

Table des matières

1. Déterminisme, hasard et chaos : généralités	1
1.1 Caractères déterministe, au hasard et stochastique	1
1.2 Premières définitions du déterminisme	3
1.2.1 Définition d'un phénomène	3
1.2.2 Les divers types de déterminisme	3
1.2.2.1 Définition générique du déterminisme	3
1.2.2.2 Déterminisme philosophique	3
1.2.2.3 Déterminisme scientifique	3
1.2.2.4 Déterminisme statistique	3
1.2.2.5 Déterminisme étendu	4
1.2.2.6 Déterminisme humain	4
1.2.2.7 Niveaux de déterminisme	5
1.2.2.8 Lois d'évolution et lois d'interruption de la nature	5
1.3 Philosophie du déterminisme	6
1.3.1 Raisons d'être du déterminisme : compréhension, prévision, prédiction	6
1.3.1.1 Différence entre prévoir et prédire	7
1.3.2 Le déterminisme étendu régit <i>toutes</i> les lois physiques	7
1.3.2.1 Le déterminisme est un principe régulateur des lois d'évolution naturelles	8
1.3.2.1.1 <i>Epistémologie</i>	8
1.3.2.1.2 <i>Objectifs de ce livre</i>	8
1.3.2.2 Déterminisme des lois de la nature : définitions et caractéristiques	9
1.3.2.3 Déterminisme des processus itératifs	12
1.3.2.4 Chaîne de causalité – Chaîne de conséquences	13
1.3.2.5 Le caractère déterministe ne doit pas être jugé à l'aide de situations	13
1.3.3 Déterminisme philosophique : définition et promesses	14
1.3.4 Philosophie de la causalité	15
1.3.4.1 Définition d'une cause	15
1.3.4.2 Causalité, réalisme et idéalisme	15
1.3.4.3 Causalité, nécessité et explication du monde	18
1.3.4.3.1 <i>Absurdité du concept « d'être absolument nécessaire »</i>	18
1.3.4.4 Comment l'homme produit les lois de la nature	19
1.3.4.5 Règle de stabilité (universalité, reproductibilité, invariance)	19
1.3.4.5.1 <i>Importance de la vitesse et de l'amplitude d'une évolution</i>	20
1.3.4.6 Principe de raison suffisante (en abrégé : Principe de raison)	21
1.3.4.6.1 <i>Nécessité d'une cause déterminée</i>	21
1.3.4.6.2 <i>Etat (situation) d'un système</i>	22
1.3.4.6.3 <i>Définition d'une cause suffisante – Domaine d'application</i>	22
1.3.4.6.4 <i>Limites d'application d'une loi d'évolution</i>	24
1.3.4.6.5 <i>Diagramme des phases d'un phénomène d'évolution</i>	25
1.3.4.6.6 <i>Continuité dans le temps des évolutions naturelles</i>	25
1.3.4.6.7 <i>Nécessité de situations-limites – Domaine d'application</i>	27
1.3.4.6.8 <i>Enoncé du Principe de raison suffisante</i>	27
1.3.4.6.9 <i>Les 4 domaines régis par le principe de raison suffisante</i>	28
1.3.4.6.10 <i>Réciproques d'une raison suffisante d'évolution</i>	32
1.3.4.6.11 <i>Raison suffisante et chaîne de causalité</i>	33
1.3.4.7 Le déterminisme philosophique est une causalité matérialiste	33
1.3.5 Le déterminisme ne garantit pas la prédictibilité	34
1.3.5.1 Décomposition radioactive d'un élément chimique	34
1.3.5.1.1 <i>Radioactivité alpha : émission d'une particule alpha</i>	34
1.3.5.1.2 <i>Radioactivité bêta : émission d'une particule bêta</i>	38
1.3.5.1.3 <i>Radioactivité gamma : émission d'un photon de haute énergie</i>	38
1.3.5.1.4 <i>Conversion d'énergie électromagnétique en matière</i>	39
1.3.5.2 Nécessité d'un autre déterminisme, adapté aux décompositions	39
1.3.5.3 Conditions nécessaires pour un déterminisme à résultats prédictibles	40
1.3.5.4 Autres exemples de phénomènes déterministes à résultats imprédictibles	41
1.3.5.4.1 <i>Algorithmes à résultat imprédictible</i>	41

1.3.5.4.2	Machine de Turing	42
1.3.5.4.3	Mouvement brownien - Flocons de neige	44
1.3.5.5	Déterminisme et durée d'exécution	45
1.3.5.6	Calculabilité, déterminisme et prévisibilité	46
1.3.5.6.1	Calculabilité d'une prédiction	48
1.3.5.6.2	Phénomènes déterministes à conséquences imprévisibles et erreurs philosophiques	50
1.3.5.6.3	Calculabilité par limitations et approximations	50
1.3.5.6.4	Nombres réels et problèmes non calculables	51
1.3.5.6.5	Il y a infiniment plus de réels non calculables que de réels calculables	54
1.3.5.6.6	Propositions indécidables	55
1.3.5.7	Déterminisme + complexité = imprédictibilité	55
1.3.5.8	Modélisation des systèmes complexes, notamment ceux du vivant	56
1.3.5.8.1	Des avancées très prometteuses en matière de modélisation	58
1.3.5.8.2	Analyse statistique de systèmes complexes	59
1.3.5.8.3	Complexité et décisions médicales	59
1.3.5.8.4	Algorithme de calcul de Pi - Suite pseudo-aléatoire de nombres entiers	62
1.3.5.9	Acquisition d'expérience – Intelligence artificielle	63
1.3.6	Ensemble de définition d'une loi déterministe	65
1.3.6.1	Structure	65
1.3.6.2	Ensemble de définition d'une loi déterministe	68
1.3.6.3	Une erreur de certains philosophes	68
1.4	Déterminisme scientifique	69
1.4.1	Définition du déterminisme scientifique	69
1.4.2	Critère de vérité scientifique : l'examen contradictoire	70
1.4.2.1	La preuve de vérité est remplacée par l'absence de preuve de fausseté	70
1.4.2.2	Le rationalisme critique de Karl Popper	71
1.4.2.2.1	La « vérité-consensus »	72
1.4.2.2.2	Pour être acceptable une hypothèse scientifique doit être falsifiable	72
1.4.2.2.3	Critères de vérité scientifique	73
1.4.2.2.4	Définition d'une théorie appliquée à un domaine pratique	73
1.4.2.2.5	Risques et inconvénients d'une vérité scientifique par consensus	76
1.4.2.2.6	Comparaison du rationalisme critique avec l'empirisme	76
1.4.2.2.7	Objection holistique à la falsifiabilité	77
1.4.2.2.8	Evolution d'une vérité, de la science et du monde selon Popper	77
1.4.3	Remarques philosophiques sur le déterminisme et le hasard	78
1.4.4	Symétrie temporelle et réversibilité du déterminisme scientifique	79
1.4.4.1	Différence entre symétrie temporelle et réversibilité	79
1.4.4.2	Phénomènes irréversibles	80
1.4.4.3	Exemple de loi symétrique par rapport au temps et réversible	81
1.4.4.4	Système conservatif ou dissipatif – Force conservative ou dissipative	83
1.4.4.5	Irréversibilité thermodynamique	83
1.4.5	Définitions relatives à un système et à son état	84
1.4.5.1	Degrés de liberté d'un système	84
1.4.5.1.1	Equipartition de l'énergie entre les degrés de liberté	85
1.4.5.1.2	Agitation thermique - Mouvement brownien des molécules	86
1.4.5.1.3	Paradoxe de l'émission continue du corps noir	86
1.4.5.2	Espace des phases – Stabilité des lois physiques d'évolution	87
1.4.5.2.1	Représentation de l'évolution d'un système	89
1.4.5.2.2	Evolution d'un système représentée par des équations différentielles	90
1.4.5.2.3	Lignes de force d'un espace des phases et unicité de l'évolution	90
1.4.5.2.4	Stabilité de l'évolution d'un système conservatif : théorème de Liouville	92
1.4.5.3	Attracteurs de l'espace des phases	92
1.4.5.3.1	Bassin d'attraction de l'espace des phases	93
1.4.5.3.2	Systèmes dissipatifs	94
1.4.5.3.3	Systèmes dissipatifs périodiques à échange d'énergie – Cycle limite	94
1.4.5.3.4	Systèmes à évolution quasi périodique	95
1.4.6	Equipartition de l'énergie dans un champ – Stabilité des atomes	96
1.4.7	Contradictions de la physique traditionnelle et de son déterminisme	97
1.4.8	Des forces physiques étonnantes	98
1.5	Hasard	99
1.5.1	Hasard ou imprédictibilité ?	100

1.5.2	Le hasard n'existe pas.....	100
1.5.3	Le besoin de rigueur dans l'invocation du hasard.....	101
1.5.3.1	L'attribution d'une cause au hasard exige une démonstration.....	101
1.5.3.2	Cas dans lesquels une évolution a un résultat imprédictible.....	101
1.5.3.2.1	<i>La nature statistique de l'évolution de l'objet – Prédicibilité statistique.....</i>	102
1.5.3.2.2	<i>La complexité.....</i>	102
1.5.3.2.3	<i>L'ignorance.....</i>	104
1.5.3.2.4	<i>L'imprécision.....</i>	105
1.5.3.2.5	<i>L'instabilité.....</i>	105
1.5.3.2.6	<i>La sensibilité aux conditions initiales.....</i>	105
1.5.3.2.7	<i>L'exigence d'un raisonnement algorithmique.....</i>	106
1.5.3.2.8	<i>Des exigences de prédictibilité impossibles à satisfaire.....</i>	107
1.5.3.2.9	<i>Le psychisme humain.....</i>	108
1.5.3.2.10	<i>Les trois types d'imprédictibilité : logique, théorique et pratique.....</i>	108
1.5.4	Les trois définitions du hasard.....	109
1.5.4.1	Définition de René Thom.....	109
1.5.4.2	Définition par rencontre de chaînes de causalité indépendantes - Hasard par ignorance.....	110
1.5.4.3	Définition par la quantité d'information.....	111
1.5.5	Conclusion : il n'y a pas de hasard, tout ce qui arrive <i>devait</i> arriver.....	111
1.5.5.1	Principe de fatalisme.....	111
1.5.5.1.1	<i>Conséquence : la causalité déterministe est aussi présent vers passé.....</i>	113
1.5.5.2	La nature est parfaitement déterministe.....	113
1.5.5.3	La contingence des situations du passé, appréciation spéculative.....	114
1.5.5.4	Extension du déterminisme aux résultats stochastiques.....	116
1.5.5.5	Définition du déterminisme statistique.....	117
1.5.5.5.1	<i>Prédictions de résultats du déterminisme statistique.....</i>	117
1.5.5.6	Différence entre déterminisme statistique et hasard pur.....	117
1.5.5.6.1	<i>Exemple d'interférences de photons avec eux-mêmes.....</i>	118
1.6	Déterminisme statistique.....	119
1.6.1	Rappels sur les statistiques.....	121
1.6.1.1	Distribution de probabilités.....	121
1.6.1.1.1	<i>Probabilités de variables discrètes et de variables continues.....</i>	122
1.6.1.1.2	<i>Loi normale de probabilités.....</i>	122
1.6.1.1.3	<i>Théorème central limite.....</i>	124
1.6.1.2	Conclusions philosophiques sur les probabilités.....	125
1.6.2	Du déterminisme scientifique au déterminisme statistique.....	126
1.6.2.1	Evolution vers un ensemble d'états superposés.....	126
1.6.2.2	Décohérence : passage d'une superposition cohérente à un de ses objets.....	127
1.6.2.2.1	<i>A l'échelle atomique toute mesure perturbe le système mesuré.....</i>	127
1.6.2.2.2	<i>Réduction de la fonction d'onde – Preuve physique de la décohérence.....</i>	127
1.6.2.2.3	<i>C'est la mesure qui crée son résultat ; avant il n'existait pas.....</i>	128
1.6.2.3	Lois d'évolution régies par le déterminisme statistique.....	128
1.6.3	Etat quantique d'un système.....	129
1.6.3.1	Quantum.....	129
1.6.3.2	Relations de Planck-Einstein et de Louis de Broglie.....	129
1.6.3.3	Nombres quantiques d'un atome, un noyau ou une particule subatomique.....	130
1.6.3.4	Déterminisme dual corpusculaire / ondulatoire.....	130
1.6.3.5	Les ondes de matière de Louis de Broglie.....	131
1.6.3.6	Fonction d'onde.....	132
1.6.3.6.1	<i>Trajectoires d'un électron autour d'un noyau atomique : orbitales.....</i>	133
1.6.3.6.2	<i>Les ondes de probabilité traversent la matière comme un champ de gravitation.....</i>	135
1.6.3.6.3	<i>Théorie de la résonance chimique.....</i>	136
1.6.4	Equation de Schrödinger.....	136
1.6.5	Les 6 postulats de la Mécanique quantique.....	140
1.6.5.1	Impossibilité de décrire des phénomènes sans symétrie temporelle.....	142
1.6.5.2	Inadaptation à la gravitation et à son espace courbe relativiste.....	142
1.6.5.3	Etats finaux d'un système macroscopique.....	143
1.6.5.4	Paquet d'ondes de probabilité.....	143
1.6.5.5	Superposition d'états, cohérence et décohérence.....	147
1.6.5.6	Le chat de Schrödinger.....	148

1.6.6	La Mécanique quantique, outil mathématique de l'échelle atomique	150
1.6.6.1	Expériences et lois initiales de la physique atomique	152
1.6.6.1.1	<i>Planck : les rayonnements électromagnétiques sont quantifiés</i>	152
1.6.6.1.2	<i>Einstein et l'effet photoélectrique</i>	153
1.6.6.1.3	<i>Niels Bohr et la théorie de l'atome quantifié</i>	153
1.6.6.1.4	<i>Louis de Broglie et l'unification corpusculaire / ondulatoire</i>	154
1.6.6.1.5	<i>Schrödinger : naissance de la Mécanique quantique, outil de description des états stationnaires et des évolutions à l'échelle atomique</i>	154
1.6.6.2	Evolutions multiples simultanées suivies de décohérences	154
1.6.7	Principe d'incertitude de Heisenberg	155
1.6.7.1	Conséquences du principe d'incertitude dans l'espace des phases	157
1.6.7.2	Conséquences philosophiques du principe d'incertitude	158
1.6.7.2.1	<i>Principe de non-clonage</i>	158
1.6.7.2.2	<i>L'instabilité naturelle, effet sans cause</i>	158
1.6.7.2.3	<i>L'énergie potentielle négative du vide est instable</i>	159
1.6.7.2.4	<i>Imprécision des mesures de trop faibles durées ou énergies</i>	159
1.6.7.2.5	<i>Imprécision et indétermination</i>	159
1.6.7.2.6	<i>La causalité physique n'est rigoureuse qu'à l'échelle humaine</i>	159
1.6.7.3	Instabilité/indétermination et déterminisme étendu	160
1.6.7.4	Hasard, imprécision et indétermination en Mécanique quantique	160
1.6.7.4.1	<i>Effet tunnel</i>	160
1.6.7.4.2	<i>En Mécanique quantique, l'imprévisibilité est aussi une instabilité</i>	161
1.6.7.5	Remarques sur l'incertitude et l'imprécision	162
1.6.7.6	Origine physique de l'incertitude de Heisenberg lors d'une mesure	163
1.6.7.7	Incertitude contextuelle de Kochen-Specker	164
1.6.8	Incertitude due à l'effet Compton	165
1.6.9	Fluctuations quantiques	166
1.6.9.1	Un vide plein d'énergie	166
1.6.9.1.1	<i>Le vide de la physique quantique</i>	166
1.6.9.1.2	<i>Effet Casimir du vide quantique</i>	167
1.6.9.1.3	<i>Fluctuations de l'énergie et de l'espace-temps</i>	168
1.6.10	Fluctuations thermiques	170
1.6.11	Conséquences philosophiques des résultats d'évolution ensemblistes	171
1.6.11.1	Une évolution a pour conséquence un ensemble d'états	171
1.6.11.2	Un système n'a pas d'état absolu, indépendant de tout observateur	172
1.6.11.3	Superposition d'états et fluctuations de l'espace-temps	173
1.6.12	Temps et gravitation quantiques	174
1.6.12.1	Le temps, les durées et la gravitation sont quantifiés	174
1.6.12.2	Penser l'Univers par événements fugaces, non par objets persistants	175
1.6.12.3	Description d'évolutions physiques sans variable temps	176
1.6.12.4	Événements quantiques élémentaires	177
1.6.13	Le passage du temps	177
1.6.13.1	Cause de toutes les évolutions physiques	177
1.6.13.2	Pourquoi le temps passe	178
1.6.13.2.1	<i>Le temps, abstraction nécessaire, n'existe que dans notre esprit</i>	178
1.6.13.2.2	<i>Concepts kantien du temps et de l'espace</i>	178
1.6.13.2.3	<i>Raison psychologique du libre arbitre</i>	180
1.6.14	Modèle atomique	180
1.6.14.1	Structure d'un atome	180
1.6.14.1.1	<i>Atome de Bohr</i>	182
1.6.14.1.2	<i>Trajectoires d'un électron autour d'un noyau atomique : orbitales</i>	183
1.6.14.1.3	<i>Les 4 nombres quantiques</i>	186
1.6.14.1.4	<i>Paramètres d'un électron d'atome : les nombres quantiques</i>	189
1.6.14.1.5	<i>Tableau périodique des éléments chimiques (© Microsoft Bing Creative Commons)</i>	190
1.6.14.2	Ion	191
1.6.14.3	Spin, fermions et bosons	191
1.6.14.3.1	<i>Spin</i>	191
1.6.14.3.2	<i>Fermions et bosons</i>	192
1.6.14.4	Principe d'exclusion de Pauli	193
1.6.14.5	Statistique de Bose-Einstein	194
1.6.14.6	Nucléons : protons et neutrons	195

1.6.14.7	Particules et antiparticules subatomiques	195
1.6.14.7.1	<i>Leptons</i>	197
1.6.14.7.2	<i>Quarks</i>	197
1.6.15	Les 4 forces fondamentales de la nature	200
1.6.15.1.1	<i>Force de gravitation</i>	201
1.6.15.1.2	<i>Force nucléaire (interaction nucléaire forte)</i>	201
1.6.15.1.3	<i>Force faible (interaction nucléaire faible)</i>	203
1.6.15.1.4	<i>Théorie électrofaible</i>	204
1.6.15.1.5	<i>Champ et boson de Higgs</i>	205
1.6.15.1.6	<i>Relation entre portée des forces et masse des particules d'interaction</i>	206
1.6.15.1.7	<i>Symétries et lois de conservation des 4 types fondamentaux d'interaction</i>	207
1.6.15.1.8	<i>Une loi générale d'interruption du déterminisme des lois d'évolution</i>	208
1.6.15.1.9	<i>Modèle standard des particules élémentaires</i>	209
1.6.16	Théories des champs	211
1.6.16.1	Théorie des ondes électromagnétiques	212
1.6.16.1.1	<i>Onde électromagnétique</i>	212
1.6.16.1.2	<i>Equations de Maxwell</i>	213
1.6.16.2	Toute évolution nécessite une interaction avec échange d'énergie	213
1.6.16.3	Théorie quantique des champs	214
1.6.16.3.1	<i>Dualité onde-particule</i>	215
1.6.16.3.2	<i>Théorie du comportement particulière des ondes électromagnétiques</i>	217
1.6.16.3.3	<i>Théories de jauge</i>	217
1.6.17	Lois de conservation et symétries	218
1.6.17.1	Invariance de valeurs et de lois physiques	218
1.6.17.2	Invariance de lois physiques par rapport à l'espace et au temps	218
1.6.17.3	Invariances et lois de conservation (lois fondamentales de la nature)	221
1.6.18	Déterminisme des lois fondamentales de la physique quantique	222
1.6.19	Problème de la mesure quantique	223
1.6.19.1	Critique de l'article [B154] Wikipédia <i>Problème de la mesure quantique</i>	223
1.6.19.2	Interprétation de Copenhague et Onde-pilote de De Broglie-Bohm	226
1.6.19.2.1	<i>Interprétation de Copenhague</i>	226
1.6.19.2.2	<i>Onde-pilote de De Broglie-Bohm</i>	227
1.7	Déterminisme arborescent à univers parallèles de Hugh Everett III	228
1.8	Chaos	231
1.8.1	Evolution itérative	232
1.8.2	Théorie des systèmes dynamiques	233
1.8.3	Conditions définissant le caractère chaotique d'un système dynamique	234
1.8.4	Propriétés d'une évolution chaotique	236
1.8.5	Déterminisme d'un processus itératif	237
1.8.5.1	Définition et objectifs	237
1.8.5.2	La fonction logistique	238
1.8.5.2.1	<i>Déroulement de l'itération</i>	238
1.8.5.2.2	<i>Evolution vers un point d'équilibre – Stabilité et instabilité</i>	239
1.8.5.2.3	<i>Evolution vers une oscillation entre deux points</i>	241
1.8.5.2.4	<i>Evolution vers une oscillation finale entre 4, 8 ou 3 points</i>	243
1.8.5.2.5	<i>Evolution apériodique</i>	244
1.8.5.2.6	<i>Sensibilité aux conditions initiales</i>	245
1.8.5.2.7	<i>Abandon du principe de limitation des conséquences d'une petite erreur</i>	248
1.8.5.2.8	<i>Diagramme des bifurcations - Universalité - Constante de Feigenbaum</i>	248
1.8.5.2.9	<i>Constante universelle de Feigenbaum et doublement périodique vers le chaos</i>	254
1.8.5.2.10	<i>Doublement périodique vers le chaos</i>	255
1.8.5.2.11	<i>Histogramme des évolutions chaotiques – Prédicibilité statistique</i>	256
1.8.5.2.12	<i>Intermittence</i>	259
1.8.5.2.13	<i>Attracteurs multiples</i>	259
1.8.6	Conditions d'apparition d'une évolution chaotique – Série de Fourier	261
1.8.6.1	Fluctuations faussement aléatoires d'un phénomène apériodique	262
1.8.6.2	Des suites de nombres ou de chiffres sont-elles aléatoires ?	264
1.8.6.3	Orbites planétaires chaotiques	264
1.8.6.4	Turbulence	265
1.8.6.4.1	<i>Théorie des bifurcations - Théorie de la stabilité</i>	265
1.8.6.5	Problème des trois corps	266

1.8.6.6	Vie, organisation, complexité et entropie	267
1.8.6.6.1	<i>Evolutionnisme et auto-structuration du vivant</i>	268
1.8.6.6.2	<i>La thermodynamique ne contredit pas la doctrine matérialiste</i>	269
1.8.6.6.3	<i>Accidents de la réplication du génome et évolution vers la complexité</i>	270
1.8.6.6.4	<i>Preuves de l'évolution darwinienne des espèces</i>	270
1.8.6.6.5	<i>L'obstination des tenants du créationnisme</i>	271
1.8.7	Conclusions philosophiques sur les systèmes dynamiques	272
1.8.7.1	Simplicité formelle n'entraîne pas simplicité de comportement	272
1.8.7.2	Calculabilité n'entraîne pas précision	272
1.8.7.3	Le caractère numérique ou vectoriel d'une grandeur n'implique pas une précision illimitée	273
1.8.7.4	L'aptitude à réfléchir ne garantit pas des conclusions justes	273
1.8.7.5	Causalité naturelle et causalité géométrique	274
1.9	Fractales	275
1.9.1	Mesure et représentation d'objets complexes	275
1.9.2	Dimension de similitude	281
1.9.2.1	Dimension du flocon de neige	282
1.9.2.2	Dimension de l'ensemble de Cantor	283
1.9.2.3	Dimension du triangle de Sierpiński	284
1.9.3	Exposant de Liapounov	286
1.9.4	Fractales aléatoires	287
1.9.4.1	Génération de nombres pseudo-aléatoires	287
1.9.4.2	Utilité de fractales avec une dose de caractère aléatoire	287
1.9.4.3	Courbe de Koch	287
1.9.4.4	Images fractales	290
1.9.4.5	Résultats déterministes d'itérations aléatoires	291
1.9.5	Fractales dans le plan complexe	293
1.9.5.1	Ensembles de Julia	294
1.9.5.2	Ensembles de Mandelbrot	296
2.	Déterminisme : étude détaillée	300
2.1	Lois d'interruption et lois d'évolution	300
2.1.1	Lois d'interruption	301
2.1.2	Lois d'évolution	304
2.1.2.1	Contrôle de l'évolution	306
2.1.2.2	Lois d'évolution simultanées	306
2.1.3	Loi globale d'évolution de la physique	306
2.1.3.1	Universalité des lois physiques	307
2.1.3.2	L'évolution naturelle fait la synthèse de causes diverses	307
2.1.4	Loi globale d'interruption de la physique	307
2.1.5	Loi globale du déterminisme	308
2.1.5.1	Propriétés négatives de la loi globale d'évolution due à la causalité	308
2.1.5.2	Il n'y a pas de phénomène intelligible en totalité	309
2.1.5.3	Conséquence philosophique des inégalités de Bell : la non-séparabilité	309
2.1.5.3.1	<i>Corrélation de particules : l'espace physique n'est pas séparable</i>	309
2.1.6	Action des 4 forces fondamentales de la nature	310
2.1.6.1	Les deux types de lois physiques	310
2.1.6.2	Similitude formelle des forces gravitationnelle et électrostatique	311
2.1.6.3	Action des forces de l'échelle subatomique	312
2.1.6.4	Forces intervenant dans les lois d'évolution	312
2.1.6.5	Déclenchement et interruption des forces fondamentales agissant sur un système	313
2.2	Déterminisme scientifique de la physique macroscopique	313
2.2.1	Postulat du déterminisme scientifique	314
2.2.2	Postulat de causalité et lois d'interruption	314
2.2.2.1	Définition du postulat de causalité	314
2.2.2.2	Tout changement de cause suffisante est régi par une loi d'interruption	314
2.2.2.3	Conséquences déterministes du postulat de causalité	315
2.2.2.4	Limites du déterminisme scientifique	315

2.2.2.5	Causalité étendue	316
2.2.2.6	Déterminisme et hystérésis.....	317
2.2.3	Déterminisme des évolutions régies par des équations différentielles	319
2.2.3.1	Définition d'une évolution	319
2.2.3.2	Evolutions dans le temps : variables et leurs dérivées	319
2.2.3.3	Charge d'un condensateur à travers une résistance	321
2.2.3.4	Résolution des équations différentielles de proche en proche	323
2.2.3.5	Equations différentielles autonomes à une variable	324
2.2.3.6	Equations différentielles à 2 variables – Modèle de Lotka-Volterra	325
2.2.3.6.1	<i>Point fixe attracteur</i>	327
2.2.3.6.2	<i>Cycle limite attracteur de Van der Pol</i>	329
2.2.3.7	Equations différentielles autonomes à 2 variables	329
2.2.3.8	Equations différentielles autonomes à 3 variables	330
2.2.3.8.1	<i>Equations de Lorenz – Dynamique chaotique</i>	330
2.2.3.8.2	<i>Attracteur de Rössler</i>	335
2.2.4	Déterminisme des formules, algorithmes et logiciels	337
2.2.5	Portée du déterminisme : locale ou globale	338
2.2.5.1	Principe de moindre action de Maupertuis	338
2.2.5.2	Principe de Fermat.....	339
2.2.5.3	Lois de Descartes	340
2.2.5.4	Quasi-cristaux	341
2.2.5.5	Conclusion sur le déterminisme global	342
2.2.5.6	Caractère humain, artificiel, de la notion d'échelle	342
2.2.5.7	Déterminisme global et déterminisme de proche en proche	343
2.2.6	Déterminisme et prédictibilité des systèmes	344
2.2.6.1	Autocorrélation	344
2.2.6.2	Imprédictibilité et principe d'incertitude de Heisenberg	345
2.2.6.3	Systèmes apériodiques – Attracteurs étranges	345
2.2.6.4	Changement de loi d'évolution par bifurcation – Valeur critique	347
2.2.6.5	Réalité physique et représentation dans l'espace des états	349
2.3	Relativité restreinte	349
2.3.1	Toute trajectoire est relative à un référentiel.....	349
2.3.2	Référentiel galiléen – Transformation galiléenne.....	350
2.3.3	Principe de relativité restreinte	351
2.3.4	Théorie de la Relativité restreinte.....	352
2.3.5	Transformation de Lorentz	353
2.3.5.1	Effets sur les vitesses, les longueurs, les durées, les masses, etc.	354
2.3.5.2	La simultanéité n'existe pas physiquement	357
2.3.6	L'espace-temps relativiste	357
2.3.6.1	Quadrivecteur et quadrivitesse	358
2.3.6.2	Quadri-quantité de mouvement	359
2.3.6.3	Conservation et non-conservation de la quantité de mouvement	359
2.3.6.4	Energie et quantité de mouvement relativistes, et leur conservation	359
2.3.6.5	Continuum et Continuum euclidien.....	360
2.3.6.6	Interdépendance espace-temps dans la transformation de Lorentz	360
2.3.6.7	Intervalle d'espace-temps entre deux événements	361
2.3.6.7.1	<i>L'équation métrique, autre définition de l'intervalle d'espace-temps</i>	361
2.3.6.8	Métrique de Minkowski	362
2.3.6.9	Intervalle de temps entre deux événements.....	362
2.3.6.10	Conséquences déterministes de la Relativité.....	363
2.3.6.10.1	<i>Ecoulement du temps, Relativité et déterminisme</i>	363
2.3.6.10.2	<i>Paradoxe du voyageur de Langevin</i>	364
2.3.6.10.3	<i>Relativité et irréversibilité</i>	365
2.3.6.10.4	<i>Particules virtuelles. Electrodynamique quantique</i>	365
2.3.7	Les deux théories de la Relativité d'Einstein.....	366
2.3.7.1	Le prix Nobel	366
2.3.7.2	La révolution de la Relativité – Correspondance avec la Mécanique quantique.....	367
2.3.7.3	Le paradoxe philosophique de non-séparabilité	368
2.3.7.4	Extension du déterminisme à la Relativité et à la Conservation de l'information	368
2.3.8	Espace-temps de Minkowski	369

2.3.8.1	La Relativité restreinte	369
2.3.8.2	L'espace-temps	369
2.3.8.3	Diagramme d'espace-temps	370
2.3.8.4	Intervalle d'espace-temps	373
2.3.8.5	Condition de causalité entre deux événements	374
2.3.8.6	Indépendance entre deux événements et relation de causalité	375
2.3.8.7	Conclusions sur la causalité	378
2.3.8.8	Remarque sur la simultanéité	378
2.3.8.9	Ligne d'univers	379
2.3.8.9.1	<i>Temps propre d'un objet sur sa ligne d'univers</i>	379
2.3.8.10	Mouvement accéléré - Inclinaison du cône de lumière	380
2.3.8.11	Paradoxe du voyageur de Langevin	381
2.3.8.12	Quadrivecteur énergie-impulsion	382
2.4	Relativité générale	383
2.4.1	Masse gravitationnelle et masse inertielle	384
2.4.1.1	De la mécanique de Newton à celle de la Relativité générale	385
2.4.1.2	Pourquoi sa gravitation n'a-t-elle pas fait s'effondrer l'Univers ?	385
2.4.2	Hypothèse géodésique – Temps propre	386
2.4.3	Principe d'équivalence d'un référentiel galiléen	388
2.4.4	Un mouvement accéléré a le même effet sur une masse qu'une gravitation	389
2.4.5	Postulat fondamental de la Relativité générale	390
2.4.5.1	La gravitation ralentit le temps	391
2.4.6	La gravitation n'est pas due à la matière, mais à son énergie potentielle	392
2.4.7	Equation d'Einstein	393
2.4.8	Comment prouver que la Terre est ronde et non plate ?	394
2.4.9	Coordonnées de Gauss	395
2.4.9.1	Changement de référentiel	397
2.4.9.2	Quadrivecteur : transformation lors d'un changement de repère	397
2.4.9.3	Convention de notation d'Einstein	398
2.4.9.4	Vecteurs covariants et contravariants	398
2.4.10	Tenseur	398
2.4.11	Principe de relativité générale : premier énoncé	401
2.4.12	Espace et temps dans un champ de gravitation	402
2.4.13	Solution du problème de la gravitation en Relativité générale	403
2.4.14	Equations des géodésiques	404
2.4.14.1	Géodésiques du genre temps	404
2.4.14.2	Géodésiques du genre lumière	405
2.4.15	Métrique de Schwarzschild	405
2.4.15.1	Définitions mathématiques relatives à un espace métrique	405
2.4.15.2	Tenseur métrique de Schwarzschild	406
2.4.15.3	Intervalle de temps avec la métrique de Schwarzschild	407
2.4.15.4	Tenseur métrique de Schwarzschild	408
2.4.15.5	Quantités conservées le long des trajectoires géodésiques	408
2.4.15.6	Précession du périhélie des orbites des planètes	409
2.4.15.7	Trajectoires des photons	411
2.4.15.8	Déviations de la lumière d'étoiles par la gravité solaire	415
2.4.15.9	Lentilles gravitationnelles	415
2.4.16	Constante cosmologique	416
2.4.17	Interprétation de l'équation d'Einstein	418
2.4.18	Géométrie et évolution de l'Univers résultant de la Relativité générale	420
2.4.18.1	Facteur d'échelle	420
2.4.18.2	Evolution de l'Univers en coordonnées généralisées $q(\vec{r})$	421
2.4.18.3	Equations d'état de l'Univers considéré comme un « gaz » de galaxies	423
2.4.18.4	Equation de Friedmann décrivant l'évolution de l'Univers	424
2.4.18.4.1	<i>Paramètre et constante de Hubble – Densité critique Ω</i>	425
2.4.18.4.2	<i>Equation d'expansion de l'Univers</i>	427
2.4.18.4.3	<i>Problème de l'espace plat, c'est-à-dire de courbure nulle</i>	428
2.4.18.5	Evolution théoriques possibles de l'Univers	428
2.4.18.6	Evolution de l'Univers résultant des recherches les plus récentes	430

2.4.18.7	Densité de matière de l'Univers à très grande échelle	430
2.4.19	Preuves expérimentales de la Relativité générale	431
2.4.19.1	Décalage des fréquences dans un champ gravitationnel – Effet Einstein	431
2.4.19.2	Mirages gravitationnels	431
2.4.19.3	Retard des signaux passant près du Soleil (effet Shapiro)	432
2.4.19.4	Ondes gravitationnelles (effet Einstein)	432
2.4.19.4.1	<i>Pulsar</i>	432
2.4.19.4.2	<i>Ondes gravitationnelles</i>	434
2.4.20	Gravitoélectromagnétisme	436
2.4.20.1	Effet gravitoélectromagnétique sur un gyroscope	437
2.4.20.2	Précession de Lense-Thirring : torsion de l'espace par un objet tournant	438
2.4.20.3	Précession géodétique	440
2.4.21	Métrie d'un corps sphérique en rotation sur lui-même	440
2.4.21.1	Solution en champ faible pour une sphère en rotation lente	440
2.4.21.2	Métrie de Kerr	441
2.4.21.3	Déviation d'une particule par un objet en rotation	442
2.4.21.4	Hypothèse de la censure cosmique.....	442
2.4.21.5	Particules et trajectoires d'énergie négative	443
2.4.21.5.1	<i>Energie négative en physique</i>	443
2.4.21.5.2	<i>L'Univers a peut-être été créé à partir de rien !</i>	444
2.4.21.5.3	<i>Processus d'extraction d'énergie d'un trou noir de Penrose</i>	444
2.5	Evolution stellaire : formation, vie et mort d'une étoile	445
2.5.1	Formation des étoiles et production d'énergie	445
2.5.2	Les 7 types d'évolution stellaire.....	447
2.5.3	Fin de vie des étoiles	450
2.5.4	Disque d'accrétion - Quasar	454
2.6	Trou noir	456
2.6.1	Définition astronomique et formation d'un trou noir	456
2.6.2	Rayon de Schwarzschild	459
2.6.3	Horizon des événements d'un trou noir.....	461
2.6.4	Pathologies sur la surface horizon	462
2.6.5	Coordonnée d'espace-temps à sens de variation imposé	463
2.6.5.1	Echange des rôles des coordonnées r et t à l'intérieur de l'horizon	464
2.6.6	Déplacement d'une particule massive au voisinage de l'horizon.....	464
2.6.6.1	Durée maximum de survie après franchissement de l'horizon	465
2.6.6.2	Contraintes de déformation d'un objet approchant d'un trou noir	466
2.6.6.3	Problèmes des coordonnées de Schwarzschild	466
2.6.7	Thermodynamique des trous noirs.....	467
2.6.7.1	Les découvertes surprenantes de Stephen Hawking	467
2.6.7.2	Les particules d'énergie négative à l'infini	467
2.6.7.3	Température d'un trou noir	468
2.6.7.4	Baisse de fréquence d'un photon qui s'éloigne de « l'horizon étiré »	469
2.6.7.5	Processus d'évaporation à partir de l'Horizon étiré	469
2.6.7.6	Durée de vie d'un trou noir avant évaporation explosive complète	470
2.6.7.7	Entropie d'un trou noir.....	470
2.6.7.7.1	<i>Entropie d'un trou noir en rotation</i>	471
2.6.8	Ergorégion	472
2.6.8.1	Surface de décalage de la lumière vers le rouge infini	473
2.6.8.2	Ralentissement gravitationnel des horloges	476
2.6.8.3	Evaporation des trous noirs (rayonnement de Hawking).....	476
2.6.9	De l'existence des trous noirs à celle d'un Big Bang.....	477
2.6.10	Quantité d'informations d'un trou noir.....	477
2.6.10.1	Que devient l'information descriptive de la matière absorbée par un trou noir ?	477
2.6.11	Information des particules tombées dans un trou noir	478
2.6.11.1	Un trou noir n'a pas de cheveux	478
2.6.11.2	Un trou noir détruit-il l'information des particules absorbées ?.....	478
2.6.11.3	Des théories contradictoires sur la perte d'informations par évaporation?.....	479
2.6.11.4	Information stockée sur l'Horizon des événements d'un trou noir	480

2.7 Univers.....	481
2.7.1 Paradoxe d'Olbers	481
2.7.2 Généralités.....	481
2.7.2.1 Notre galaxie, la Voie lactée	484
2.7.2.2 L'espace vide est un champ de force	487
2.7.2.3 Espace et temps sont inséparables.....	487
2.7.2.4 L'espace cosmique "vide" contient de la matière et de l'énergie noires	488
2.7.3 L'univers en expansion.....	488
2.7.3.1 Loi de Hubble : vitesse d'expansion de l'Univers	489
2.7.3.2 Conséquences cosmologiques de la Loi de Hubble.....	490
2.7.3.3 Les trois rayons de l'Univers.....	490
2.7.3.4 Températures et densités pendant les 100 000 premières années	492
2.7.4 Fond diffus cosmologique – Homogénéité et isotropie de l'Univers	495
2.7.4.1 Les premiers temps de l'Univers jusqu'à la recombinaison	495
2.7.4.2 Le fond diffus cosmologique	495
2.7.4.3 Homogénéité et isotropie s'expliquent par la théorie du Big Bang	498
2.7.4.4 Conséquences de l'homogénéité et de l'isotropie constatées.....	499
2.7.4.5 Le Problème de l'horizon	499
2.7.5 Inflation et transport d'énergie par le boson de Higgs.....	501
2.7.5.1 Explication de principe du déclenchement de l'inflation : théories de Grande unification et de Superunification	501
2.7.5.2 Théories de Grande unification.....	503
2.7.5.2.1 <i>Rupture spontanée de symétrie.....</i>	<i>504</i>
2.7.5.2.2 <i>Modèle d'Alan Guth : la surfusion a créé les conditions de l'inflation</i>	<i>510</i>
2.7.5.3 Principe de l'inflation	511
2.7.5.4 Détails du déroulement de l'inflation	512
2.7.5.5 Dilatation d'espace à géométrie constante.....	514
2.7.5.6 Dilatation d'espace à densité d'énergie constante	515
2.7.5.7 Conséquences de l'inflation	516
2.7.5.8 Conjecture : l'inflation se poursuivra éternellement par endroits.....	517
2.7.5.8.1 <i>Pluralité possible du phénomène d'inflation.....</i>	<i>517</i>
2.7.5.9 Le modèle d'inflation d'Alan Guth remplacé par celui d'Andrei Linde.....	518
2.7.5.10 Critique philosophique de cette théorie de l'inflation	519
2.7.5.10.1 <i>Principe anthropique.....</i>	<i>519</i>
2.7.5.10.2 <i>Caractère humain, artificiel, de la notion d'échelle</i>	<i>523</i>
2.7.5.10.3 <i>Principe cosmologique.....</i>	<i>523</i>
2.7.5.10.4 <i>Monopoles magnétiques.....</i>	<i>524</i>
2.7.5.11 Régénération éternelle des régions en inflation	524
2.7.6 Matière noire et énergie noire.....	525
2.7.7 Big Bang, la naissance de l'Univers	526
2.7.8 L'ère de Planck	528
2.7.8.1 Système d'unités naturelles de Planck	530
2.7.9 L'ère radiative	530
2.7.10 Les transitions de phase séparent les forces fondamentales.....	531
2.7.11 Le confinement des quarks et l'ère hadronique	534
2.7.12 Asymétrie matière-antimatière et annihilation baryons-antibaryons	535
2.7.13 L'ère leptonique et le découplage des neutrinos.....	535
2.7.13.1 Le découplage des neutrinos.....	535
2.7.13.2 Disparition des positrons.....	536
2.7.14 Nucléosynthèse primordiale des noyaux d'hydrogène et d'hélium.....	536
2.7.15 Découplage des photons.....	538
2.7.16 Les fluctuations quantiques à l'origine des galaxies	539
2.7.17 Nucléosynthèse post-primordiale	541
2.7.17.1 Réactions de fusion nucléaire.....	542
2.7.17.2 Réactions d'absorption de neutrons	542
2.7.17.3 Réactions de photodésintégration	542
2.7.17.4 Réactions de spallation.....	543
2.7.18 L'expansion actuelle avec dilution et refroidissement.....	543
2.7.19 Modèle théorique du Big Bang	544
2.7.20 Proportions de matière baryonique, matière noire et énergie noire.....	544

2.7.21	L'univers infiniment grand a une masse infinie	545
2.7.22	Les multivers, des univers parallèles	545
2.7.22.1	Les multivers de niveau 1	546
2.7.22.2	Les multivers de niveau 2	546
2.8	Déterminisme statistique.....	547
2.8.1	Domaines de la physique quantique	548
2.8.1.1	Mécanique quantique.....	550
2.8.1.2	Electrodynamique quantique (Quantum Electrodynamics : QED).....	550
2.8.1.3	Chromodynamique quantique (Quantum Chromodynamics : QCD).....	550
2.8.1.4	Optique quantique.....	551
2.8.2	Quantification des interactions et conséquences sur le déterminisme.....	551
2.8.2.1	Différence entre quantification et imprécision.....	552
2.8.2.2	Echanges quantifiés et emprunts d'énergie.....	552
2.8.2.3	Conséquences de la quantification des interactions : extension du déterminisme	552
2.8.2.4	Quantification des vibrations - Phonons et frottements	553
2.8.2.5	Effets mécaniques et thermiques de la lumière.....	553
2.8.2.6	Effets photoélectriques	554
2.8.2.7	Conséquences des diverses imprécisions sur le déterminisme	555
2.8.2.7.1	<i>Impossibilité de remonter d'une conséquence à sa cause</i>	<i>556</i>
2.8.3	Précision des prédictions de la physique quantique	557
2.8.4	Commentaires philosophiques sur le déterminisme	558
2.8.4.1	Validité des lois de la Mécanique quantique à l'échelle macroscopique	558
2.8.4.2	Le déterminisme étendu peut abolir les distances et les durées.....	559
2.8.4.3	Multiplicité des conséquences possibles	560
2.8.4.4	Imprévisibilité de l'évolution et de l'état final.....	560
2.8.4.5	Difficulté de préciser la situation de départ ou le processus d'évolution	561
2.8.4.5.1	<i>Impossibilité de remonter l'arborescence de causalité</i>	<i>561</i>
2.8.4.5.2	<i>Irréversibilité.....</i>	<i>562</i>
2.8.4.5.3	<i>Relativité</i>	<i>563</i>
2.8.4.5.4	<i>Matérialisme et déterminisme des lois du vivant</i>	<i>563</i>
2.8.5	Unité des lois de la physique aux échelles macroscopique et atomique.....	563
2.8.5.1	Principe de correspondance	563
2.8.5.2	Principe de complémentarité	565
2.9	Déterminisme étendu.....	566
2.9.1	Uniformité des lois de la nature.....	566
2.9.1.1	Principe cosmologique : l'espace est homogène et isotrope.....	566
2.9.1.2	Les lois physiques sont stables (invariantes) dans le temps et l'espace.....	567
2.9.1.3	Les lois physiques sont cohérentes (non contradictoires).....	567
2.9.1.4	La nature est complète	567
2.9.1.4.1	<i>L'homme doit imaginer les lois de la nature.....</i>	<i>568</i>
2.9.1.4.2	<i>Postulat d'intelligibilité.....</i>	<i>568</i>
2.9.1.4.3	<i>Postulat de synthèse naturelle.....</i>	<i>568</i>
2.9.1.4.4	<i>Complétude à la fois analytique, synthétique et procédurale</i>	<i>569</i>
2.9.1.4.5	<i>Veille, déclenchement et arrêt d'évolutions</i>	<i>569</i>
2.9.1.4.6	<i>Les lois de la nature sont des lois d'évolution ou des lois d'interruption.....</i>	<i>570</i>
2.9.2	Conclusions sur la causalité et conséquences	571
2.9.3	Principe de conservation de l'information d'un système fermé	571
2.9.3.1	Information	571
2.9.3.2	Conservation de l'information d'un système matériel fermé	572
2.9.3.2.1	<i>Unitarité de la Mécanique quantique</i>	<i>575</i>
2.9.3.2.2	<i>Evolutions qui empêchent la conservation de l'information</i>	<i>576</i>
2.9.3.2.3	<i>Principe de Landauer : coût thermodynamique de l'effacement de mémoire.....</i>	<i>577</i>
2.9.3.2.4	<i>Perte d'informations dans les évolutions mesurées avec retard.....</i>	<i>577</i>
2.9.3.3	Quantité d'information-énergie dans un volume délimité par une surface	578
2.9.3.4	Surface nécessaire décrivant un objet - Principe holographique	579
2.9.3.5	Principe holographique de la quantité d'information	579
2.9.4	Apparitions	580
2.9.4.1	Restriction du postulat de causalité	581
2.9.4.2	Conjecture d'une apparition	581
2.9.4.3	Postulat de causalité étendue, avec interruptions et apparitions	582

2.9.4.3.1	<i>Une situation évolue nécessairement dans le temps</i>	582
2.9.4.3.2	<i>Remarques sur la causalité étendue</i>	583
2.9.5	Du déterminisme scientifique au déterminisme étendu	585
2.10	Déterminisme humain	585
2.10.1	Le déterminisme du vivant.....	586
2.10.1.1	Définitions du vivant.....	586
2.10.1.2	Etres vivants et déterminisme.....	586
2.10.1.3	Complexification naturelle.....	586
2.10.1.4	Possibilité de créer artificiellement un comportement vivant.....	587
2.10.1.4.1	<i>Synthèse d'acides aminés</i>	587
2.10.1.4.2	<i>Génie génétique</i>	587
2.10.2	Programme génétique et déterminisme	588
2.10.2.1	Gènes et comportement humain	590
2.10.2.2	Evolution du programme génétique.....	590
2.10.2.3	Evolution d'une population.....	592
2.10.2.4	Preuves de la théorie darwinienne de l'évolution	592
2.10.2.5	Evolution due à une modification de l'expression de gènes.....	592
2.10.2.6	Conclusion sur le déterminisme génétique.....	594
2.10.3	Renouvellement biologique et persistance de la personnalité.....	595
2.10.4	Niveaux d'information biologique et déterminisme génétique.....	596
2.10.4.1	Information du logiciel génétique	596
2.10.4.2	Etres vivants artificiels définis à partir de leur seul code génétique	599
2.10.4.3	Objections idéalistes et leur réfutation.....	599
2.10.5	Les universaux, part importante de l'inné humain.....	600
2.10.6	Mécanismes psychiques non algorithmiques ou imprévisibles	602
2.10.6.1	Mécanisme psychique algorithmique.....	602
2.10.6.2	Mécanisme psychique déterministe.....	603
2.11	Critique du déterminisme	604
2.11.1	Conditions de prise en défaut du déterminisme.....	604
2.11.2	Conclusion : il faut postuler le déterminisme.....	606
2.11.3	La causalité elle-même peut-elle être remise en question ?.....	606
2.11.3.1	Objections à la causalité contestant la méthode scientifique	606
2.11.3.2	Causalité et théorie de la Relativité	608
2.11.3.3	Compléments sur les notions de cause et de causalité	610
2.11.3.3.1	<i>Cause physique</i>	610
2.11.3.3.2	<i>Causalité</i>	610
2.11.3.3.3	<i>Horizon de prédiction ou de reconstitution du passé</i>	611
2.11.3.4	Critique de la notion de cause première (cause ultime)	612
2.11.3.4.1	<i>Régression à l'infini</i>	612
2.11.3.4.2	<i>Un temps cyclique, pure spéculation</i>	614
2.11.3.4.3	<i>Théorie cosmologique de la gravitation quantique</i>	615
2.11.3.4.4	<i>Conséquences de la cosmologie sur le « début de la causalité »</i>	615
2.11.3.4.5	<i>Conséquences de la Relativité sur l'unicité de la cause première</i>	615
2.11.4	Critique de la méthode scientifique et de la vérité scientifique	616
2.11.4.1	Les formalistes.....	617
2.11.4.2	Les intuitionnistes	617
2.11.4.3	Les platoniciens	618
2.11.4.4	Les rationalistes du XVIIIe siècle.....	618
2.11.4.5	Les empiristes	619
2.11.4.6	Le rationalisme critique de Karl Popper	619
2.11.4.6.1	<i>Définition d'une vérité scientifique</i>	620
2.11.4.6.2	<i>Définition d'une théorie appliquée à un domaine pratique</i>	621
2.11.4.6.3	<i>Critères à respecter pour qu'une théorie scientifique soit acceptable</i>	622
2.11.4.6.4	<i>Une théorie peut-elle être probable ?</i>	623
2.11.4.6.5	<i>Définition d'une théorie scientifique objective</i>	623
2.11.4.6.6	<i>Comparaison du rationalisme critique avec l'empirisme</i>	624
2.11.4.6.7	<i>Polémique entre le rationalisme critique et le conventionalisme</i>	625
2.11.4.6.8	<i>Les systèmes interprétatifs</i>	625
2.11.4.6.9	<i>Sciences dures et sciences molles</i>	626
2.11.4.6.10	<i>Evolution d'une vérité, de la science et du monde selon Popper</i>	627

3. Conscience et conscience de soi	629
3.1 Buts de ce texte	629
3.2 La conscience s'explique sans invoquer de transcendance	629
3.2.1 Un vieux débat : la conscience est-elle transcendante ?	629
3.2.2 La connaissance rationnelle exige de postuler le matérialisme	630
3.2.3 Les pensées ne sont que des interprétations de l'état du cerveau	631
3.2.4 Pourquoi notre pensée est-elle souvent imprévisible ?	632
3.2.5 Résumé des notions connues grâce à Freud	633
3.2.6 Résumé des notions connues grâce à Jung	634
3.2.7 Le modèle "Réseau d'ordinateurs autonomes interconnectés" du psychisme	635
3.2.8 Niveaux d'abstraction et déterminisme	635
3.2.8.1 Représentation et concept	635
3.2.8.1.1 <i>Représentation</i>	635
3.2.8.1.2 <i>Concept</i>	637
3.2.8.2 Densité et profondeur d'abstraction	637
3.2.8.3 Compréhension par niveaux d'abstraction	640
3.2.8.4 Penser par niveaux d'abstraction	641
3.2.9 Théorie informationnelle du psychisme	642
3.2.10 La conscience	642
3.2.10.1 La <i>conscience de</i> , ETAT du psychisme	642
3.2.10.1.1 <i>Justification : une conscience de est un ensemble de données</i>	642
3.2.10.1.2 <i>Données et structure d'une représentation</i>	643
3.2.10.1.3 <i>Représentation propre d'un objet</i>	644
3.2.10.2 La prise de conscience de, ACTION du psychisme	644
3.2.10.2.1 <i>Mémorisation des étapes d'une action - Schéma d'attention</i>	644
3.2.10.2.2 <i>Étapes de la mémorisation d'objets composés et leur structure</i>	645
3.2.10.2.3 <i>Le travail non conscient de reconstruction critique de la conscience</i>	646
3.2.10.3 La <i>conscience de</i> est un couple {Objet + Schéma d'attention}	646
3.2.10.3.1 <i>Toute conscience de est prise en compte instantanément</i>	646
3.2.10.3.2 <i>Conscience de, présence à l'esprit et sens</i>	647
3.2.10.4 Le champ d'attention	648
3.2.10.5 La conscience de soi	648
3.2.10.6 Conscience d'un objet quelconque	649
3.2.10.7 Modèle prévisionnel de l'évolution d'un objet - Intention d'agir	649
3.2.10.8 Conscience d'autrui - La Théorie de l'esprit	650
3.2.10.9 Perception de la conscience de en tant qu'« émanation de fluide »	650
3.2.10.10 Conscience (tout court)	650
3.2.10.11 Conclusion : la conscience est une interprétation	652
4. Déterminisme humain et libre arbitre	654
4.1 De la vraie nature du matérialisme et de la séduction légitime qu'il exerce	654
4.2 Point de vue de Kant sur le libre arbitre	656
4.3 L'homme se sent libre de ses choix	658
4.4 Considérations philosophiques sur le déterminisme et le libre arbitre	658
4.4.1 La volonté n'a pas de pouvoir en elle-même	659
4.4.2 La raison n'est pas une valeur, ce n'est qu'un outil au service des valeurs	659
4.4.3 L'homme est toujours insatisfait	659
4.4.4 Le libre arbitre selon Sartre	660
5. Annexes	661
5.1 Rappels de philosophie	661
5.1.1 Principes de logique	661
5.1.1.1 Principe d'identité	661
5.1.1.2 Principe de non-contradiction	661
5.1.1.3 Principe du tiers exclu, aussi appelé du milieu exclu	661
5.1.1.4 Principe du syllogisme	662

5.1.1.5	Principe de déduction	663
5.1.1.6	Principe d'assertion.....	663
5.1.1.7	Principe de déterminabilité d'un concept	663
5.1.1.8	Principe d'homogénéité	664
5.1.2	Logique	665
5.1.2.1	Table des symboles de la Logique symbolique et de la Théorie des ensembles	665
5.1.2.2	Algorithme	667
5.1.2.3	Axiome	667
5.1.2.4	Axiomatique et Système logique	668
5.1.2.5	Axiomatique de l'algèbre de Boole	671
5.1.2.6	Langage formel	671
5.1.2.7	Propositions indécidables – Théorèmes d'incomplétude de Gödel	672
5.1.2.7.1	<i>Proposition logique</i>	672
5.1.2.7.2	<i>Théorèmes d'incomplétude de Gödel</i>	672
5.1.2.8	Cohérence d'une axiomatique	675
5.1.2.9	Langages et vérité. Complétude d'un énoncé et d'un langage.....	676
5.1.2.10	Logique et inférence	677
5.1.2.11	Construction empirique d'une axiomatique.....	678
5.1.2.12	Théorème de Goodstein - Comment compléter une axiomatique.....	679
5.1.2.13	Un énoncé ne peut ni se décrire lui-même ni se comparer à lui-même	680
5.1.2.14	Problèmes insolubles. Théorème de Fermat. Equations diophantiennes	681
5.1.2.15	Certitude de l'existence d'une démonstration dans une axiomatique	681
5.1.3	La définition et l'existence d'un concept sont indépendants	682
5.1.4	Idéalisme, matérialisme et réalisme	683
5.1.4.1	Idéalisme.....	683
5.1.4.1.1	<i>Idéalisme de Platon</i>	684
5.1.4.1.2	<i>Idéalisme transcendantal de Kant</i>	684
5.1.4.2	Matérialisme.....	685
5.1.4.3	Réalisme transcendantal	686
5.1.5	Raison et rationalisme	688
5.2	Rappels de mathématiques	688
5.2.1	Nombres complexes et scalaires	688
5.2.1.1	Produit vectoriel	690
5.2.1.2	Nombre aléatoire, nombre normal	690
5.2.1.3	Ensemble de mesure nulle	691
5.2.1.4	Sens de « presque tous » en mathématiques	691
5.2.1.5	Algorithme déterministe générant une suite stochastique de valeurs	692
5.2.2	Continuité d'une variable et d'une fonction.....	693
5.2.3	Ensemble – Théorie des ensembles	693
5.2.3.1	Structure de groupe	699
5.2.3.2	Distributivité	699
5.2.3.3	Structures d'anneau et de corps	699
5.2.4	Vecteur, espace vectoriel, base, produit scalaire, module.....	700
5.2.5	Fonction linéaire et fonction non linéaire.....	701
5.2.6	Combinaison linéaire	701
5.2.7	Application linéaire, opérateur linéaire, valeur propre, vecteur propre	702
5.2.8	Observable.....	704
5.2.9	Opérateur vectoriel nabla (symbole ∇)	704
5.2.10	Opérateur laplacien delta (symbole Δ) = ∇^2	705
5.2.11	Transformées de Fourier et de Laplace	705
5.2.12	Convergence d'une suite ou d'une série	705
5.2.12.1	Paradoxe d'Achille et de la tortue	706
5.3	Rappels de physique macroscopique	706
5.3.1	Energie.....	706
5.3.2	Pression	708
5.3.3	Moment d'une force par rapport à un axe	709
5.3.4	Quantité de mouvement et impulsion	710
5.3.5	Moment cinétique d'une masse en rotation.....	710
5.3.5.1	Moments magnétiques d'un électron	711

5.3.6	Lois du mouvement et de la gravitation universelle de Newton.....	711
5.3.7	Loi de Coulomb.....	712
5.3.8	Force de Lorentz et champ électromagnétique.....	712
5.3.9	Mécaniques rationnelle, analytique et statistique.....	713
5.3.9.1	Principe d'additivité vectorielle des vitesses.....	713
5.3.10	Thermodynamique.....	714
5.3.10.1	Température absolue.....	714
5.3.10.2	Entropie thermodynamique.....	714
5.3.10.3	Définitions de la Thermodynamique.....	715
5.3.10.4	Principes de la thermodynamique.....	715
5.3.10.4.1	<i>Comprendre le deuxième principe de la thermodynamique.....</i>	716
5.3.10.4.2	<i>L'irréversibilité est une réalité, pas une apparence.....</i>	717
5.3.10.4.3	<i>Décroissance de l'entropie. Structures dissipatives. Auto-organisation.....</i>	718
5.3.10.5	Discussion philosophique de la qualité des prévisions.....	720
5.3.10.6	Entropie de Boltzmann.....	720
5.3.10.6.1	<i>Entropie relative.....</i>	722
5.3.10.7	Entropie statistique.....	722
5.3.10.8	Rayonnement du corps noir.....	723
5.3.11	Unités fréquemment utilisées.....	723
5.3.12	Système d'unités RG.....	723
5.3.13	Principales constantes de l'Univers.....	724
5.3.14	Nombre d'Avogadro.....	724
5.3.15	Photon.....	724
5.3.16	Potentiel et gradient.....	725
5.3.17	Equations de Maxwell.....	726
5.3.18	Effet Doppler.....	727
5.4	Définitions de mécanique quantique.....	728
5.4.1	Densité de probabilité.....	728
5.4.2	Résumé des cas d'imprédictibilité.....	731
5.5	Vocabulaire.....	732
5.6	Notes, ouvrages et articles cités.....	764
5.7	Textes complémentaires de Daniel Martin sur Internet.....	805
5.8	Philosophes, scientifiques et politiciens cités dans le texte.....	806

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.

