulle</i> .....	430
3.4.18.5	Evolution théorique possible de l'Univers .....	430
3.4.18.6	Evolution de l'Univers résultant des recherches les plus récentes .....	432

3.4.18.7	Densité de matière de l'Univers à très grande échelle .....	432
3.4.19	Preuves expérimentales de la Relativité générale .....	433
3.4.19.1	Décalage des fréquences dans un champ gravitationnel – Effet Einstein .....	433
3.4.19.2	Mirages gravitationnels .....	433
3.4.19.3	Retard des signaux passant près du Soleil (effet Shapiro) .....	434
3.4.19.4	Ondes gravitationnelles (effet Einstein) .....	434
3.4.19.4.1	<i>Pulsar</i> .....	434
3.4.19.4.2	<i>Ondes gravitationnelles</i> .....	436
3.4.20	Gravitoélectromagnétisme .....	438
3.4.20.1	Effet gravitoélectromagnétique sur un gyroscope .....	439
3.4.20.2	Précession de Lense-Thirring : torsion de l'espace par un objet tournant .....	440
3.4.20.3	Précession géodétique .....	442
3.4.21	Métrie d'un corps sphérique en rotation sur lui-même .....	442
3.4.21.1	Solution en champ faible pour une sphère en rotation lente .....	442
3.4.21.2	Métrie de Kerr .....	443
3.4.21.3	Déviation d'une particule par un objet en rotation .....	444
3.4.21.4	Hypothèse de la censure cosmique.....	444
3.4.21.5	Particules et trajectoires d'énergie négative .....	445
3.4.21.5.1	<i>Energie négative en physique</i> .....	445
3.4.21.5.2	<i>L'Univers a peut-être été créé à partir de rien !</i> .....	446
3.4.21.5.3	<i>Processus d'extraction d'énergie d'un trou noir de Penrose</i> .....	446
3.5	Evolution stellaire : formation, vie et mort d'une étoile .....	447
3.5.1	Formation des étoiles et production d'énergie .....	447
3.5.2	Les 7 types d'évolution stellaire.....	449
3.5.3	Fin de vie des étoiles .....	452
3.5.4	Disque d'accrétion - Quasar .....	456
3.6	Trou noir .....	458
3.6.1	Définition astronomique et formation d'un trou noir .....	458
3.6.2	Rayon de Schwarzschild .....	461
3.6.3	Horizon des événements d'un trou noir.....	463
3.6.4	Pathologies sur la surface horizon .....	464
3.6.5	Coordonnée d'espace-temps à sens de variation imposé .....	465
3.6.5.1	Echange des rôles des coordonnées $r$ et $t$ à l'intérieur de l'horizon .....	466
3.6.6	Déplacement d'une particule massive au voisinage de l'horizon.....	466
3.6.6.1	Durée maximum de survie après franchissement de l'horizon .....	467
3.6.6.2	Contraintes de déformation d'un objet approchant d'un trou noir .....	468
3.6.6.3	Problèmes des coordonnées de Schwarzschild .....	468
3.6.7	Thermodynamique des trous noirs.....	469
3.6.7.1	Les découvertes surprenantes de Stephen Hawking .....	469
3.6.7.2	Les particules d'énergie négative à l'infini .....	469
3.6.7.3	Température d'un trou noir .....	470
3.6.7.4	Baisse de fréquence d'un photon qui s'éloigne de « l'horizon étiré » .....	471
3.6.7.5	Processus d'évaporation à partir de l'Horizon étiré .....	471
3.6.7.6	Durée de vie d'un trou noir avant évaporation explosive complète .....	472
3.6.7.7	Entropie d'un trou noir.....	472
3.6.7.7.1	<i>Entropie d'un trou noir en rotation</i> .....	473
3.6.8	Ergorégion .....	474
3.6.8.1	Surface de décalage de la lumière vers le rouge infini .....	475
3.6.8.2	Ralentissement gravitationnel des horloges .....	478
3.6.8.3	Evaporation des trous noirs (rayonnement de Hawking).....	478
3.6.9	De l'existence des trous noirs à celle d'un Big Bang.....	479
3.6.10	Quantité d'informations d'un trou noir.....	479
3.6.10.1	Que devient l'information descriptive de la matière absorbée par un trou noir ? .....	479
3.6.11	Information des particules tombées dans un trou noir .....	480
3.6.11.1	Un trou noir n'a pas de cheveux .....	480
3.6.11.2	Un trou noir détruit-il l'information des particules absorbées ?.....	480
3.6.11.3	Des théories contradictoires sur la perte d'informations par évaporation?.....	481
3.6.11.4	Information stockée sur l'Horizon des événements d'un trou noir .....	482

3.7 Univers.....	483
3.7.1 Paradoxe d'Olbers .....	483
3.7.2 Généralités.....	483
3.7.2.1 Notre galaxie, la Voie lactée .....	486
3.7.2.2 L'espace vide est un champ de force .....	489
3.7.2.3 Espace et temps sont inséparables.....	489
3.7.2.4 L'espace cosmique "vide" contient de la matière et de l'énergie noires .....	490
3.7.3 L'univers en expansion .....	490
3.7.3.1 Loi de Hubble : vitesse d'expansion de l'Univers .....	491
3.7.3.2 Conséquences cosmologiques de la Loi de Hubble.....	492
3.7.3.3 Les trois rayons de l'Univers.....	492
3.7.3.4 Températures et densités pendant les 100 000 premières années .....	494
3.7.4 Fond diffus cosmologique – Homogénéité et isotropie de l'Univers .....	497
3.7.4.1 Les premiers temps de l'Univers jusqu'à la recombinaison .....	497
3.7.4.2 Le fond diffus cosmologique .....	497
3.7.4.3 Homogénéité et isotropie s'expliquent par la théorie du Big Bang .....	500
3.7.4.4 Conséquences de l'homogénéité et de l'isotropie constatées.....	501
3.7.4.5 Le Problème de l'horizon .....	501
3.7.5 Inflation et transport d'énergie par le boson de Higgs.....	503
3.7.5.1 Explication de principe du déclenchement de l'inflation : théories de Grande unification et de Superunification .....	503
3.7.5.2 Théories de Grande unification.....	505
3.7.5.2.1 <i>Rupture spontanée de symétrie.....</i>	506
3.7.5.2.2 <i>Modèle d'Alan Guth : la surfusion a créé les conditions de l'inflation .....</i>	512
3.7.5.3 Principe de l'inflation .....	513
3.7.5.4 Détails du déroulement de l'inflation .....	514
3.7.5.5 Dilatation d'espace à géométrie constante.....	516
3.7.5.6 Dilatation d'espace à densité d'énergie constante .....	517
3.7.5.7 Conséquences de l'inflation .....	518
3.7.5.8 Conjecture : l'inflation se poursuivra éternellement par endroits.....	519
3.7.5.8.1 <i>Pluralité possible du phénomène d'inflation.....</i>	519
3.7.5.9 Le modèle d'inflation d'Alan Guth remplacé par celui d'Andrei Linde.....	520
3.7.5.10 Critique philosophique de cette théorie de l'inflation .....	521
3.7.5.10.1 <i>Principe anthropique.....</i>	521
3.7.5.10.2 <i>Caractère humain, artificiel, de la notion d'échelle .....</i>	525
3.7.5.10.3 <i>Principe cosmologique.....</i>	525
3.7.5.10.4 <i>Monopoles magnétiques.....</i>	526
3.7.5.11 Régénération éternelle des régions en inflation .....	526
3.7.6 Matière noire et énergie noire.....	527
3.7.7 Big Bang, la naissance de l'Univers .....	528
3.7.8 L'ère de Planck .....	530
3.7.8.1 Système d'unités naturelles de Planck .....	532
3.7.9 L'ère radiative .....	532
3.7.10 Les transitions de phase séparent les forces fondamentales .....	533
3.7.11 Le confinement des quarks et l'ère hadronique .....	536
3.7.12 Asymétrie matière-antimatière et annihilation baryons-antibaryons .....	537
3.7.13 L'ère leptonique et le découplage des neutrinos.....	537
3.7.13.1 Le découplage des neutrinos.....	537
3.7.13.2 Disparition des positrons.....	538
3.7.14 Nucléosynthèse primordiale des noyaux d'hydrogène et d'hélium.....	538
3.7.15 Découplage des photons.....	540
3.7.16 Les fluctuations quantiques à l'origine des galaxies .....	541
3.7.17 Nucléosynthèse post-primordiale .....	543
3.7.17.1 Réactions de fusion nucléaire.....	544
3.7.17.2 Réactions d'absorption de neutrons .....	544
3.7.17.3 Réactions de photodésintégration .....	544
3.7.17.4 Réactions de spallation.....	545
3.7.18 L'expansion actuelle avec dilution et refroidissement.....	545
3.7.19 Modèle théorique du Big Bang .....	546
3.7.20 Proportions de matière baryonique, matière noire et énergie noire.....	546

3.7.21	L'univers infiniment grand a une masse infinie .....	547
3.7.22	Les multivers, des univers parallèles .....	547
3.7.22.1	Les multivers de niveau 1 .....	548
3.7.22.2	Les multivers de niveau 2 .....	548
3.8	Déterminisme statistique.....	549
3.8.1	Domaines de la physique quantique .....	550
3.8.1.1	Mécanique quantique.....	552
3.8.1.2	Electrodynamique quantique (Quantum Electrodynamics : QED).....	552
3.8.1.3	Chromodynamique quantique (Quantum Chromodynamics : QCD) .....	552
3.8.1.4	Optique quantique.....	553
3.8.2	Quantification des interactions et conséquences sur le déterminisme .....	553
3.8.2.1	Différence entre quantification et imprécision.....	554
3.8.2.2	Echanges quantifiés et emprunts d'énergie.....	554
3.8.2.3	Conséquences de la quantification des interactions : extension du déterminisme ...	554
3.8.2.4	Quantification des vibrations - Phonons et frottements .....	555
3.8.2.5	Effets mécaniques et thermiques de la lumière .....	555
3.8.2.6	Effets photoélectriques .....	556
3.8.2.7	Conséquences des diverses imprécisions sur le déterminisme .....	557
3.8.2.7.1	<i>Impossibilité de remonter d'une conséquence à sa cause .....</i>	<i>558</i>
3.8.3	Précision des prédictions de la physique quantique .....	559
3.8.4	Commentaires philosophiques sur le déterminisme .....	560
3.8.4.1	Validité des lois de la Mécanique quantique à l'échelle macroscopique .....	560
3.8.4.2	Le déterminisme étendu peut abolir les distances et les durées.....	561
3.8.4.3	Multiplicité des conséquences possibles .....	562
3.8.4.4	Imprévisibilité de l'évolution et de l'état final.....	562
3.8.4.5	Difficulté de préciser la situation de départ ou le processus d'évolution .....	563
3.8.4.5.1	<i>Impossibilité de remonter l'arborescence de causalité .....</i>	<i>563</i>
3.8.4.5.2	<i>Irréversibilité.....</i>	<i>564</i>
3.8.4.5.3	<i>Relativité .....</i>	<i>565</i>
3.8.4.5.4	<i>Matérialisme et déterminisme des lois du vivant .....</i>	<i>565</i>
3.8.5	Unité des lois de la physique aux échelles macroscopique et atomique.....	565
3.8.5.1	Principe de correspondance .....	565
3.8.5.2	Principe de complémentarité .....	567
3.9	Déterminisme étendu.....	568
3.9.1	Uniformité des lois de la nature.....	568
3.9.1.1	Principe cosmologique : l'espace est homogène et isotrope.....	568
3.9.1.2	Les lois physiques sont stables (invariantes) dans le temps et l'espace.....	569
3.9.1.3	Les lois physiques sont cohérentes (non contradictoires).....	569
3.9.1.4	La nature est complète .....	569
3.9.1.4.1	<i>L'homme doit imaginer les lois de la nature.....</i>	<i>570</i>
3.9.1.4.2	<i>Postulat d'intelligibilité.....</i>	<i>570</i>
3.9.1.4.3	<i>Postulat de synthèse naturelle.....</i>	<i>570</i>
3.9.1.4.4	<i>Complétude à la fois analytique, synthétique et procédurale .....</i>	<i>571</i>
3.9.1.4.5	<i>Veille, déclenchement et arrêt d'évolutions .....</i>	<i>571</i>
3.9.1.4.6	<i>Les lois de la nature sont des lois d'évolution ou des lois d'interruption.....</i>	<i>572</i>
3.9.2	Conclusions sur la causalité et conséquences .....	573
3.9.3	Principe de conservation de l'information d'un système fermé .....	573
3.9.3.1	Information .....	573
3.9.3.2	Conservation de l'information d'un système matériel fermé .....	574
3.9.3.2.1	<i>Unitarité de la Mécanique quantique .....</i>	<i>577</i>
3.9.3.2.2	<i>Evolutions qui empêchent la conservation de l'information .....</i>	<i>578</i>
3.9.3.2.3	<i>Principe de Landauer : coût thermodynamique de l'effacement de mémoire.....</i>	<i>579</i>
3.9.3.2.4	<i>Perte d'informations dans les évolutions mesurées avec retard.....</i>	<i>579</i>
3.9.3.3	Quantité d'information-énergie dans un volume délimité par une surface .....	580
3.9.3.4	Surface nécessaire décrivant un objet - Principe holographique .....	581
3.9.3.5	Principe holographique de la quantité d'information .....	581
3.9.4	Apparitions .....	582
3.9.4.1	Restriction du postulat de causalité .....	583
3.9.4.2	Conjecture d'une apparition .....	583
3.9.4.3	Postulat de causalité étendue, avec interruptions et apparitions .....	584

3.9.4.3.1	<i>Une situation évolue nécessairement dans le temps</i> .....	584
3.9.4.3.2	<i>Remarques sur la causalité étendue</i> .....	585
3.9.5	Du déterminisme scientifique au déterminisme étendu .....	587
3.10	<b>Déterminisme humain</b> .....	<b>587</b>
3.10.1	Le déterminisme du vivant.....	588
3.10.1.1	Définitions du vivant.....	588
3.10.1.2	Etres vivants et déterminisme.....	588
3.10.1.3	Complexification naturelle.....	588
3.10.1.4	Possibilité de créer artificiellement un comportement vivant.....	589
3.10.1.4.1	<i>Synthèse d'acides aminés</i> .....	589
3.10.1.4.2	<i>Génie génétique</i> .....	589
3.10.2	Programme génétique et déterminisme .....	590
3.10.2.1	Gènes et comportement humain .....	592
3.10.2.2	Evolution du programme génétique.....	592
3.10.2.3	Evolution d'une population.....	594
3.10.2.4	Preuves de la théorie darwinienne de l'évolution .....	594
3.10.2.5	Evolution due à une modification de l'expression de gènes.....	594
3.10.2.6	Conclusion sur le déterminisme génétique.....	596
3.10.3	Renouvellement biologique et persistance de la personnalité.....	597
3.10.4	Niveaux d'information biologique et déterminisme génétique.....	598
3.10.4.1	Information du logiciel génétique .....	598
3.10.4.2	Etres vivants artificiels définis à partir de leur seul code génétique .....	601
3.10.4.3	Objections idéalistes et leur réfutation.....	601
3.10.5	Les universaux, part importante de l'inné humain.....	602
3.10.6	Mécanismes psychiques non algorithmiques ou imprévisibles .....	604
3.10.6.1	Mécanisme psychique algorithmique.....	604
3.10.6.2	Mécanisme psychique déterministe.....	605
3.11	<b>Critique du déterminisme</b> .....	<b>606</b>
3.11.1	Conditions de prise en défaut du déterminisme.....	606
3.11.2	Conclusion : il faut postuler le déterminisme.....	608
3.11.3	La causalité elle-même peut-elle être remise en question ?.....	608
3.11.3.1	Objections à la causalité contestant la méthode scientifique .....	608
3.11.3.2	Causalité et théorie de la Relativité .....	610
3.11.3.3	Compléments sur les notions de cause et de causalité .....	612
3.11.3.3.1	<i>Cause physique</i> .....	612
3.11.3.3.2	<i>Causalité</i> .....	612
3.11.3.3.3	<i>Horizon de prédiction ou de reconstitution du passé</i> .....	613
3.11.3.4	Critique de la notion de cause première (cause ultime) .....	614
3.11.3.4.1	<i>Régression à l'infini</i> .....	614
3.11.3.4.2	<i>Un temps cyclique, pure spéculation</i> .....	616
3.11.3.4.3	<i>Théorie cosmologique de la gravitation quantique</i> .....	617
3.11.3.4.4	<i>Conséquences de la cosmologie sur le « début de la causalité »</i> .....	617
3.11.3.4.5	<i>Conséquences de la Relativité sur l'unicité de la cause première</i> .....	617
3.11.4	Critique de la méthode scientifique et de la vérité scientifique .....	618
3.11.4.1	Les formalistes.....	619
3.11.4.2	Les intuitionnistes .....	619
3.11.4.3	Les platoniciens .....	620
3.11.4.4	Les rationalistes du XVIIIe siècle.....	620
3.11.4.5	Les empiristes .....	621
3.11.4.6	Le rationalisme critique de Karl Popper.....	621
3.11.4.6.1	<i>Définition d'une vérité scientifique</i> .....	622
3.11.4.6.2	<i>Définition d'une théorie appliquée à un domaine pratique</i> .....	623
3.11.4.6.3	<i>Critères à respecter pour qu'une théorie scientifique soit acceptable</i> .....	624
3.11.4.6.4	<i>Une théorie peut-elle être probable ?</i> .....	625
3.11.4.6.5	<i>Définition d'une théorie scientifique objective</i> .....	625
3.11.4.6.6	<i>Comparaison du rationalisme critique avec l'empirisme</i> .....	626
3.11.4.6.7	<i>Polémique entre le rationalisme critique et le conventionalisme</i> .....	627
3.11.4.6.8	<i>Les systèmes interprétatifs</i> .....	627
3.11.4.6.9	<i>Sciences dures et sciences molles</i> .....	628
3.11.4.6.10	<i>Evolution d'une vérité, de la science et du monde selon Popper</i> .....	629

<b>4. Conscience et conscience de soi .....</b>	<b>631</b>
4.1 Buts de ce texte .....	631
4.2 La conscience s'explique sans invoquer de transcendance .....	631
4.2.1 Un vieux débat : la conscience est-elle transcendante ? .....	631
4.2.2 La connaissance rationnelle exige de postuler le matérialisme .....	632
4.2.3 Les pensées ne sont que des interprétations de l'état du cerveau .....	633
4.2.4 Pourquoi notre pensée est-elle souvent imprévisible ? .....	634
4.2.5 Résumé des notions connues grâce à Freud .....	635
4.2.6 Résumé des notions connues grâce à Jung .....	636
4.2.7 Le modèle "Réseau d'ordinateurs autonomes interconnectés" du psychisme .....	637
4.2.8 Niveaux d'abstraction et déterminisme .....	637
4.2.8.1 Représentation et concept .....	637
4.2.8.1.1 <i>Représentation</i> .....	637
4.2.8.1.2 <i>Concept</i> .....	639
4.2.8.2 Densité et profondeur d'abstraction .....	639
4.2.8.3 Compréhension par niveaux d'abstraction .....	642
4.2.8.4 Penser par niveaux d'abstraction .....	643
4.2.9 Théorie informationnelle du psychisme .....	644
4.2.10 La conscience .....	644
4.2.10.1 La <i>conscience de</i> , ETAT du psychisme .....	644
4.2.10.1.1 <i>Justification : une conscience de est un ensemble de données</i> .....	644
4.2.10.1.2 <i>Données et structure d'une représentation</i> .....	645
4.2.10.1.3 <i>Représentation propre d'un objet</i> .....	646
4.2.10.2 La prise de conscience de, ACTION du psychisme .....	646
4.2.10.2.1 <i>Mémorisation des étapes d'une action - Schéma d'attention</i> .....	646
4.2.10.2.2 <i>Étapes de la mémorisation d'objets composés et leur structure</i> .....	647
4.2.10.2.3 <i>Le travail non conscient de reconstruction critique de la conscience</i> .....	648
4.2.10.3 La <i>conscience de</i> est un couple {Objet + Schéma d'attention} .....	648
4.2.10.3.1 <i>Toute conscience de est prise en compte instantanément</i> .....	648
4.2.10.3.2 <i>Conscience de, présence à l'esprit et sens</i> .....	649
4.2.10.4 Le champ d'attention .....	650
4.2.10.5 La conscience de soi .....	650
4.2.10.6 Conscience d'un objet quelconque .....	651
4.2.10.7 Modèle prévisionnel de l'évolution d'un objet - Intention d'agir .....	651
4.2.10.8 Conscience d'autrui - La Théorie de l'esprit .....	652
4.2.10.9 Perception de la conscience de en tant qu'« émanation de fluide » .....	652
4.2.10.10 Conscience (tout court) .....	652
4.2.10.11 Conclusion : la conscience est une interprétation .....	654
<b>5. Déterminisme humain et libre arbitre .....</b>	<b>656</b>
5.1 De la vraie nature du matérialisme et de la séduction légitime qu'il exerce .....	656
5.2 Point de vue de Kant sur le libre arbitre .....	658
5.3 L'homme se sent libre de ses choix .....	660
5.4 Considérations philosophiques sur le déterminisme et le libre arbitre .....	660
5.4.1 La volonté n'a pas de pouvoir en elle-même .....	661
5.4.2 La raison n'est pas une valeur, ce n'est qu'un outil au service des valeurs .....	661
5.4.3 L'homme est toujours insatisfait .....	661
5.4.4 Le libre arbitre selon Sartre .....	662
<b>6. Annexes .....</b>	<b>663</b>
6.1 Rappels de philosophie .....	663
6.1.1 Principes de logique .....	663
6.1.1.1 Principe d'identité .....	663
6.1.1.2 Principe de non-contradiction .....	663
6.1.1.3 Principe du tiers exclu, aussi appelé du milieu exclu .....	663
6.1.1.4 Principe du syllogisme .....	664

6.1.1.5	Principe de déduction .....	665
6.1.1.6	Principe d'assertion.....	665
6.1.1.7	Principe de déterminabilité d'un concept .....	665
6.1.1.8	Principe d'homogénéité .....	666
6.1.2	Logique .....	667
6.1.2.1	Table des symboles de la Logique symbolique et de la Théorie des ensembles .....	667
6.1.2.2	Algorithme .....	669
6.1.2.3	Axiome .....	669
6.1.2.4	Axiomatique et Système logique .....	670
6.1.2.5	Axiomatique de l'algèbre de Boole .....	673
6.1.2.6	Langage formel .....	673
6.1.2.7	Propositions indécidables – Théorèmes d'incomplétude de Gödel .....	674
6.1.2.7.1	<i>Proposition logique</i> .....	674
6.1.2.7.2	<i>Théorèmes d'incomplétude de Gödel</i> .....	674
6.1.2.8	Cohérence d'une axiomatique .....	677
6.1.2.9	Langages et vérité. Complétude d'un énoncé et d'un langage.....	678
6.1.2.10	Logique et inférence .....	679
6.1.2.11	Construction empirique d'une axiomatique.....	680
6.1.2.12	Théorème de Goodstein - Comment compléter une axiomatique.....	681
6.1.2.13	Un énoncé ne peut ni se décrire lui-même ni se comparer à lui-même .....	682
6.1.2.14	Problèmes insolubles. Théorème de Fermat. Equations diophantiennes .....	683
6.1.2.15	Certitude de l'existence d'une démonstration dans une axiomatique .....	683
6.1.3	La définition et l'existence d'un concept sont indépendants .....	684
6.1.4	Idéalisme, matérialisme et réalisme .....	685
6.1.4.1	Idéalisme.....	685
6.1.4.1.1	<i>Idéalisme de Platon</i> .....	686
6.1.4.1.2	<i>Idéalisme transcendantal de Kant</i> .....	686
6.1.4.2	Matérialisme.....	687
6.1.4.3	Réalisme transcendantal .....	688
6.1.5	Raison et rationalisme .....	690
6.2	Rappels de mathématiques .....	690
6.2.1	Nombres complexes et scalaires .....	690
6.2.1.1	Produit vectoriel .....	692
6.2.1.2	Nombre aléatoire, nombre normal .....	692
6.2.1.3	Ensemble de mesure nulle .....	693
6.2.1.4	Sens de « presque tous » en mathématiques .....	693
6.2.1.5	Algorithme déterministe générant une suite stochastique de valeurs .....	694
6.2.2	Continuité d'une variable et d'une fonction.....	695
6.2.3	Ensemble – Théorie des ensembles .....	695
6.2.3.1	Structure de groupe .....	701
6.2.3.2	Distributivité .....	701
6.2.3.3	Structures d'anneau et de corps .....	701
6.2.4	Vecteur, espace vectoriel, base, produit scalaire, module.....	702
6.2.5	Fonction linéaire et fonction non linéaire.....	703
6.2.6	Combinaison linéaire .....	703
6.2.7	Application linéaire, opérateur linéaire, valeur propre, vecteur propre .....	704
6.2.8	Observable.....	706
6.2.9	Opérateur vectoriel nabla (symbole $\nabla$ ) .....	706
6.2.10	Opérateur laplacien delta (symbole $\Delta$ ) = $\nabla^2$ .....	707
6.2.11	Transformées de Fourier et de Laplace .....	707
6.2.12	Convergence d'une suite ou d'une série .....	707
6.2.12.1	Paradoxe d'Achille et de la tortue .....	708
6.3	Rappels de physique macroscopique .....	708
6.3.1	Energie.....	708
6.3.2	Pression .....	710
6.3.3	Moment d'une force par rapport à un axe .....	711
6.3.4	Quantité de mouvement et impulsion .....	712
6.3.5	Moment cinétique d'une masse en rotation.....	712
6.3.5.1	Moments magnétiques d'un électron .....	713

6.3.6	Lois du mouvement et de la gravitation universelle de Newton.....	713
6.3.7	Loi de Coulomb.....	714
6.3.8	Force de Lorentz et champ électromagnétique.....	714
6.3.9	Mécaniques rationnelle, analytique et statistique.....	715
6.3.9.1	Principe d'additivité vectorielle des vitesses.....	715
6.3.10	Thermodynamique.....	716
6.3.10.1	Température absolue.....	716
6.3.10.2	Entropie thermodynamique.....	716
6.3.10.3	Définitions de la Thermodynamique.....	717
6.3.10.4	Principes de la thermodynamique.....	717
6.3.10.4.1	<i>Comprendre le deuxième principe de la thermodynamique.....</i>	718
6.3.10.4.2	<i>L'irréversibilité est une réalité, pas une apparence.....</i>	719
6.3.10.4.3	<i>Décroissance de l'entropie. Structures dissipatives. Auto-organisation.....</i>	720
6.3.10.5	Discussion philosophique de la qualité des prévisions.....	722
6.3.10.6	Entropie de Boltzmann.....	722
6.3.10.6.1	<i>Entropie relative.....</i>	724
6.3.10.7	Entropie statistique.....	724
6.3.10.8	Rayonnement du corps noir.....	724
6.3.11	Unités fréquemment utilisées.....	725
6.3.12	Système d'unités RG.....	725
6.3.13	Principales constantes de l'Univers.....	726
6.3.14	Nombre d'Avogadro.....	726
6.3.15	Photon.....	726
6.3.16	Potentiel et gradient.....	727
6.3.17	Equations de Maxwell.....	728
6.3.18	Effet Doppler.....	729
6.4	Définitions de mécanique quantique.....	730
6.4.1	Densité de probabilité.....	730
6.4.2	Résumé des cas d'imprédictibilité.....	733
6.5	Vocabulaire.....	734
6.6	Notes, ouvrages et articles cités.....	766
6.7	Textes complémentaires de Daniel Martin sur Internet.....	807
6.8	Philosophes, scientifiques et politiciens cités dans le texte.....	808

## Réponse aux questions

La lecture de cet ouvrage suscitera des questions. On pourra chercher la réponse :

- Dans la *Table des matières*, très détaillée ;
- Dans les annexes de philosophie, de mathématiques, de physique macroscopique et de Mécanique quantique ;
- Dans l'annexe *Vocabulaire*, dont les mots sont en ordre alphabétique croissant ;
- Dans l'annexe *Notes, ouvrages et articles cités*, où on trouvera aussi de nombreux compléments accessibles sur Internet ;
- Dans l'annexe *Textes complémentaires de Daniel Martin sur l'Internet*.

## Lecture des équations

La lecture des nombreuses équations n'est pas indispensable à la compréhension du texte ; elles sont destinées aux lecteurs désirant une rigueur mathématique que des périphrases ne peuvent remplacer. Leur signification et leurs conséquences sont toujours explicitées en français.



