Univers et Matière conjecturés comme un Réseau Tridimensionnel avec des Singularités Topologiques

Gérard Gremaud

Table des matières

PARTIE I B - Application: exemples de phénoménologies des solides usuels

PARTIE I C - Charges de dislocation et charges de désinclinaison

PARTIE I D - Application: éléments de théorie des dislocations dans les solides usuels

PARTIE II A - Le «réseau cosmologique»

PARTIE II B - Equations de Maxwell et Relativité Restreinte

Chapitre 19 - Singularités topologiques au sein d'un réseau cosmologique

Chapitre 20 - Dynamique relativiste des singularités topologiques dans le réseau cosmologique parfait

Chapitre 21 - Rôle d'«éther» du réseau cosmologique parfait pour un amas mobile de singularités

PARTIE II C - Gravitation et Cosmologie

Chapitre 22 - Perturbations «gravitationnelles» de l'expansion par des singularités topologiques localisées

Annexes

Introduction

Ce livre est un *essai* dont la finalité est de montrer qu'une théorie eulérienne de la déformation d'un réseau newtonien dans un espace absolu, moyennant un choix judicieux des propriétés élastiques et structurales de ce réseau, peut fournir *un cadre d'investigation* extrêmement riche et intéressant pour la physique parce qu'elle fait apparaître *des analogies très fortes et souvent parfaites avec toutes les grandes théories physiques actuelles* du Macrocosme et du Microcosme, comme les Equations de Maxwell, la Relativité Restreinte, la Gravitation Newtonienne, la Relativité Générale, la Cosmologie Moderne, la Physique Quantique et le Modèle Standard des particules élémentaires.

Ce livre n'a pas la prétention de présenter une *Théorie du Tout* qui serait déjà complètement élaborée et utilisable, mais il devrait et pourrait par contre s'avérer extrêmement fructueux pour donner des *explications simples* aux théories physiques modernes dont il est difficile, si ce n'est impossible, de comprendre le sens profond, mais aussi et surtout pour définir *des liens étroits et des ponts unificateurs* entre les diverses grandes théories de la physique moderne.

Dans la première partie du livre, on résume de manière autonome un premier livre[1] publié en 2013, qui jetait méthodiquement les bases d'une *approche originale des réseaux solides par les coordonnées d'Euler*, et qui introduisait aussi de manière détaillée la notion de *charges tensorielles de dislocation et de désinclinaison au sein d'un réseau,* concept qui permet de quantifier les singularités topologiques pouvant apparaître à l'échelle microscopique d'un réseau solide. Sur la base de cette approche originale des réseaux solides et de leurs singularités topologiques, on déduit un ensemble d'équations fondamentales et phénoménologiques qui permettent de traiter de manière très rigoureuse l'évolution spatio-temporelle macroscopique d'un réseau solide newtonien se déformant dans l'espace absolu du laboratoire d'un observateur extérieur au réseau.

Dans la deuxième partie du livre, on introduit un *réseau imaginaire*, avec des propriétés élastiques et structurales assez spéciales, et qu'on appelle *«réseau cosmologique»*. L'équation de Newton de ce réseau et les singularités topologiques qu'il peut contenir présentent alors un ensemble de propriétés très étonnantes, qui sont progressivement développées au cours des chapitres, et qui font apparaître des analogies fortes et surprenantes avec toutes les grandes théories physiques actuelles: les équations de Maxwell, la relativité restreinte, la gravitation newtonienne, la relativité générale, la cosmologie moderne, la physique quantique et le modèle standard des particules élémentaires.

Le problème des théories de champs unifiés

Un des problèmes fondamentaux de la physique moderne est la recherche de la *Théorie du Tout* capable d'expliquer la nature de l'espace-temps, ce qu'est la matière et comment la matière interagit. Depuis le 19ème siècle, les physiciens ont cherché à développer des théories de

---

[1] *Théorie eulérienne des milieux déformables, charges de dislocation et de désinclinaison dans les solides, G. Gremaud, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Suisse, 2013, 750 pages (ISBN 978-2-88074-964-4)*

champs unifiées, qui devraient consister en un cadre théorique cohérent capable de prendre en compte les diverses forces fondamentales de la nature. Parmi les tentatives de recherche d'une théorie unifiée, citons:
- la "*Grande Unification"* qui rassemble les forces d'interaction électromagnétiques, les forces faibles et les forces fortes,
- la *Gravité Quantique*, la *Gravitation Quantique à Boucles,* et les *Théories de Cordes,* qui cherchent à décrire les propriétés quantiques de la gravité,
- la *Supersymétrie* propose une extension de la symétrie d'espace-temps reliant les deux classes de particules élémentaires, les bosons et les fermions,
- les *Théorie de Cordes et de Supercordes,* sont des structures théoriques intégrant la gravité, dans lesquelles les particules ponctuelles sont remplacées par des cordes unidimensionnelles dont les états quantiques décrivent tous les types de particules élémentaires observées,,
- la *Théorie M*, qui unifie cinq versions différentes de théories de cordes, avec la propriété surprenante que des extra-dimensions sont requises pour assurer sa cohérence.

Cependant, aucune de ces approches n'est capable pour l'instant d'expliquer de manière consistante et en même temps, l'électromagnétisme, la relativité, la gravitation, la physique quantique et les particules élémentaires observées. De nombreux physiciens pensent que la Théorie M à 11 dimensions est la Théorie du Tout. Cependant, il n'existe pas un large consensus à ce propos et il n'y a pas à l'heure actuelle de théorie candidate apte à calculer la constante de structure fine ou la masse de l'électron. Les physiciens des particules espère que les résultats à venir des expériences en cours - la recherche de particules nouvelles dans les grands accélérateurs et le recherche de la matière noire - seront encore nécessaires pour définir une Théorie du Tout.

Dans ce livre, il est suggéré que l'Univers pourrait être un réseau tridimensionnel élastique et massif, et que les éléments constituants de la Matière Ordinaire pourraient être des singularités topologiques de ce réseau, à savoir diverses boucles de dislocation et de désinclinaison. On trouve, pour un réseau isotrope élastique satisfaisant la loi de Newton, avec des hypothèses spécifiques sur ses propriétés élastiques, que les comportements de ce réseau et de ces singularités topologiques regroupent "toute" la physique connue actuellement, unifiant à la fois l'électromagnétisme, la relativité, la gravitation et la physique quantique, et résolvant quelques questions de longue date à propos de la cosmologie moderne. De plus, en étudiant des réseaux avec des symétries axiales, représentées par *des réseaux cubiques 3D "colorés",* on peut identifier une structure de réseau dont les singularités topologiques en boucles coïncident avec la zoologie complexe des particules élémentaires, ce qui pourrait ouvrir un champ d'investigation très prometteur pour la physique des particules.

Première partie: à la recherche d'une nouvelle formulation de la déformation d'un réseau solide en coordonnées d'Euler

Lorsqu'on veut étudier la déformation des réseaux solides, il est d'usage courant de décrire l'évolution de leur déformation à l'aide d'un système de coordonnées de Lagrange et d'utiliser diverses géométries différentielles pour décrire les défauts topologiques qu'ils contiennent.

L'utilisation des coordonnées de Lagrange pour décrire les solides déformables présente un certain nombre de difficultés qui leur sont inhérentes. D'un point de vue mathématique, les tenseurs décrivant les déformations d'un solide continu en coordonnées de Lagrange sont toujours d'ordre supérieur à un en les dérivées spatiales des composantes du champ de déplacement, ce qui conduit à un formalisme mathématique très compliqué lorsqu'un solide présente de fortes distorsions (déformations et rotations). A ces difficultés d'ordre mathématique s'ajoutent encore des difficultés d'ordre physique lorsqu'il s'agit d'introduire certaines propriétés connues des solides. En effet, le système des coordonnées de Lagrange devient pratiquement inutilisable, par exemple lorsqu'il faut décrire l'évolution temporelle de la structure microscopique d'un réseau solide (transitions de phase) et de ses défauts de structure (défauts ponctuels, dislocations, désinclinaisons, joints, etc.), ou s'il est nécessaire d'introduire certaines propriétés physiques du milieu (thermiques, électriques, magnétiques, chimiques, etc.) se traduisant par l'existence dans l'espace réel de champs scalaires, vectoriels ou tensoriels.

L'utilisation de géométries différentielles pour introduire des défauts topologiques comme les dislocations dans les milieux continus déformables a été initiée par le travail de Nye[2] (1953), qui a pour la première fois fait le rapport entre le tenseur de densité de dislocations et la courbure du réseau. D'autre part, Kondo[3] (1952) et Bilby[4] (1954) ont indépendamment montré que les dislocations peuvent s'identifier à une version cristalline du concept de Cartan[5] (1922) de torsion d'un continuum. Cette approche a été formalisée de manière très détaillée par Kröner[6] (1960). Cependant, l'utilisation de géométries différentielles pour décrire les milieux déformables se heurte très vite à des difficultés assez semblables à celles du système des coordonnées de Lagrange. Une première difficulté est liée au fait que le formalisme mathématique y est d'une très grande complexité, puisque similaire au formalisme de la relativité générale, ce qui rend par conséquent très difficiles la manipulation et l'interprétation des équations générales de champs ainsi obtenues. Une seconde difficulté apparaît avec les géométries différentielles lorsqu'il s'agit d'introduire dans le milieu des défauts topologiques d'autres types que des dislocations. Par exemple, Kröner[7] (1980) a proposé que l'existence de défauts ponctuels extrinsèques, qui peuvent être considérés comme de l'extra-matière, pourrait s'identifier à la présence de matière dans l'univers et être introduite par conséquent sous la forme d'équations d'Einstein, ce qui conduirait à une géométrie différentielle purement riemannienne en l'absence de dislocations. Il a aussi proposé que les défauts ponctuels intrinsèques (lacunes, interstitiels) pourraient être approchés par une partie non-métrique d'une connexion affine. Finalement, il a envisagé aussi que l'introduction d'autres défauts topologiques tels que des désinclinaisons pourrait faire appel à des géométries d'ordres supérieurs encore plus complexes, comme les géométries de Finsler ou de Kawaguchi. En fait, l'introduction de géométries différentielles fait en général apparaître une artillerie mathématique très lourde (tenseur métrique et symboles de

---

[2] *J.F. Nye, Acta Metall.,vol. 1, p.153, 1953*

[3] *K. Kondo, RAAG Memoirs of the unifying study of the basic problems in physics and engeneering science by means of geometry, volume 1. Gakujutsu Bunken Fukyu- Kay, Tokyo, 1952*

[4] *B. A. Bilby , R. Bullough and E. Smith, «Continous distributions of dislocations: a new application of the methods of non-riemannian geometry», Proc. Roy. Soc. London, Ser. A 231, p. 263–273, 1955*

[5] *E. Cartan, C.R. Akad. Sci., 174, p. 593, 1922 & C.R. Akad. Sci., 174, p.734, 1922*

[6] *E. Kröner, «Allgemeine Kontinuumstheorie der Versetzungen und Eigenspannungen», Arch. Rat. Mech. Anal., 4, p. 273-313, 1960*

[7] *E. Kröner, «Continuum theory of defects», in «physics of defects», ed. by R. Balian et al., Les Houches, Session 35, p. 215–315. North Holland, Amsterdam, 1980.*

Christoffel) afin de décrire l'évolution spatio-temporelle dans des repères locaux infinitésimaux, comme le montre bien par exemple la théorie mathématique des dislocations de Zorawski[8] (1967).

Théorie eulérienne de la déformation d'un réseau solide

Vu la complexité des calculs ainsi obtenus, que ce soit dans le cas du système des coordonnées de Lagrange ou dans celui des géométries différentielles, il m'était apparu souhaitable depuis longtemps d'essayer de développer une approche nettement plus simple des solides déformables, mais néanmoins tout aussi rigoureuse, qui a finalement été publiée dans un premier livre[1] publié en 2013: *la théorie eulérienne des milieux déformables*.

Dans la première partie, on commence par présenter un résumé de la théorie eulérienne de la déformation introduite dans le premier livre[1] publié en 2013:

La première section (A) est dédiée à l'introduction de la *théorie eulérienne des réseaux déformables newtoniens.* On y décrit comment la déformation d'un réseau peut être caractérisée par des *distorsions* et des *contorsions*. Pour cela, on fait appel à une *représentation vectorielle des tenseurs*, qui présente des avantages indéniables sur la représentation purement tensorielle, ne serait-ce que par la possibilité d'utiliser le formalisme puissant de l'analyse vectorielle, ce qui permet d'obtenir facilement les *équations de géométrocompatibilité*, qui assurent la solidité du réseau, et les *équations de géométrocinétique,* qui permettent de décrire la cinétique de la déformation. Ensuite, on introduit la physique dans ce contexte topologique, à savoir *la dynamique newtonienne* et *la thermocinétique eulérienne*. Avec tous ces ingrédients, il devient possible de décrire les comportements particuliers des réseaux solides, comme *l'élasticité, l'anélasticité, la plasticité* et *l'auto-diffusion*. Cette première section se termine par l'établissement du set complet des *équations d'évolution d'un réseau* dans le système des coordonnées d'Euler.

La deuxième section (B) est dédiée aux *applications de la théorie eulérienne,* et présente très succinctement des exemples de *phénoménologies des solides usuels*. On y montre comment obtenir les fonctions et équations d'état d'un solide isotrope, quels sont les comportements élastiques et thermiques qui peuvent apparaître, comment se propagent les ondes et pourquoi il existe des relaxations thermoélastiques, que sont les phénomènes de transport de masse et pourquoi il peut apparaître des relaxations inertielles, quelles sont les phénoménologies usuelles d'anélasticité et de plasticité, et finalement comment il peut apparaître des transitions structurales de 2ème et de 1ère espèce dans un réseau solide.

Charges de dislocation et de désinclinaison dans les réseaux eulériens

La description des défauts (singularités topologiques) qui peuvent apparaître au sein d'un solide, comme les dislocations et les désinclinaisons, est un domaine de la physique, initié principalement par l'idée des défauts macroscopiques de Volterra[9] (1907), qui a connu un développement fulgurant au cours de son siècle d'histoire très riche, comme l'a très bien illustré Hirth[10] (1985). C'est en 1934 qu'a réellement démarré la théorie des dislocations de réseau, suite aux

---

[8] *M. Zorawski, «Théorie mathématique des dislocations», Dunod, Paris, 1967.*

[9] *V. Volterra, «L'équilibre des corps élastiques», Ann. Ec. Norm. (3), XXIV, Paris, 1907*

[10] *J.-P. Hirth, «A Brief History of Dislocation Theory», Metallurgical Transactions A, vol. 16A, p. 2085, 1985*

papiers d'Orowan[11], de Polanyi[12] et de Taylor[13] décrivant indépendamment la dislocation coin. Puis c'est en 1939 que Burgers[14] décrit les dislocations vis et mixtes. Et c'est finalement en 1956 que sont reportées les premières observations expérimentales de dislocations, simultanément par Hirsch, Horne et Whelan[15] et par Bollmann[16], grâce au microscope électronique. Quant aux désinclinaisons, c'est en 1904 que Lehmann[17] les observe pour la première fois dans des cristaux moléculaires, et c'est en 1922 que Friedel[18] en donne une première description physique. Ensuite, à partir de la moitié du vingtième siècle, la physique des défauts dans les solides a pris une ampleur considérable.

Dans la première partie de ce livre, les dislocations et les désinclinaisons sont abordées en introduisant intuitivement le concept de *charges de dislocation*, en s'aidant des fameux «tuyaux» de Volterra[19] (1907) et d'une analogie avec les charges électriques. En coordonnées d'Euler, la notion de densité de charges apparaît alors dans une *équation de géométrocompatibilité* du solide, alors que la notion de flux de charges s'introduit dans une *équation de géométrocinétique* du solide. La *formulation rigoureuse du concept de charges* dans les solides fait *l'originalité essentielle* de cette approche des singularités topologiques. Le développement fouillé de ce concept fait apparaître des charges tensorielles de premier ordre, les *charges de dislocation*, associées aux *distorsions plastiques (déformations et rotations plastiques)* du solide, et des charges tensorielles de deuxième ordre, les *charges de désinclinaison*, associées aux *contorsions plastiques (flexions et torsions plastiques)* du solide. Il apparaît que ces singularités topologiques se quantifient dans un réseau solide et qu'elles ne peuvent être topologiquement localisées que dans des *cordes (tubes minces),* qui peuvent se modéliser sous forme de *lignes unidimensionnelles de dislocation ou de désinclinaiso*n, ou dans des *membranes (plaques minces),* qui peuvent se modéliser sous forme de *joints bidimensionnels de flexion, de torsion ou d'accomodation*.

Le concept de charges de dislocation et de désinclinaison permet de retrouver de manière rigoureuse les principaux résultats obtenus par la théorie classique des dislocations. Mais il permet surtout de définir un tenseur $\vec{\Lambda}_i$ de *charge linéique de dislocation*, dont on déduit un scalaire Λ de *charge linéique de rotation,* qui est associée à la partie vis de la dislocation, et un vecteur $\vec{\Lambda}$ de *charge linéique de flexion,* qui est associée à la partie coin de la dislocation. Pour une dislocation donnée, les deux charges Λ et $\vec{\Lambda}$ sont alors parfaitement définies sans avoir à faire appel à une convention pour les définir, au contraire de la définition classique d'une dislocation par son vecteur de Burgers! D'autre part, la description des dislocations *dans le système des coordonnées d'Euler* par le concept de charges de dislocation permet de traiter de manière exacte l'évolution des charges et des déformations *lors de très fortes contractions ou expan-*

---

[11] *E. Orowan, Z. Phys., vol. 89, p. 605,614 et 634, 1934*

[12] *M. Polanyi, Z. Phys., vol.89, p. 660, 1934*

[13] *G. I. Taylor, Proc. Roy. Soc. London, vol. A145, p. 362, 1934*

[14] *J. M. Burgers, Proc. Kon. Ned. Akad. Weten schap., vol.42, p. 293, 378, 1939*

[15] *P. B. Hirsch, R. W. Horne, M. J. Whelan, Phil. Mag., vol. 1, p. 667, 1956*

[16] *W. Bollmann, Phys. Rev., vol. 103, p. 1588, 1956*

[17] *O. Lehmann, «Flussige Kristalle», Engelman, Leibzig, 1904*

[18] *G. Friedel, Ann. Physique, vol. 18, p. 273, 1922*

[19] *V. Volterra, «L'équilibre des corps élastiques», Ann. Ec. Norm. (3), XXIV, Paris, 1907*

sions volumiques d'un milieu solide.

Dans la première partie, on présente cette approche nouvelle et originale des défauts topologiques de structure dans les réseaux solides déformables dans les deux sections suivantes:

La troisième section (C) est dédiée à l'introduction des *charges de dislocation et charges de désinclinaison dans les réseaux eulériens*. Après avoir introduit analytiquement *les concepts de densité et de flux de charges de dislocation et de désinclinaison dans les réseaux*, on présente une revue détaillée des *singularités topologiques macroscopiques et microscopiques du réseau* qui peuvent être associées aux charges de dislocation et de désinclinaison. Puis on discute le mouvement des charges de dislocation au sein du réseau, en introduisant *les flux de charges de dislocation et les relations d'Orowan*. Finalement, on déduit *la force de Peach et Koehler* qui agit sur les dislocations et on établit un nouveau set complet des *équations d'évolution d'un réseau* dans le système des coordonnées d'Euler, qui tient compte cette fois de l'existence de singularités topologiques au sein du réseau.

La quatrième section (D) est dédiée aux *applications du concept de charges* au sein du réseau solide eulérien, et présente des *éléments de la théorie des dislocations dans les solides usuels*. On commence par montrer que, dans le cas particulier de la déformation d'un réseau isotrope par purs cisaillements, on peut remplacer le tenseur de cisaillement par le vecteur de rotation, ce qui permet de trouver un set d'équations qui correspond très exactement à toutes *les équations de Maxwell* de l'électromagnétisme! Ensuite, on montre comment calculer *les champs et les énergies des dislocations vis et coin* dans un réseau solide isotrope, ainsi que *les interactions pouvant intervenir entre dislocations*. On termine cette section d'applications par la présentation du *modèle de la corde* des dislocations, qui est le modèle fondamental permettant d'expliquer la plupart des comportements macroscopiques de l'anélasticité et de la plasticité des solides cristallins.

Deuxième partie: à la recherche d'un "réseau cosmologique"

Dans la première partie du livre, on montre qu'il est possible de calculer l'*énergie de repos* E_0 des dislocations, qui correspond à *l'énergie élastique stockée dans le réseau* par leur présence, et leur *énergie cinétique* E_{cin}, qui correspond à *l'énergie cinétique des particules du réseau* mobilisées par leur mouvement, ce qui permet alors de leur attribuer une *masse d'inertie virtuelle* M_0 qui satisfait des relations similaires à la fameuse équation $E_0 = M_0 c^2$ de la relativité restreinte d'Einstein, mais qui est obtenue ici de manière tout-à-fait classique, c'est à dire sans faire appel à un principe de relativité! De plus, à haute vitesse, la dynamique des dislocations satisfait aussi *les principes de la relativité restreinte* et *les transformations de Lorentz*.

On montre aussi dans la première partie que, dans le cas des milieux solides isotropes présentant une expansion volumique homogène et constante, donc ne se déformant que par cisaillement, il apparaît *une analogie parfaite et complète avec les équations de Maxwell de l'électromagnétisme*, grâce au remplacement du tenseur de cisaillement par le vecteur de rotation. L'existence d'une analogie entre l'électromagnétisme et la théorie des milieux continus incompressibles a déjà été entraperçue il y a fort longtemps et développée par de nombreux auteurs, comme l'a montré Whittaker[20] (1951). Cependant, l'analogie devenait beaucoup plus complète

---

[20] *S. E. Whittaker, «A History of the Theory of Aether and Electricity», Dover reprint, vol. 1, p. 142, 1951.*

dans mon premier livre[1], car elle ne se borne pas seulement à une analogie avec l'un des deux couples d'équations de Maxwell dans le vide, mais elle se généralise aux deux couples d'équations de Maxwell ainsi qu'aux diverses phénoménologies de *polarisation diélectrique* et de *magnétisation de la matière*, ainsi qu'aux notions *de charges et de courants électriques!* L'analogie avec les équations de Maxwell est très étonnante de par le simple fait qu'il est initialement postulé que le réseau solide satisfait une *dynamique très simple, purement newtonienne*, dans le référentiel absolu du laboratoire de l'observateur extérieur, qui est muni de règles orthonormées et d'une horloge donnant un temps universel, alors que les singularités topologiques au sein du réseau solide, à savoir les dislocations et les désinclinaisons avec leurs charges respectives, responsables des distorsions et des contorsions plastiques du solide, sont soumises à une *dynamique relativiste* au sein du solide, justement due *au set d'équations maxwelliennes* gouvernant les cisaillements du milieu. De ce point de vue, la dynamique relativiste des singularités topologiques n'est rien d'autre qu'*une conséquence de la dynamique newtonienne parfaitement classique du réseau solide élastique* dans le référentiel de l'observateur extérieur!

Finalement, il apparaît aussi dans la première partie qu'à grande distance d'un *amas localisé* de singularités topologiques, formé par exemple d'une ou plusieurs boucles de dislocation ou d'une ou plusieurs boucles de désinclinaison, l'aspect tensoriel des champs de distorsion générés à courte distance par cet amas peut être négligé à grande distance, de sorte que les perturbations du réseau peuvent être parfaitement décrites *à grande distance* par les deux seuls *champs vectoriels de torsion par rotation et de courbure par flexion* associés aux deux seules charges scalaires de l'amas, sa *charge scalaire de rotation* $\boldsymbol{Q}_\lambda$ et sa *charge scalaire de courbure* $\boldsymbol{Q}_\theta$. La charge de rotation devenait alors l'analogue parfait de *la charge électrique* dans les équations de Maxwell, alors que la charge de courbure présentait une analogie certaine avec *une masse gravitationnelle* dans la théorie de la gravitation.

L'existence d'analogies entre *la mécanique des milieux continus et la physique des défauts* et *les théories de l'électromagnétisme, de la relativité restreinte et de la gravitation* avait déjà fait l'objet de nombreuses publications, dont les plus célèbres sont assurément celles de Kröner[4,5]. D'excellentes revues dans ce domaine de la physique ont aussi été publiées, notamment par Whittaker[20] (1951) et par Unzicker[21] (2000). Mais aucune de ces publications n'était allée aussi loin dans la mise en évidence de ces analogies que l'approche présentée dans mon premier livre[1].

Les nombreuses analogies qui sont apparues dans le premier livre[1] entre la théorie eulérienne des milieux déformables et les théories de l'électromagnétisme, de la gravitation, de la relativité restreinte, de la relativité générale et même du modèle standard des particules élémentaires, confortées par l'absence de charges analogues aux monopôles magnétiques, par une solution possible au fameux paradoxe de l'énergie électrique d'un électron, et par l'existence d'une faible asymétrie entre charges de courbure de type lacunaire et de type interstitiel, étaient suffisamment étonnantes et remarquables pour ne pas manquer de titiller tout esprit scientifique ouvert et quelque peu curieux! Mais il était clair que ces analogies n'étaient de loin pas parfaites. Il était dès lors très tentant d'analyser plus en profondeur ces analogies et d'essayer de trouver comment les perfectionner, et c'est ce qui a conduit à proposer le présent livre, dont la

---

[21] *A. Unzicker, «What can Physics learn from Continuum Mechanics?», arXiv:gr-qc/0011064, 2000*

deuxième partie est entièrement dévolue à l'approfondissement, à l'amélioration et à la compréhension de ces analogies.
La deuxième partie de ce livre est composée de cinq sections. De manière progressive, en introduisant *plusieurs conjectures judicieuses* qui sont résumées dans l'annexe D, on s'attaque aux analogies existant entre la théorie eulérienne de la déformation décrite dans la première partie et appliquée à un réseau très particulier, le *«réseau cosmologique»*, et les grandes théories actuelles de la physique du Macrocosme et du Microcosme, comme les Equations de Maxwell, la Relativité Restreinte, la Gravitation Newtonienne, la Relativité Générale, la Cosmologie Moderne, la Physique Quantique et le Modèle Standard des particules élémentaires.

Le "réseau cosmologique" et son équation de Newton

La première section (A) est dédiée à l'introduction du *«réseau cosmologique»*. Par l'introduction de propriétés élastiques assez particulières d'expansion volumique, de cisaillement et surtout *de rotation*, exprimées *par unité de volume de réseau dans l'énergie libre*, on obtient un réseau imaginaire possédant une *équation de Newton très particulière*, dans laquelle il apparaît notamment *un terme inédit de force*, qui est directement lié à l'énergie de distorsion due aux singularités contenues dans le réseau, et qui sera appelé à jouer par la suite un rôle fondamental dans les analogies avec la Gravitation et avec la Physique Quantique.
On montre alors que *la propagation d'ondes dans ce réseau cosmologique* présente des particularités intéressantes: la propagation d'ondes transversales de polarisation linéaire y est toujours associée à des ondelettes longitudinales, et la propagation d'ondes transversales pures ne peut se faire que par des *ondes de polarisation circulaire* (ce qui aura un lien direct avec les photons). D'autre part, la propagation d'ondes longitudinales peut disparaître au profit de l'apparition de *modes de vibrations longitudinales localisées* (ce qui aura un lien direct avec la physique quantique) dans le cas où l'expansion volumique du milieu est inférieure à une certaine valeur critique.
Ensuite, le calcul de la *courbure des rayons d'onde* au voisinage d'une singularité de l'expansion volumique du réseau permet de trouver des conditions auxquelles doit satisfaire le champ d'expansion d'une singularité pour qu'il apparaisse un piège qui capture les ondes transversales, autrement dit un *«trou noir»!*
Finalement, on montre qu'un tel réseau cosmologique, fini dans l'espace absolu, peut présenter *une expansion et/ou une contraction volumique dynamique* moyennant qu'il contienne une certaine quantité d'énergie cinétique d'expansion, phénomène tout à fait similaire à l'expansion cosmologique de l'Univers! Suivant les signes et les valeurs des modules élastiques, plusieurs types de comportements cosmologiques du réseau sont possibles, dont certains présentent les phénomènes *de big-bang, d'inflation rapide et d'accélération de la vitesse d'expansion,* et qui peuvent être suivis pour certains cas d'une *re-contraction du réseau conduisant à un phénomène de big-bounce*!
On en déduit que c'est *l'énergie élastique d'expansion contenue dans le réseau* qui est responsable de ces phénomènes, et notamment de l'*accroissement de la vitesse d'expansion*, phénomène qui est observé sur l'Univers actuel par les astrophysiciens et qui est attribué par eux à une hypothétique *«énergie noire»*.

Equations de Maxwell et relativité restreinte

La deuxième section (B) est dédiée aux *Equations de Maxwell* et à la *Relativité Restreinte*. On commence par montrer que l'équation de Newton du réseau cosmologique peut être séparée en une partie rotationnelle et une partie divergente, et que la partie rotationnelle fait apparaître un set d'équations pour le champ de rotation macroscopique parfaitement identique à l'ensemble des *équations de Maxwell de l'électromagnétisme*.

On montre ensuite que l'équation de Newton peut aussi être séparée de manière différente en *deux équations partielles de Newton* qui permettent d'une part de calculer les champs de distorsion élastique associés aux singularités topologiques, et d'autre part de calculer les perturbations de l'expansion volumique associées aux énergies élastiques de distorsion des singularités topologiques. En se servant de la première équation partielle de Newton, on peut alors s'attaquer aux calculs des champs et énergies de distorsion élastique des singularités topologiques au sein d'un réseau cosmologique. On montre ainsi qu'il est possible de trouver des conditions sur les modules élastiques de ce réseau telles qu'il est possible d'attribuer de manière tout à fait classique une *masse d'inertie* aux singularités topologiques, qui satisfait *toujours* la fameuse formule d'Einstein $E_0 = M_0 c^2$.

Puis on démontre que les singularités topologiques satisfont aussi une *dynamique typiquement relativiste* lorsque leur vitesse devient proche de la célérité des ondes transversales.

Sur ces bases, on finit par une discussion de l'analogie entre notre théorie et la théorie de la *Relativité Restreinte.* On constate que le réseau cosmologique se comporte en fait comme un *éther*, dans lequel les singularités topologiques satisfont exactement les mêmes propriétés que celles de la Relativité Restreinte concernant la contraction des règles, la dilatation du temps, l'expérience de Michelson-Morley et l'effet Doppler-Fizeau. L'existence du réseau cosmologique permet alors d'expliquer très simplement certains côtés un peu obscurs de la relativité restreinte, comme le fameux *paradoxe des jumeaux*!

Gravitation, relativité générale , interaction faible et cosmologie

La troisième section (C) est dédiée à la *Gravitation* et à la *Cosmologie.* Grâce à *la deuxième équation partielle de Newton*, on commence par calculer *les champs externes de perturbations d'expansion,* c'est-à-dire *les champs externes de gravitation* associés à des singularités topologiques macroscopiques localisées, soit *d'énergie élastique de distorsion donnée*, soit *de charge de courbure donnée*, soit *de charge de rotation donnée*.

Dans la foulée, on décrit aussi des *singularités macroscopiques lacunaires ou interstitielles,* pouvant apparaître au sein du réseau sous la forme d'un trou dans le réseau ou d'un encastrement interstitiel d'un morceau de réseau, qui s'avéreront par la suite des candidates idéales pour expliquer les *trous noirs* et les *pulsars* de l'Univers.

En appliquant les calculs du champ de gravitation externe des singularités topologiques aux singularités microscopiques sous forme de boucles de désinclinaison vis, de boucles de dislocation coin ou de boucles de dislocation mixtes, on déduit l'ensemble des propriétés de ces boucles. Il apparaît alors la notion de *«masse de courbure»* des boucles de dislocation coin, qui correspond à la masse équivalente associée aux effets gravitationnels *de la charge de courbure de ces boucles*, et qui peut être positive (dans le cas de boucles de nature lacunaire) ou négative (dans le cas de boucles de nature interstitielle). En fait, la charge de courbure et la masse de courbure qui lui est associée n'apparaissent dans aucune autre théorie physique, ni dans la Relativité Générale, ni dans la Physique Quantique, ni dans le Modèle Standard des particules élémentaires. Mais dans notre théorie, c'est précisément cette masse de courbure qui sera responsable de l'apparition d'une *faible asymétrie* entre les particules (contenant hypothétiquement des boucles coin de nature interstitielle) et les anti-particules (contenant hypothétiquement des boucles coin de nature lacunaire), et qui jouera un rôle capital dans l'évolution cosmologique des singularités topologiques!

En considérant alors les interactions gravitationnelles existant entre singularités topologiques composées essentiellement de boucles de désinclinaison vis, on peut déduire les comportements *des règles et des horloges locales d'observateurs locaux* en fonction du champ d'expansion local qui règne au sein du réseau cosmologique. On montre alors que pour tout observateur local, et quelle que soit la valeur de l'expansion volumique locale du réseau, les équations de Maxwell restent toujours parfaitement invariantes, de sorte que, pour cet observateur, la vitesse des ondes transversales est une constante, alors que celle-ci dépend fortement de l'expansion volumique locale si elle est mesurée par l'observateur extérieur au réseau!

On montre ensuite que les interactions gravitationnelles ainsi obtenues présentent des analogies très fortes avec la *Gravitation de Newton* et avec la *Relativité Générale d'Einstein,* et on discute en détail les points parfaitement analogues, comme l'analogie parfaite avec la métrique de Schwarzschild à grande distance d'un objet massif et la courbure des rayons d'onde par un objet massif.

Mais on montre que notre théorie eulérienne du réseau cosmologique apporte aussi des éléments nouveaux à la théorie de la Gravitation, notamment des modifications à très courte distance de la métrique de Schwarzschild et une meilleure compréhension des rayons critiques associés aux trous noirs: les rayons de la sphère des perturbations et du point de non-retour y sont tous deux semblables et égaux au rayon de Schwarzschild $R_{Schwrzschild} = 2GM / c^2$, et le rayon limite pour lequel la dilatation du temps de l'observateur tendrait vers l'infini devient nul, de sorte que notre théorie n'est pas limitée pour la description d'un trou noir au-delà de la sphère de Schwarzschild.

On dresse ensuite un tableau complet *de toutes les interactions gravitationnelles* existant entre les diverses singularités topologiques d'un réseau.

En considérant alors des singularités topologiques formées du couplage d'une boucle de désinclinaison vis avec une boucle de dislocation coin, qui sont appelées des boucles de dispiration, il apparaît une *force d'interaction similaire à un potentiel de capture, avec une portée très faible*, qui permet des interactions entre boucles présentant *une analogie parfaite avec les interactions faibles* entre particules élémentaires du Modèle Standard!

Sur la base des comportements cosmologiques du réseau décrits dans la section (A), et les interactions gravitationnelles entre singularités topologiques décrites dans la section (C), on peut alors imaginer *un scénario très plausible d'évolution cosmologique des singularité topologiques* conduisant à la structure actuelle de notre Univers. Ce scénario permet de donner une explication simple à plusieurs faits encore mal compris, comme *la formation des galaxies*, *la disparition de l'anti-matière*, *la formation de gigantesques trous noirs au coeur des galaxies*, et même *la fameuse «masse noire»* que les astrophysiciens ont dû inventer pour expliquer le

comportement gravitationnel des galaxies. Dans notre théorie, la *«masse noire»* serait en fait une mer de neutrinos répulsifs dans laquelle auraient précipité et baigneraient les galaxies. En effet, dans le cas des boucles de dislocation coin les plus simples, analogiquement similaires aux neutrinos, la *«masse de courbure» domine la masse d'inertie*, de sorte que les neutrinos devraient être les seules particules gravitationnellement répulsives, alors que les anti-neutrinos seraient quant à eux gravitationnellement attractifs. C'est cette particularité étonnante qui permettrait la formation d'une mer de neutrinos répulsifs jouant le rôle de *«matière noire»* pour les galaxies, de par la force de compression qu'ils exercent sur la périphérie des galaxies!
Finalement, on montre comment on peut traiter la *constante de Hubble*, le *«redshift» des galaxies* et l'évolution du *fond diffus de rayonnement cosmologique* dans le cadre de notre théorie eulérienne du réseau cosmologique.

Mécanique quantique, spin des particules et photons

La quatrième section (D) est dédiée à la *Physique Quantique* et au *Modèle Standard* des particules élémentaires. On commence par utiliser la deuxième équation partielle de Newton, dans le cas dynamique, pour montrer qu'il existe aussi des *fluctuations gravitationnelles longitudinales dynamiques* associées aux singularités topologiques mobiles au sein du réseau. En conjecturant *des opérateurs* similaires à ceux de la physique quantique, on montre alors que la deuxième équation partielle de Newton permet de déduire les fluctuations gravitationnelles associées à une singularité topologique se déplaçant quasi-librement à des vitesses relativistes au sein du réseau.
Dans le cas de singularités topologiques non relativistes liées par un potentiel, on montre que la deuxième équation partielle de Newton appliquée aux fluctuations gravitationnelles longitudinales associées à ces singularités conduit très exactement à *l'équation de Schrödinger de la physique quantique*, ce qui permet de donner *pour la première fois* une interprétation physique simple et réaliste de l'équation de Schrödinger et de la fonction d'onde quantique: *la fonction d'onde quantique déduite de l'équation de Schrödinger représente l'amplitude et la phase des vibrations gravitationnelles longitudinales associées à une singularité topologique du réseau cosmologique!*
Toutes les conséquences de l'équation de Schrödinger apparaissent alors avec une explication physique simple, telles que *l'équation d'onde stationnaire* d'une singularité topologique placé dans un potentiel statique, *le principe d'incertitude d'Heisenberg* et *l'interprétation probabiliste du carré de la fonction d'onde!*
Dans le cas où les fluctuations gravitationnelles d'expansion de deux singularités topologiques sont couplées, il apparaît aussi assez simplement les concepts de *bosons* et de *fermions,* ainsi que *le principe d'exclusion de Pauli!*
Au coeur même d'une boucle de singularité topologique, on montre qu'il ne peut pas exister de solutions statiques à la deuxième équation partielle de Newton pour les fluctuations gravitationnelles longitudinales. Il devient par conséquent *nécessaire de trouver une solution dynamique* à cette équation, et la solution dynamique la plus simple qu'il est possible d'envisager est que la boucle tourne sur elle-même. En résolvant ce mouvement de rotation avec la deuxième équation partielle de Newton, qui n'est en ce cas dynamique rien d'autre que l'équation de Schrödinger, on obtient la solution quantifiée des fluctuations gravitationnelles internes à la boucle,

qui n'est rien d'autre que *le spin de la boucle*, qui peut prendre plusieurs valeurs différentes (1/2, 1, 3/2, etc.) et qui est parfaitement similaire au spin des particules du Modèle Standard! Si la boucle est composée d'une boucle de désinclinaison vis, il apparaît aussi un *moment magnétique de la boucle*, proportionnel au célèbre *magnéton de Bohr!* Le fameux argument des pionniers de la physique quantique selon lequel le spin ne peut en aucun cas être une rotation réelle de la particule sur elle-même à cause d'une vitesse équatoriale de rotation supérieure à la célérité de la lumière est balayé dans notre théorie par le fait que l'expansion statique au voisinage du coeur de la boucle est très élevée, ce qui conduit à des célérités de la lumière au voisinage du coeur de la boucle beaucoup plus élevées que la vitesse équatoriale de rotation de la boucle!

Dans cette argumentation sur la nécessité absolue d'un *spin* des boucles de singularité pour satisfaire la deuxième équation partielle de Newton, seule la valeur exacte du spin d'une boucle, à savoir les valeurs 1/2 ou 1, ne trouve pas pour l'instant d'explication simple!

On finit par montrer comment construire un paquet d'ondes transversales pures de polarisation circulaire et pourquoi il apparaît *une quantification de l'énergie de ces fluctuations. C*es paquets d'onde forment des *quasi-particules* qui ont des propriétés parfaitement similaires aux *propriétés quantiques des photons*: *polarisation circulaire, masse nulle, quantité de mouvement non nulle, non-localité, dualité ondes-corpuscules, intrication et phénomène de décohérence.*

Modèle standard des particules élémentaires et force forte

Dans la dernière partie de cette section (D), on recherche les ingrédients qu'il faudrait ajouter au réseau cosmologique pour retrouver une analogie avec les diverses particules du Modèle Standard. On montre qu'en introduisant dans un réseau cubique des familles de *plans (qu'on a imaginairement «colorés» en rouge, vert et bleu) qui satisfont à certaines règles simples concernant leur arrangement et leur rotation*, on retrouve des boucles topologiques parfaitement *analogues à toutes les particules, leptons et quarks, de la première famille de particules élémentaires du Modèle Standard*, ainsi que des boucles topologiques *analogues aux bosons intermédiaires du Modèle Standard*. Il apparaît aussi spontanément *une force forte*, au sens d'une force qui présente *un comportement asymptotique*, entre les boucles analogues aux quarks, qui sont alors *obligées* de se regrouper en *triplets* pour former des assemblages de boucles *analogues aux baryons*, ou en *doublets* pour former des assemblages de boucle-anti-boucle *analogues aux mésons*. De plus, on retrouve aussi des boucles topologiques «bi-couleur» qui correspondent parfaitement aux *gluons* associés à la force forte dans le Modèle Standard!

Pour expliquer alors l'existence de *trois familles de quarks et leptons* dans le Modèle Standard, on montre que l'introduction d'une structure topologique plus complexe des boucles coin, basées sur *l'assemblage d'une paire de boucles de désinclinaison coin,* permet d'expliquer de manière satisfaisante l'existence de trois familles de particules d'énergies très différentes.

Finalement, on discute de l'intérêt de cette analogie forte entre les singularités topologiques d'un modèle de réseau cosmologique cubique «coloré» et les particules élémentaires du Modèle Standard, puis on discute des questions encore en suspens concernant cette analogie.

Fluctuations quantiques du vide, théorie cosmologique de multi-univers et gravitons

La cinquième section (E) est dédiée à quelques conséquences très hypothétiques du réseau cosmologique parfait associées aux *fluctuations gravitationnelles pures.*

On peut imaginer l'existence de fluctuations longitudinales pures au sein du réseau cosmologique qui peuvent être traitées, soit comme des fluctuations gravitationnelles aléatoires qui pourraient avoir une analogie avec *les fluctuations quantiques du vide*, soit comme des fluctuations gravitationnelles stables, qui pourraient conduire à l'échelle macroscopique à une *théorie cosmologique de Multi-Univers*, et à l'échelle microscopique à l'existence d'une forme de *quasi-particules stables* qu'on pourrait appeler des *gravitons*, par analogie avec les photons, mais qui n'ont en fait rien de commun avec les gravitons usuellement postulés dans le cadre de la Relativité Générale.

On termine ce livre par une *conclusion* dans laquelle on relève les rôles centraux joués par l'équation de Newton et par la structure microscopique du réseau cosmologique. On y met en évidence les nombreux points positifs, mais aussi les points encore obscurs, qui sont apparus tout au long de cet essai dans l'analogie développée entre le réseau cosmologique newtonien et les grandes théories actuelles de la physique.