

L'ENTROPIE CRÉATRICE

Thermodynamique fractale et quantique
de l'Univers, de la Vie et des Sociétés



Diogo Queiros-Condé

Jean Chaline

Ivan Brissaud

ellipses

Table des matières

Remerciements.....	5
Préface de Didier Sornette.....	7
Introduction.....	11

Première partie

Spatialités et géométrisation de l'entropie : l'ordre latéral de l'énergie	21
1. Un concept mystérieux au cœur de la physique : l'entropie	21
2. Chaleur et travail : les deux visages de l'énergie	23
2.1. Dilatation-contraction d'un fluide : le principe fondamental de production de travail.....	23
2.2. Le moteur à une dimension	24
2.3. Équivalence chaleur-travail : le règne de l'énergie.....	25
3. L'idéal de la réversibilité : le cycle de Carnot.....	26
3.1. Lazare et Sadi Carnot : du père au fils, l'utopie de la réversibilité	26
3.2. Le cycle de Carnot.....	28
3.3. Analogie hydraulique de Carnot revisitée : le poids du chaud et du froid, l'eau qui travaille et l'eau inerte.....	29
3.4. Température absolue : la signification physique du zéro Kelvin.....	35
3.5. Conservation du rapport Q/T dans un cycle réversible	37
4. Dispersion de l'énergie : le modèle de la <i>chenille thermique</i>	39
4.1. L'angle entropique : mesurer la dispersion de l'énergie.....	39
4.2. Angle entropique équivalent et température d'une chenille thermique	42
4.3. Modèle hydrodynamique de la chenille thermique.....	44
4.3.1. Exemples de chenille hydrodynamique chaude et d'une chenille froide.....	46
4.4. Chenille thermique à deux états : énergie frontale et énergie latérale.....	47
4.4.1. Représentation d'un cycle Carnot (réversible) par des chenilles thermiques.....	49

4.5. Chenille à deux états avec rebroussements latéraux	50
4.6. Double fractalité des chenilles thermiques : longueur fractale interne de masse et longueur fractale externe de frontière ou d'enveloppement	52
4.7. Chenilles à température variable : la <i>T-chenille</i>	55
4.8. Chenilles équivalentes : canal exergetique, épaisseurs entropique et énergétique	56
4.9. Exergie et dispergie : la dualité structurale de l'énergie	57
5. Autres représentations de la dualité exergie-dispergie	58
5.1. Source radiale d'ergons en deux dimensions	58
5.2. Chenilles en trois dimensions : le modèle cylindrique	59
5.3. Étoile thermique radiale à deux états en deux dimensions.....	61
5.4. Réseau en tresses à deux états	62
6. Mesurer l'irréversibilité d'une transformation :	
l'entropie de Clausius	62
6.1. Du cycle réversible de Carnot au cycle avec irréversibilités internes de Clausius.....	62
6.1.1. La production interne d'entropie : déviation à la réversibilité.....	62
6.1.2. Température d'irréversibilité : représentation géométrique	64
6.1.3. Équation de Gouy-Stodola.....	65
6.2. L'énergie interne d'un corps : le principe de conservation de l'énergie.....	67
6.3. L'entropie d'un fluide : une mesure de la dispersion de l'énergie interne	69
6.4. Interprétation entropique de la relation de Mayer.....	71
7. Exemples de calcul de la production d'entropie interne	71
7.1. Transferts de chaleur	72
7.1.1. Exemple 1	72
7.1.2. Exemple 2.....	73
7.2. Chauffage d'une masse d'eau par une source de chaleur	73
7.3. Échange de chaleur entre un corps chaud et un corps froid	74
7.3.1. Illustration numérique	75
7.4. Refroidissement d'un corps chaud par une source froide	75
7.4.1. Illustration numérique.....	77
7.4.2. Refroidir par étapes génère moins d'entropie.....	77
7.4.4. Généralisation à un grand nombre de paliers intermédiaires de refroidissement.....	78
8. Le paradoxe du démon de Maxwell :	
une solution par l'exergie de passage	79
8.1. Analyse entropique du démon de Maxwell	79

8.2. Information et néguentropie : la solution de Brillouin au paradoxe du démon de Maxwell.....	81
8.3. Représentation exergie-dispergie : exergie de passage du démon de Maxwell.....	83
8.4. Nouvelle solution au paradoxe du démon de Maxwell : l'entropie se forge ses propres passages	84
9. Dualisme fondamental de l'énergie : exergie et dispergie.....	85
9.1. Équation de Gouy-Stodola.....	85
9.2. Exergographie pour représenter la dualité exergo-dispergique.....	88
9.3. Exergie et dispergie internes d'un fluide : application de la méthode des carrés	90
9.3.1. Illustration numérique	91
9.4. Représentation d'un système énergétique par la méthode des carrés	92
9.5. Représentation graphique de l'énergie, l'exergie et la dispergie internes par la méthode des chenilles thermiques.....	94
10. Une nouvelle interprétation de l'entropie et de la destruction d'exergie : l'exergie de passage (ou l'exergie-tampon)	99
10.1. Transferts thermiques : quand la chaleur tisse elle-même ses propres voies	99
10.2. Exergie de passage d'une colonne de fourmis : une analogie animale	101
10.3. Exergie de passage (exergie-tampon) d'une famille à Berlin : une analogie urbaine	102
11. Entropie de Boltzmann-Planck.....	104
11.1. La courbe-H est sans tangente ! La fractalité cachée de l'entropie.....	104
11.2. Le comptage boltzmannien : mesurer la dispersion d'un état énergétique.....	105
11.2.1. La méthode de Boltzmann	105
11.2.2. Exemple historique de Boltzmann : présentation <i>via</i> une analogie urbaine : cas $N = 7$ et $P = 7$	107
11.2.3. Autre exemple : neuf personnes dans neuf pièces	109
11.2.4. Nombre de complexions et entropie	110
11.3. Le comptage boltzmannien à deux états	111
11.4. Non-extensivité de l'entropie de Boltzmann : la formule de Stirling en opérateur d'extensivité.....	111
11.5. Théorie de Boltzmann représentée par la chenille thermique	112
11.6. Pourquoi la dérivée seconde de l'entropie par rapport à l'énergie est-elle si importante pour Planck ?.....	114

11.7. Le comptage de Planck : distribuer des quanta dans des <i>éléments d'espace</i>	116
11.7.1. Complexions de Planck et complexions selon Boltzmann	118
11.7.2. L'entropie de Planck : une entropie cachée de Boltzmann à deux états	118
11.8. Entropie d'information de Gibbs-Shannon : spatialisation de l'entropie d'un dé pipé	119
12. Entropie d'échelle : une thermo-spatialisation de l'entropie	121
12.1. Échelles topiques réelle et idéale et ensembles caractéristiques ...	121
12.2. Travail de balayage, entropie d'échelle et entropie de Boltzmann	124

Deuxième partie

Représentation spatiale de la physique quantique relativiste par la thermodynamique fractale	127
13. Nature fractale des trajectoires quantiques et relativistes.....	128
14. Quantum d'action et relativité restreinte.....	130
14.1. Quand la lumière frappe le métal : l'effet photo-électrique de Hertz (1887).....	130
14.2. Le monde à l'échelle atomique est quantique (1900).....	131
14.3. La relativité restreinte (1905).....	131
14.4. La masse d'un corps augmente avec sa vitesse	135
14.5. Analogie urbaine de la relativité : Albert et Mileva ont rendez-vous sur une place de Berne.....	135
14.6. Critères de quantification de Bohr et énergie de translation de Louis de Broglie : stabilité et niveaux d'énergie de l'atome	137
14.7. Quanta de lumière et dilatation relativiste de la masse : l'expérience de Compton (1923).....	138
15. Les ondes de matière de de Broglie : quantification spatiale des orbites atomiques (1924).....	139
16. La mécanique ondulatoire : entre de Broglie et Schrödinger.....	143
16.1. Équation de Schrödinger indépendante du temps.....	144
16.2. Équation de Schrödinger dépendante du temps : la fonction d'onde devient complexe (1926).....	145
16.3. Analogie avec l'équation de diffusion : la notion de diffusivité quantique	147
16.4. Louis de Broglie contre le formalisme statistique et abstrait de la mécanique quantique : l'accord des phases entre la particule et son onde-pilote	151

17. La mécanique quantique relativiste :	
quand le corps s'alourdit par sa vitesse	155
17.1. L'énergie relativiste.....	155
17.2. Énergie de masse et énergie de translation.....	157
17.3. Échelles de longueur relativistes définies à partir de l'énergie de translation	158
18. Longueur cinétique induite par la particule :	
une structure fractale entre la demi-échelle de Compton et la longueur d'onde de de Broglie	160
18.1. Physique quantique non-relativiste (schrödingerienne)	160
18.2. La gamme d'échelles de la longueur cinétique : le nombre cinétique.....	163
18.3. Structure fractale de la longueur cinétique relativiste.....	165
18.4. Un rapprochement inattendu avec l'œuvre de Kafka.....	168
18.5. Revisiter le photon : une structure dichotomique et une masse non nulle.....	170
18.6. Diffusivité relativiste : la rigidification des particules	172
19. Fractalité interne de masse et fractalité externe de frontière.....	173
20. Modèle fractal d'une particule relativiste :	
le lissage cinétique des échelles externes et le tissage de la masse par des échelles internes.....	176
20.1. Fractalité externe de frontière et fractalité interne de masse	176
20.2. Modèle fractal simple d'une particule quantique relativiste	177
20.3. L'effet géométrique de la vitesse sur une particule fractale : le lissage des petites échelles.....	179
20.4. Longueur fractale interne et masse repliée : le lissage multi-échelle de la masse	180
20.5. Émergence du quantum d'action h : une explication simple pour une particule fractale.....	184
20.6. Dimension externe de frontière de la particule fractale.....	185
21. Interprétation géométrique de la demi-échelle de Compton.....	188
22. La particule vue comme une grille génératrice de turbulence quantique	190
22.1. Longueur cinétique et longueur externe de frontière	190
22.1.1. Cas non-relativiste.....	191
22.1.2 Cas général relativiste.....	193
22.2. Rugosité cinétique externe et rugosité interne de masse	193
23. Thermodynamique de la particule relativiste.....	195
23.1. Dispergie et exergie d'une particule relativiste : angle entropique et température relativiste.....	195

23.2. Onde de de Broglie et dispergie	197
23.3. Temps exergétique et temps entropique (dispergique) de la particule relativiste.....	198
23.4. Entropie de la particule relativiste.....	202
23.5. Interprétation géométrique de l'entropie de la particule relativiste.....	204
24. Perspectives en gravitation quantique	205
24.1. Du quantique à la cosmologie.....	205
24.2. Interprétation quantique de la loi de Newton.....	207
25. Conclusion	211

Troisième partie

Thermo-fractalité quantique de la log-périodicité : application aux écosystèmes et à l'évolution des espèces.....	215
26. Log-périodicité temporelle : une loi générale de structuration des systèmes à travers le temps	215
26.1. Introduction	215
26.2. Une brève histoire de la log-périodicité.....	216
26.2.1. La log-périodicité temporelle.....	216
26.2.2 Historique des applications majeures de la log-périodicité.....	218
26.2.3. Application aux sociétés humaines et à l'évolution des arts et des techniques.....	225
26.3. L'espace qui manque : quelle interprétation spatiale peut-on donner de la log-périodicité temporelle ?	227
27. Différentiation spatiale et fractale dans les écosystèmes.....	228
27.1. À travers les archipels du Pacifique : quand l'imaginaire géographique de Melville nous aide à comprendre la log-périodicité temporelle.....	228
27.2. Distribution trans-échelle dans les écosystèmes.....	230
27.3. Différentiation en échelles sur une interface fractale.....	232
27.4. Boucles intégratives d'espace et de temps	233
27.4.1. Intégration logistique d'une structure multi-échelle.....	233
27.4.2. Logistique externalisée contre logistique intérieure : détruire la boucle intégrative limite.....	235
27.5. Boucles intégro-déviatrices d'un champ fractal : application aux écosystèmes	237
27.6. Une analogie hydraulique : la chenalisation des rivières en tresses	242

28. Modèle fractal de la log-périodicité	243
28.1. Fractalité restreinte sur une gamme d'échelle finie :	
application à l'ensemble de Cantor surfacique	243
28.1.1. Écosystèmes et fractalité restreinte	243
28.1.2. L'ensemble de Cantor surfacique	244
28.1.3. Longueur d'un fractal de Cantor surfacique restreint	
à une gamme d'échelles limitée	245
28.2. Vitesse d'interaction fractale	247
28.3. Temps quantique d'interaction fractale	248
28.4. Temps quantique limite et temps quantique	
d'interaction totale	249
28.5. La conservation des quanta à travers les paliers évolutifs	
d'une espèce implique la log-périodicité temporelle	251
29. Thermo-fractalité quantique de la log-périodicité :	
application à l'évolution des espèces	253
29.1. État évolutif d'une espèce et réseau logistique d'accès	
aux ressources	253
29.2. Modèle fractal du réseau d'accès aux ressources	253
29.3. Énergie quantique de l'état évolutif d'une espèce	
et énergie quantique des sauts évolutifs entre deux états :	
<i>les corrélogues d'information</i>	255
29.4. Exergie, disergie et entropie internes d'un état évolutif	
associé à son réseau d'accès aux ressources	257
29.5. Entropie logistique et entropie d'information	259
29.6. Conclusion	263

Quatrième partie

Le vivant et l'énergie	265
30. Contraintes et caractéristiques de la vie	265
30.1. Les cinq conditions d'apparition de la vie sur une planète	266
30.2. La place du vivant dans l'échelle de l'Univers	268
30.3. Les contraintes à l'origine de la vie	269
30.3.1. Les molécules du vivant : une origine cosmique ?	269
30.3.2. Où s'est produite l'origine de la vie ?	270
31. Les structures de la vie	271
31.1. Une hiérarchie d'organisation et de complexification	272
31.1.1. La cellule vivante	273
31.1.2. Les trois stades structurels du vivant	276
32. Les métabolismes, sources bioénergétiques du vivant	290
32.1. Les métabolismes anaérobies à l'origine	290
32.2. La mécanique énergétique aérobie	292

32.2.1. Les mitochondries et les chloroplastes.....	292
32.2.2. La photosynthèse et le système oscillatoire bioénergétique aérobie réversible ATP-ADP	294
32.2.3. Cryptobiose et reviviscence	298
32.2.4. Protéines, formes et fonctions.....	301
33. Le vivant et les chiralités, polarités, symétries et asymétries	304
33.1. La symétrie d'ordre 5 dans le vivant	305
33.2. La symétrie-asymétrie des plumes d'oiseau	305
33.3. La chiralité moléculaire	306
33.4. Polarités antéro-postérieures et dorso-ventrales.....	308
33.5. Contrôles génétiques des polarités et des symétries chez les Métazoaires.....	309
34. La reproduction du vivant	314
34.1. Mitose et méiose.....	314
35. La mécanique d'information du vivant, les génomes.....	315
35.1. La mémoire des génomes, sa transmission par autoréplication.....	315
35.2. Les génomes	316
35.2.1. Les mutations de la micro-évolution	320
35.2.2. Les gènes architectes de la macro-évolution.....	323
35.2.3. Longueur des génomes et nombre de gènes.....	325
35.2.4. Évolution des génomes vers la complexité.....	328
35.2.5. Accroissement de la taille et de la masse au cours de l'évolution du vivant :	330
36. L'ontogenèse, du génome aux plans d'organisations du vivant.....	333
37. Le génome propose, mais l'environnement dispose.....	336
37.1. La sélection naturelle.....	337
37.2. Adaptation, disparité, décimation et contingence	337
37.3. L'épigénétique	338
37.3.1. Mécanismes épigénétiques, l'oscillation méthylation-acétylation.....	339
37.3.2. Le génétique modelé par l'épigénétique, la maîtrise de la vieillesse ?	345
38. La complexité, un phénomène à mémoire par addition, soustraction ou inhibition.....	348
39. Le cerveau humain et la pensée réfléchie.....	351
39.1. Formation, structure et mémoire	351
39.2. Fonctionnement de l'influx nerveux et des zones visuelles	357
39.2.1. L'influx nerveux	358
39.2.2. Complexité de la vision	359

40. Que retenir des structures du vivant et de l'énergie qui lui permet de se développer ?	361
---	-----

Cinquième partie

Fractalité, log-périodicité et entropie dans le vivant : vers une thermo-fractalité quantique du vivant	365
--	-----

41. Formation des espèces, modalités évolutives : gradualisme vs ponctualisme et adaptations.....	365
--	-----

41.1. Les adaptations : saltaptations, graduaptations, tendances et écophénotypisme.....	369
---	-----

42. Biologie fractale et quantique.....	373
---	-----

42.1. Les structures fractales dans le vivant.....	378
--	-----

42.1.1. Le blob.....	379
----------------------	-----

42.2. Feigenbaum et le chaos des populations et des épidémies	382
---	-----

43. Une loi quantique et fractale de la structuration et de la complexification du vivant ?.....	386
---	-----

43.1. La complexification à l'origine de la vie et de la hiérarchisation trans-échelle des structures	386
--	-----

43.2. Les sauts de structure ont conditionné l'évolution discontinue du vivant depuis ses origines.....	387
--	-----

43.3. La division ou autoréplication cellulaire quantique	392
---	-----

44. Les lois log-périodiques et le vivant.....	394
--	-----

44.1. Application des lois log-périodiques à l'évolution du vivant.....	396
---	-----

44.1.1. Le test log-périodique des Primates.....	396
--	-----

44.1.2. Le développement embryologique humain, de l'ontogenèse à la phylogenèse.....	399
---	-----

44.1.3. L'histoire migratoire d' <i>Homo sapiens</i>	401
--	-----

44.1.4. La démographie humaine	403
--------------------------------------	-----

44.1.5. L'histoire des Échinodermes.....	405
--	-----

44.1.6. La fin de l'histoire évolutive des dinosaures	406
---	-----

44.1.7. L'histoire évolutive des rongeurs.....	408
--	-----

44.1.8. L'histoire globale de la vie	409
--	-----

45. Que retenir des analyses log-périodiques du vivant.....	411
---	-----

46. Réflexions sur la thermodynamique de l'évolution culturelle humaine.....	414
---	-----

46.1. Les hommes sont-ils des robots programmés pour favoriser des gènes égoïstes ?	414
--	-----

46.1.1. Des gènes aux Mêmes, de la génétique à la mémétique.....	415
--	-----

46.2. Regards sur l'évolution des sociétés humaines depuis la préhistoire	416
--	-----

46.2.1. L'apparition des Mèmes actuels.....	421
46.2.2. L'accélération exponentielle des Mèmes et leur sélection humaine hyper-darwinienne	422
46.2.3. L'Anthropocène, le règne des Mèmes économiques	424
46.2.4. Les Mèmes technologiques du transport et de l'électricité	427
46.2.5. L'accélération des nouvelles technologies de l'électronique et de l'information, une révolution socio-biologique	428
47. L'entropie négative de Schrödinger-Delbrück : vers une thermodynamique fractale du vivant.....	432

Sixième partie

Histoire log-périodique des sciences et des technologies	443
48. La révolution industrielle en Angleterre	443
48.1. Le cadre historique de la révolution industrielle.....	443
48.2. Le cadre économique de la révolution industrielle à l'origine de la divergence entre l'Europe et la planète ?	445
48.3. Les sept vecteurs de la révolution industrielle	446
48.3.1. La machine à vapeur	447
48.3.2. L'industrie textile.....	447
48.3.3. Le réseau de canaux.....	448
48.3.4. La production de fer	449
48.3.5. Le chemin de fer.....	449
48.3.6. La navigation	450
48.3.7. Le réseau de routes.....	450
48.3.8. Discussion.....	450
48.4. Gains de productivité grâce à la révolution industrielle.....	451
48.5. Succession des innovations dans le temps : loi de puissance et log-périodicité.....	453
48.6. Criticalité auto-organisée : le modèle du tas de sable	456
49. Révolution industrielle britannique et criticalité auto-organisée	457
50. Log-périodicité dans les sciences	460
50.1. Les découvertes des éléments chimiques	460
50.2. L'évolution des divers accélérateurs de particules vers les hautes énergies	462
50.3. Structure log-périodique au sein de la famille Becquerel.....	467
50.3.1. Historique de la dynastie scientifique Becquerel.....	467
50.3.2. Mémoire et dynastie Becquerel	469
50.3.3. Évolution log-périodique de la dynastie Becquerel.....	470

50.4. Calcul, informatique et réseaux de communication	472
50.4.1. Les méthodes de calcul	472
50.4.2. Les réseaux informatiques	474
50.4.3. La mesure du temps	475
51. Aménagements techniques : remontées mécaniques et canaux d'irrigation	475
51.1. Les remontées mécaniques pour skieurs et les activités économiques des villages alpins	475
51.2. Canaux d'irrigation au Valais et au Sud-Tyrol	478

Septième partie

Vie et mort des empires : vers une géopolitique log-périodique	483
52. Annexions territoriales et voies de circulation sous la République et l'Empire romains.....	483
52.1. Les conquêtes de la Rome antique.....	484
52.2. Les voies de circulation romaines	490
52.3. Discussion et conclusion	493
53. Unification log-périodique de la France des années 1000 à 1789.....	495
53.1. Rappels historiques.....	495
53.1.1. Féodalité et Renaissance	496
53.1.2. L'Ancien Régime.....	499
53.1.3. L'unification du royaume.....	500
53.1.4. Extension du Domaine royal et théorie de la complexité	503
53.1.5. Conclusion	505
54. L'Allemagne, une nation toujours décentralisée ?	507
55. La création des États-Unis d'Amérique et le rôle de la mémoire	508
55.1. Historique schématique de l'unification des États-Unis	509
55.2. Corrections log-périodiques	514
55.3. Réflexions sur les lois log-périodiques appliquées aux États-Unis	515
56. L'expansion de la Russie du xiv^e au xx^e siècle	518
56.1. Introduction	518
56.2. Surfaces cumulées de la Russie	519
56.3. Évolution historique des annexions du territoire russe.....	521
56.4. Discussion et conclusion.....	526

57. Les deux empires coloniaux de la France :	
gloire et limites du colonialisme.....	529
57.1. Le Premier Empire colonial : les comptoirs	530
57.2. Le Second Empire colonial : les annexions territoriales	530
57.3. Évolution de l'Empire colonial français 1830-1920	532
58. Systèmes économiques et log-périodicité.....	534
58.1. Les crises économiques post-révolutionnaires de la Chine	
et de l'URSS.....	534
58.1.1. Évolution économique de la Chine.....	534
58.1.2. Évolution économique de l'URSS.....	536
58.2. Déclin des pôles économiques occidentaux du Néolithique	
jusqu'à nos jours.....	537
58.3. Exemple d'une fin de civilisation : les sociétés précolombiennes	
d'Amérique centrale.....	542

Huitième partie

Log-périodicité dans les arts et les ordres religieux.....	545
59. Les arts.....	545
59.1. Chronologie du jazz.....	545
59.2. Chronologie des courants artistiques : l'exemple de la peinture ...	549
60. Évolution des ordres religieux et monastiques	552
Conclusion	557