DE L'ESPACE-TEMPS LOCAL DES DEFAUTS TOPOLOGIQUES EN BOUCLE DANS UN RESEAU NEWTONIEN

G. Gremaud
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
CH-1015 Lausanne, Suisse

Traduction française de : *arXiv:1407.1227v5 [physics.class-ph], submitted on 2 July 2014*

RESUME

Une des questions les plus fondamentales de la physique moderne est la nature de l'espace-temps. Il y a de nombreuses théories pour l'expliquer, telles que la théorie de grande unification, la gravité quantique, la supersymétrie, les théories de cordes et de supercordes, et la théorie-M. Cependant, aucune de ces théories n'explique ce qu'est la matière et comment elle interagit en décrivant en même temps l'électromagnétisme, la relativité, la gravitation, la physique quantique et les particules élémentaires observées.

Dans ce papier, on propose que l'espace-temps est lié à un réseau 3D isotrope et newtonien, et que ses défauts topologiques, à savoir diverses boucles de dislocation et de désinclinaison, sont les constituants de la matière ordinaire. On trouve, pour un réseau isotrope obéissant aux lois de Newton et muni de propriétés élastiques spécifiques, que son comportement macroscopique et celui de ses défauts topologiques font apparaître toutes les théories physiques connues, unifiant par là l'électromagnétisme, la relativité, la gravitation et la physique quantique, et permettant aussi de résoudre des questions de longue date de la cosmologie moderne. De plus, en étudiant les structures microscopiques possibles de ce réseau newtonien, par exemple en supposant un réseau avec une symétrie axiale représentée par un réseau cubique 3D "coloré", on montre qu'il est possible d'identifier une structure de réseau dont les boucles de défauts topologiques coïncident avec la zoologie compliquée des particules élémentaires, ouvrant par là un champ de recherche très prometteur.

1. Introduction

Depuis le 19ème siècle, les physiciens ont tenté de développer une théorie unifiée des champs (1), appelée parfois *Théorie du Tout (ToE)*, qui consiste en une seule théorie cohérente permettant de tenir compte de toutes les forces fondamentales de la nature. Diverses théories sont apparues durant les dernières décennies, parmi lesquelles :

- *la théorie de grande unification (GUT) (2),* qui consiste à unifier les trois forces d'interaction de jauge du modèle standard, la force électromagnétique, la force faible et la force forte,

- *la gravité quantique (QG) (3)*, qui cherche à décrire les propriétés quantiques de la gravitation dans le but de réconcilier la relativité générale avec les principes de la mécanique quantique. Cependant, comme cette théorie est non renormalisable, les théoriciens ont recherché des approches plus radicales à ce problème, parmi lesquelles les plus populaires sont *la gravitation quantique à boucles (LQG) (4)* et les *théories de cordes,*

- *la supersymétrie (SUSY) (5-10),* qui propose une extension de la symétrie espace-temps reliant les deux classes de base des particules élémentaires, les bosons et les fermions, en associant à chacune des particules d'une des classes une particule de l'autre classe, appelée sa superpartenaire, dans le but de résoudre plusieurs particularités mystérieuses de la physique des particules, ainsi que le problème de la constante cosmologique,

- *les théories de cordes et supercordes (11-1*8), qui sont des théories cadres dans lesquelles les particules ponctuelles sont remplacées par des objets unidimensionnels appelés cordes, en les modélisant comme des vibrations de minuscules cordes ou supercordes. Les théories de cordes visent à expliquer tous les types de particules élémentaires observées comme des états quantiques différents de ces cordes. En plus des particules postulées par le modèle standard des particules élémentaires, les théories de cordes incorporent aussi la gravité,

- *la théorie-M (19-27),* qui se propose d'unifier les cinq différentes versions de théories de cordes. Une propriété surprenante de la théorie-M est qu'elle nécessite des dimensions supplémentaires pour assurer sa cohérence. A cet égard, la théorie-M possède quelque analogie avec *la théorie de Kaluza–Klein,* dans laquelle on applique la relativité générale à un univers à cinq dimensions, dont une est repliée sur elle-même, et qui apparaît alors dans une projection sur la quatrième dimension comme la relativité générale habituelle à laquelle on joint l'électrodynamique.

Depuis les années 90, de nombreux physiciens pensent que la théorie-M à 11 dimensions est bien la théorie du tout. Cependant, ce n'est pas une opinion partagée par tous. Pour l'instant, il n'y a pas réellement de candidate pour la théorie du tout, qui inclurait en même temps le modèle standard de la physique des particules et la relativité générale. Par exemple, aucune des théories candidates n'est capable de calculer la constante de structure fine ou la masse de l'électron. La plupart des physiciens des particules s'attendent à ce que les résultats des expériences à venir – la recherche de nouvelles particules aux grands accélérateurs et la recherche de la matière sombre – permettent de fournir de nouvelles données pour développer la théorie du tout.

Dans ce papier, on considère la déformation d'un réseau 3D isotrope newtonien, muni de propriétés élastiques spéciales (voir ci-dessous) et décrit par des coordonnées d'Euler dans le cadre d'un référentiel absolu. En considérant les singularités topologiques de ce *« réseau cosmologique »*, à savoir les boucles de dislocation coin interstitielles et lacunaires, les boucles de dislocation mixtes, les boucles de désinclinaison vis et les boucles de désinclinaison coin, on démontre que celles-ci obéissent à un formalisme unique qui reflète en même temps les équations de Maxwell, la théorie de la relativité restreinte, la théorie de la relativité générale et les lois de la physique quantique. En fait, les singularités topologiques du réseau cosmologique joue le rôle de la matière ordinaire, interagissant via les divers champs de déformation généralisés du réseau lui-même.

A l'échelle microscopique, en considérant le cas particulier d'un réseau cubique isotrope avec une symétrie axiale, on montre que l'ensemble des singularités topologiques élémentaires et composées coïncident avec les particules élémentaires décrites par le modèle standard, bien que la structure finale du réseau soit encore une question ouverte.

Ce travail complet est accessible à l'adresse Internet suivante *(28)*. Il est basé sur une approche originale de la mécanique des milieux continus appliquée aux réseau solides en coordonnées d'Euler et sur un concept de charges associées aux singularités topologiques du réseau, qui ont tous deux été développés en détail dans un livre publié en 2013 *(29)*. Dans ce papier, les étapes de la démonstration contenue dans *(29)* et *(28)* sont reportées aussi brièvement et succinctement que possible.

1. La description eulérienne de la déformation newtonienne d'un réseau

Dans la référence *(29),* on a montré que l'utilisation des coordonnées d'Euler pour la description des réseaux solides est bien plus puissante que l'utilisation usuelle des cordonnées de Lagrange. En utilisant une notation vectorielle des tenseurs, elle permet une description très fouillée des *distorsions* (déformations et rotations) et des *contorsions* (torsions et flexions) d'un réseau, même dans le cas de très fortes distorsions. En ajoutant les propriétés physique du réseau, comme son comportement newtonien et les premier et second principes de la thermodynamique, cette théorie eulérienne de la déformation d'un réseau solide permet d'écrire un ensemble complet d'équations décrivant le comportement spatio-temporel, et d'introduire diverses propriétés phénoménologiques du réseau, comme son élasticité, son anélasticité, sa plasticité, ainsi que la présence d'autodiffusion et de transformations structurales.

2. La description eulérienne des singularités topologiques d'un réseau

La description des singularités topologiques qui peuvent apparaître dans un réseau, comme les *dislocations*, les *désinclinaisons* et les *dispirations*, est un domaine de la physique qui a été initié par les idées de défauts macroscopiques des milieux continus de Volterra en 1907 *(30)*. Ce domaine a connu un développement très rapide au cours du 20ème siècle, comme l'a bien décrit Hirth *(31).* La théorie des dislocations de réseau a pris corps en 1934 avec les papiers d'Orowan *(32),* de Polanyi *(33)* et de Taylor *(34)*, qui ont indépendamment décrits la dislocation de réseau coin, suivis par un papier de Burgers *(35)* en 1939, qui a introduit les dislocations de réseau vis et mixtes. C'est finalement en 1956 que Hirsch, Horne & Whelan *(36)* et Bollmann *(37)* ont indépendamment observés des dislocations dans les métaux à l'aide de microscopes électroniques. Concernant les désinclinaisons, c'est en 1904 que Lehmann *(38)* observa pour la première fois cette sorte de défauts, et en 1922 que Friedel *(39)* en donna une description physique. Durant la deuxième moitié du 20ème siècle, ce domaine de la physique a pris une extension fulgurante.

Généralement, on utilise des géométries différentielles pour décrire les singularités topologiques de réseau. Cette approche a été initiée par le travail de Nye en 1953 *(40),* qui a montré pour la première fois que le tenseur de densité de dislocation est reponsable d'une courbure du réseau, tandis que Kondo en 1952 *(41)* and Bilby en 1954 *(43)* ont montré indépendamment que les dislocations de réseau pouvaient s'identifier à une version cristalline du concept de Cartan *(43)* de torsion d'un continuum. Kröner généralisa cette approche en détail en 1960 *(44).* Mais l'utilisation de géométries différentielles devient très vite compliquée, dû à la complexité mathématique qui présente une formulation similaire à celle de la relativité générale, mais aussi lorsqu'il faut introduire des défauts topologiques autres que des dislocations dans le réseau. Par exemple, Kröner a suggéré en 1980 *(45)* que des défauts ponctuels extrinsèques pourraient être introduits comme de l'extra-matière sous forme d'équations d'Einstein, ce qui conduirait à une géométrie différentielle purement riemannienne en l'absence de dislocations. Il a aussi proposé d'introduire les défauts ponctuels intrinsèques (lacunes et interstitiels) comme une partie non-métrique d'une connexion affine. Finalement, il a suggéré d'utiliser des géométries différentielles plus complexes, comme les géométrie de Finsler et de Kawaguchi, pour décrire des défauts topologiques comme les désinclinaisons. Toutes ces géométries différentielles sont des objets mathématiques très difficiles à manipuler, comme le montre très bien la théorie mathématique des dislocations de Zorawski publiée en 1967 *(46).*

C'est pour cette raison qu'on a développé une approche nouvelle des singularités topologiques de réseau *(29)* qui est basée sur une formulation rigoureuse d'un concept de *« charge de déformation »* décrivant les singularités topologiques du réseau en coordonnées d'Euler : les *charges de dislocation*, représentant les distorsions plastiques (déformations et rotations plastiques) du réseau, et les *charges de désinclinaison* représentant les contorsions plastiques (torsions et flexions plastiques) du réseau.

Ces charges ne peuvent apparaître que comme des *cordes* ou des *membranes* au sein du réseau 3D. Elles satisfont les équations de Maxwell, leurs énergies satisfont la fameuse équation d'Einstein $E_0 = M_0 c^2$ et elles présentent des comportements relativistes. D'autre part, on a démontré que les perturbations du réseau à grande distance des singularités topologiques peuvent être entièrement décrites par deux champs vectoriels et un champ scalaire : le *champ vectoriel de rotation* correspondant au champ électrique, le *champ vectoriel de courbure* et le *champ scalaire d'expansion* correspondant tous deux à des champs gravitationnels. Ce n'est pas la première fois que des analogies sont trouvées entre la théorie de la déformation et les autre théories de la physique moderne, comme l'ont déjà montré Kröner *(44,45),* Whittaker *(47)* et Unzicker *(48).* Mais aucune de ces analogies n'est allée aussi loin que celle obtenue dans *(29).*

3. Le réseau cosmologique et son équation de Newton

Dans le deuxième travail *(28*), on a pu trouver un réseau 3D particulier*, le réseau cosmologique*, pouvant contenir des boucles de singularités topologiques, avec une *énergie libre de distorsion élastique* par unité de volume spécialement choisie

$$F^{def} = -K_0\tau + K_1\tau^2 + K_2\sum_i(\vec{\alpha}_i^{el})^2 + 2K_3(\vec{\omega}^{el})^2 \tag{1}$$

où τ est le *scalaire d'expansion volumique*, $\vec{\alpha}_i^{el}$ le *tenseur de cisaillement élastique*, $\vec{\omega}^{el}$ le *vecteur de rotation élastique locale*, et K_0, K_1, K_2, K_3 sont les *modules élastiques*.

La dynamique du réseau en coordonnées d'Euler s'exprime alors par une *équation de Newton locale*

$$nm\frac{d\vec{\phi}}{dt} = -2\left(K_2+K_3\right)\overrightarrow{\mathrm{rot}}\,\vec{\omega}^{el} + \left(\frac{4}{3}K_2 + 2K_1\right)\overrightarrow{\mathrm{grad}}\,\tau + \overrightarrow{\mathrm{grad}}\,F^{def} + 2K_2\,\vec{\lambda} \tag{2}$$

où $\vec{\phi}$ est la *vitesse locale du réseau*, m la *masse d'inertie associée à une maille* du réseau, $n = n_0\,\mathrm{e}^{-\tau}$ la *densité volumique de mailles* de réseau, et $\vec{\lambda}$ est la *densité de charge de flexion* au sein du réseau.

En admettant les conjectures suivantes à propos des modules élastiques

$$K_3 = K_0 > 0 \quad ; \quad 0 < K_1 << K_0 \quad ; \quad 0 < K_2 << K_0 \tag{3}$$

l'équation de Newton du réseau (2) devient l'équation fondamentale qui permet d'unifier l'électromagnétisme, la relativité, la gravitation et la physique quantique.

Dans ce réseau cosmologique, seules des *ondes transversales de polarisation circulaire* peuvent se propager, ce qui correspond bien à la propagation de la lumière par des photons. Lorsque l'expansion volumique scalaire du réseau est inférieure à une certaine valeur critique, les *ondes longitudinales* disparaissent au profit de *vibrations longitudinales locales* qui correspondent à des perturbations gravitationnelles.

Les ondes transversales sont courbées par le champ gravitationnel scalaire local (le champ d'expansion volumique local) généré par des singularités topologiques localisées, et peuvent même disparaître dans des *« trous noirs ».*

Si le réseau cosmologique est fini dans l'espace absolu, il peut aussi présenter une expansion ou une contraction cosmologique, avec toutes les propriétés décrites par la cosmologie moderne, comme le *« Big Bang », l'inflation*, un *stade d'accélération de l'expansion* et même un *« Big Crunch »*. L'origine de *l' « énergie sombre »* postulée en astrophysique pour expliquer le stade actuel d'accélération de l'expansion est alors simplement expliquée par l'énergie élastique d'expansion stockée dans le réseau.

4. Les équations de Maxwell et la relativité restreinte

A partir du rotationnel de l'équation de Newton (2)*,* on peut déduire toutes les équations de Maxwell de l'électromagnétisme, y compris les relations constitutives des champs électromagnétiques et les charges et courants électriques. Dans le cadre de ces équations, les *« monopôles magnétiques »* ne peuvent pas exister, mais il pourrait par contre apparaître des *« charges électriques vectorielles ».*

En utilisant l'équation de Newton du réseau cosmologique, on peut aussi calculer l'énergie élastique de distorsion et l'énergie cinétique stockées dans le réseau par les singularités topologiques se mouvant au sein du réseau. On peut alors montrer que les singularités topologiques en boucles satisfont la relativité restreinte. Par exemple, le calcul des énergies d'un électron (qui correspond à l'association d'une boucle de dislocation coin interstitielle avec une boucle de désinclinaison vis) permet d'expliquer simplement le paradoxe de l'énergie électrique de l'électron (voir *(49)* par exemple). Le réseau cosmologique peut en fait être considéré comme un *« aether »* sur la base duquel on peut comprendre la dilatation du temps, la contraction des longueurs, l'expérience de Michelson-Morley et les effets Doppler-Fizeau, et donner aussi une explication très simple du paradoxe des jumeaux de la relativité restreinte.

5. La gravitation, la relativité générale, la cosmologie et l'interaction faible

Avec l'équation (2) de Newton du réseau cosmologique, on a aussi accès aux propriétés gravitationnelles des singularités topologiques en boucles, qui sont plus ou moins identiques aux propriétés gravitationnelles décrites dans la théorie de la gravitation d'Einstein. Par exemple, le temps et les règles d'un observateur local, situé au sein du réseau et lui-même constitué à partir de singularités topologiques du réseau, sont affectés par le champ gravitationnel local (le scalaire d'expansion volumique du réseau) de la même manière qu'en relativité générale. Ceci conduit à ce que les équations de Maxwell sont invariantes pour l'observateur local, qui perçoit alors la vitesse de la lumière comme une constante parfaite, alors qu'un observateur imaginaire qui se situerait en-dehors du réseau dans le référentiel de l'espace absolu mesurerait une vitesse de la lumière dépendant fortement de l'expansion volumique locale du réseau !

Des différences n'apparaissent qu'à très courtes distances des singularités topologiques, conduisant à une différence d'avec la *métrique de Schwarzschild* de la relativité générale à très courte distance des singularités, et à des caractéristiques différentes des rayons associés aux trous noirs : le rayon de la sphère de photons devient égal au rayon de Schwarzschild $R_{Schwarzschild} = 2GM / c^2$, alors que le rayon où le temps de l'observateur devient infini disparaît (en fait il tend vers un rayon nul).

Il apparaît aussi que les boucles de dislocation coin présentent une charge de courbure responsable d'une courbure du réseau, qui peut être décrite comme une *faible masse gravitationnelle de courbure*, qui peut être négative ou positive suivant que la boucle est de nature interstitielle ou lacunaire (correspondant respectivement à de la matière et à de l'antimatière), et qui s'additionne à la masse d'inertie des boucles de dislocation coin pour former leur masse gravitationnelle totale. Un tel concept est complètement nouveau puisqu'il <u>*n'existe pas*</u> en relativité générale, en physique quantique ou dans le modèle standard des particules élémentaires. De plus, il conduit à une surprenante gravité négative *(antigravité)* de la boucle de dislocation coin interstitielle (qui correspond au *neutrino électronique*), alors que toutes les autres boucles de singularités topologiques présentent une gravité normale, y compris la boucle de dislocation coin lacunaire (qui correspond à l'*antineutrino électronique*).

On montre que cette charge de courbure est aussi responsable de plusieurs propriétés inexpliquées en physique, comme la *faible asymétrie existant entre matière et anti-matière* (basées respectivement sur les boucles de dislocation coin interstitielles et lacunaires), la disparition de l'antimatière au cours de l'évolution cosmologique de l'univers et la *« matière sombre »* qui est nécessaire pour expliquer les propriétés gravitationnelles des galaxies (ici, la « matière sombre » correspond à une mer de neutrinos répulsifs dans laquelle baignent les galaxies).

D'autre part, les interactions élastiques à très courtes distances entre une boucle de dislocation coin et une boucle de désinclinaison vis conduisent à un comportement correspondant à l'*interaction faible du modèle standard* des particules élémentaires.

Finalement, une description détaillée du comportement gravitationnel des diverses singularités topologiques pouvant apparaître dans le réseau cosmologique permet de proposer un modèle très satisfaisant de l'*évolution cosmologique de la matière et de l'antimatière* au sein de l'univers. Par exemple, la formation des galaxies peut être attribuée à une *transition de phase par précipitation*, alors que la disparition de l'antimatière peut s'expliquer par un *processus de coalescence* de l'antimatière au sein des galaxies, conduisant à la formation de gigantesques trous noirs au centre des galaxies.

Dans le cadre du réseau cosmologique, des phénomènes comme l'*expansion de Hubble*, le *« redshift » des galaxies* et le *refroidissement du rayonnement cosmologique primordial* trouvent aussi des explications très simples.

6. Les photons, la physique quantique et le spin des particules

Avec la *conjecture* $E = \hbar\omega$ *de quantification de l'énergie*, on commence par montrer que des paquets d'ondes transversales polarisées circulairement présentent toutes les propriétés des *photons* (masse nulle, quantité de mouvement non nulle, non-localité, dualité onde-corpuscule, intrication et décohérence).

Ensuite, avec l'équation de Newton du réseau cosmologique, on montre que des perturbations gravitationnelles dynamiques (des fluctuations de l'expansion volumique locale du réseau) sont toujours associées avec les singularités topologiques mobiles. L'*équation de Schrödinger* de la physique quantique est alors directement déduite de l'équation de Newton, ce qui permet pour la première fois de donner une signification physique simple à la fonction d'onde quantique des singularités topologiques : la fonction d'onde quantique représente *l'amplitude et la phase des fluctuations gravitationnelles locales* associées aux singularités topologiques, ce qui permet d'expliquer simplement l'interprétation probabiliste de la fonction d'onde et le principe d'Heisenberg.

En appliquant l'équation de Newton (2) au cas de deux singularités topologiques couplées, on trouve aussi des explications physiques simples aux notions de *bosons* et *fermions*, et au principe d'exclusion de Pauli.

Finalement, on montre qu'il n'existe pas de solutions statiques à l'équation de Newton dans le cœur des boucles de singularités topologiques, ce qui implique d'en rechercher une solution dynamique. Et la solution dynamique la plus simple est d'imaginer que la boucle tourne sur elle-même en un mouvement quantifié, qui correspond parfaitement à un *spin quantique de la boucle*. L'argument des pionniers de la physique quantique comme quoi ce mouvement n'est pas possible parce que la vitesse équatoriale de rotation serait plus élevée que la vitesse de la lumière est ici balayé par le fait que l'expansion statique locale au voisinage de la boucle est si élevée que c'est la vitesse de la lumière qui devient beaucoup plus grande que la vitesse équatoriale de rotation.

7 Le modèle standard des particules élémentaires et l'interaction forte

Toutes les propriétés décrites jusqu'à présent sont indépendantes de la structure microscopique exacte du réseau 3D, moyennant que le réseau soit isotrope, qu'il satisfasse l'équation de Newton (2), et que les modules élastiques spécifiques obéissent aux relations (3).

Toutefois, si on attribue des *propriétés axiales* à un réseau cubique, résultant en une disposition spéciale des plans du réseau et dans des propriétés spéciales de rotation de ces plans (qu'on a imaginairement « colorés » en rouge, vert et bleu), on peut définir des singularités topologiques en boucles avec des propriétés similaires à toutes les particules élémentaires, *leptons et quarks*, de la première famille du modèle standard, ainsi que des boucles similaires aux *bosons intermédiaires*. On trouve aussi qu'il existe une force d'interaction qui agit entre les boucles correspondant aux quarks, qui est due à des *défauts d'empilement « colorés »* du réseau, et qui présente un comportement asymptotique correspondant à celui de la *force forte du modèle standard* des particules. Et cette force est aussi associée à d'autre boucles « bicolores » présentant des propriétés correpondantes aux *gluons* du modèle standard.

D'autre part, dans le but de tenir compte de l'existence de trois familles de particules dans le modèle standard, on montre qu'une structure plus compliquée des boucles de dislocation coin, sous la forme de doublets de boucles de désinclinaison coin, pourrait très bien expliquer la présence d'au moins *deux familles additionnelles de leptons et de quarks* dans le modèle standard des particules élémentaires. En fait, la structure réelle du réseau est encore une question sujette à discussion, et d'autres structures de réseau sont certainement possibles, ce qui ouvre un champ de recherche très prometteur.

D'autres conséquences plus hypothétiques ont encore été imaginées dans *(28)* dans le cadre du réseau

cosmologique et de ses boucles de singularités topologiques, telles que l'existence :
- de boucles topologiques *supersymétriques*,
- d'une *quatrième famille de leptons et de quarks* dans le modèle standard des particules,
- de certains leptons *exotiques*,
- de fluctuations macroscopiques stables du champ gravitationnel conduisant à une *théorie de multivers* dans un réseau cosmologique infini,
- de quasi-particules stables formées de fluctuations microscopiques du champ gravitationnel, qu'on pourrait appeler des *gravitons*, mais qui n'ont rien à faire avec les gravitons postulés sur la base de la relativité générale.

Conclusion

Il est remarquable que des défauts topologiques en boucles dans un réseau 3D cubique décrit en coordonnées d'Euler dans le cadre d'un référentiel absolu d'espace-temps permettent de retrouver tous les phénomènes naturels, simplement en considérant que :
- la matière est composée de ces défauts topologiques en boucles,
- la charge électrique, la masse d'inertie et la masse gravitationnelle reflètent la géométrie intime de ces diverses singularités topologiques,
- l'électromagnétisme, la relativité et la gravitation reflètent les interactions élastiques à longue portée entre singularités topologiques, convoyées par le réseau qui peut dès lors être considéré comme un « aether » pour les singularités topologiques,
- la force d'interaction faible reflète les interactions à très courte portée entre boucles topologiques,
- la physique quantique reflète les perturbations microscopiques du champ scalaire d'expansion associées aux boucles topologiques, correspondant en fait à des perturbations du champ scalaire de gravitation,
- certaines propriétés axiales d'un réseau 3D cubique « coloré » pourraient être responsables de la zoologie des particules élémentaires du modèle standard,
- la force d'interaction forte pourrait refléter des fautes d'empilement « colorées » du réseau entre les boucles topologiques représentant les quarks dans le réseau « coloré »,
- le réseau cosmologique peut s'expanser ou se contracter dans le référentiel d'espace-temps absolu, ce qui conduit à des explications simples de plusieurs phénomènes inexpliqués de la cosmologie moderne et de l'intriguante « énergie sombre »,
- une charge scalaire de courbure apparaît dans le cas des boucles de dislocation coin, *qui n'existe pas* en relativité générale, ni en physique quantique, ni dans le modèle standard des particules, et qui permet d'expliquer la faible asymétrie entre matière et antimatière, l'apparition de propriétés antigravifiques de la boucle topologique la plus simple (la boucle de dislocation coin interstitielle correspondant au neutrino électronique), ce qui explique à la fois la formation des galaxies et la « matière sombre ».

En fait, la théorie du réseau cosmologique avec ses boucles de singularités topologiques présentée dans ce papier n'est pas encore complète, car il reste plusieurs questions sans réponse, comme par exemple la nature exacte du réseau 3D coloré et sa relation avec le champ de Higgs postulé dans le modèle standard, les mécanismes topologiques exactes de la rotation d'une boucle sur elle-même et les raisons de l'existence d'un spin ½ ou 1 pour cette rotation, et encore d'autres problèmes non résolus.
Mais il apparaît tout de même que cette théorie d'un réseau 3D cubique « coloré » contenant des boucles de singularités topologiques est la première et la seule *(i)* à combiner de manière très simple toutes les théories connues à ce jour, unifiant par là même l'électromagnétisme, la relativité, la gravitation et la physique quantique, *(ii)* à donner une signification physique simple à l'espace-temps local et au comportement quantique des singularités topologiques, et *(iii)* à proposer des explications simples à des problèmes bien connus de la cosmologie moderne et du modèle standard des particules élémentaires.

Remerciements: J'aimerais exprimer ma gratitude à Gianfranco D'Anna et à Daniele Mari pour leurs apports et leurs commentaires très précieux.

REFERENCES

(1) H. F. M. Goenner, « On the History of Unified Field Theories », (http://relativity.livingreviews.org/open?pubNo=lrr-2004-2), Living Reviews in Relativity. 2005.

(2) G. Ross, «Grand Unified Theories ». Westview 1 Press. (ISBN 978-0-8053-6968-7), 1984.

(3) C. Kiefer,« Quantum Gravity ». Oxford University Press. (ISBN 0-19-921252-X), 2007.

(4) C. Rovelli , « Zakopane lectures on loop gravity », arXiv:1102.3660, 2011.

(5) J. Wess and J. Bagger, « Supersymmetry and Supergravity », Princeton University Press, Princeton, (ISBN 0-691-02530-4), 1992.

(6) G. Junker, « Supersymmetric Methods in Quantum and Statistical Physics », Springer-Verlag, (ISBN 978-3642647420),1996.

(7) S. Weinberg, « The Quantum Theory of Fields », Volume 3: Supersymmetry, Cambridge University Press, Cambridge, (ISBN 0-521-66000-9), 1999.

(8) G. L. Kane and Shifman, M., eds., «The Supersymmetric World: The Beginnings of theTheory », World Scientific, Singapore, (ISBN 981-02-4522-X), 2000

(9) G. L. Kane. « Supersymmetry: Unveiling the Ultimate Laws of Nature » Basic Books, New York, (ISBN 0-7382-0489-7), 2001.

(10) S. Duplij, S. Duplii, W. Siegel, J. Bagger (eds.) (2005). « Concise Encyclopedia of Supersymmetry », Springer, Berlin/New York, (Second printing), (ISBN 978-1-4020-1338-6), 2005

(11) M. Green, J. H. Schwarz and E. Witten, « Superstring theory », Cambridge University Press, Vol. 1: Introduction. (ISBN 0-521-35752-7), Vol. 2: Loop amplitudes, anomalies and phenomenology. (ISBN 0-521-35753-5), 1987

(12) J. Polchinski, « String theory », Cambridge University Press, Vol. 1: An Introduction to the Bosonic String, (ISBN 0-521-63303-6), Vol. 2: Superstring Theory and Beyond, (ISBN 0-521-63304-4), 1998

(13) C. V. Johnson, « D-branes », Cambridge University Press, (ISBN 0-521-80912-6), 2003.

(14) B. Zwiebach, «A First Course in String Theory », Cambridge University Press, (ISBN 0-521-83143-1), 2004

(15) K. Becker, M. Becker, and J. Schwarz, « String Theory and M-Theory: A Modern Introduction », Cambridge University Press, (ISBN 0-521-86069-5), 2007.

(16) M. Dine, « Supersymmetry and String Theory: Beyond the Standard Model », Cambridge University Press, (ISBN 0-521-85841-0), 2007.

(17) E. Kiritsis, « String Theory in a Nutshell », Princeton University Press. (ISBN 978-0-691-12230-4), 2007.

(18) R. J. Szabo, « An Introduction to String Theory and D-brane Dynamics », Imperial College Press, (ISBN 978-1-86094-427-7), 2007.

*(19) E. Cremmer, J. Bernard, J. Scherk, "Supergravity theory in eleven dimensions", Physics Letters B **76** (4): 409–412, 1978.*

*(20) E. Bergshoeff, E. Sezgin, P. Townsend, "Supermembranes and eleven-dimensional supergravity", Physics Letters B **189** (1): 75–78, 1987.*

*(21) M. Duff, "M-theory (the theory formerly known as strings)", International Journal of Modern Physics A **11** (32): 6523–41, 1996.*

*(22) M. Duff, "The theory formerly known as strings", Scientific American **278** (2): 64–9, 1998.*

(23) B. Greene, «The Elegant Universe: Superstrings, Hidden Dimensions, and the Quest for the Ultimate Theory », W. W. Norton & Company, (ISBN 978-0393338102), 2010.

(24) D. Griffiths, « Introduction to Quantum Mechanics » Pearson Prentice Hall, (ISBN 978-0-13-111892-8), 2004.

(25) B. Zwiebach, « A First Course in String Theory », Cambridge University Press, (ISBN 978-0-521-88032-9), 2009.

(26) A. Zee, « Quantum Field Theory in a Nutshell », 2nd ed., Princeton University Press, (ISBN 978-0-691-14034-6), 2010.

(27) M. Kaku, «Strings, Conformal Fields, and M-Theory », Springer, 2nd édition, (ISBN 978-0387988924), 2000.

(28) G. Gremaud, « L'Univers est-il un Réseau Newtonien Déformable dont Nous Serions des Singularités Topologiques?», Lausanne, Suisse, 600 pages, (DOI 10.13140/2.1.3557.9521), sur : https://sites.google.com/site/theorieggremaud/ , 2014.

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

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

(31) J.-P. Hirth, «A Brief History of Dislocation Theory», Metallurgical Transactions A, vol. 16A, p. 2085, 1985.

(32) E. Orowan, Z. Phys., vol. 89, p. 605,614 et 634, 1934.

(33) M. Polanyi, Z. Phys., vol.89, p. 660, 1934.

(34) G. I. Taylor, Proc. Roy. Soc. London, vol. A145, p. 362, 1934.

(35) J. M. Burgers, Proc. Kon. Ned. Akad. Weten schap., vol.42, p. 293, 378, 1939.

(36) P. B. Hirsch, R. W. Horne, M. J. Whelan, Phil. Mag., vol. 1, p. 667, 1956.

(37) W. Bollmann, Phys. Rev., vol. 103, p. 1588, 1956.

(38) O. Lehmann, «Flussige Kristalle», Engelman, Leibzig, 1904.

(39) G. Friedel, Ann. Physique, vol. 18, p. 273, 1922.

(40) J.F. Nye, Acta Metall.,vol. 1, p.153, 1953.

(41) 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.

(42) 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.

(43) E. Cartan, C.R. Akad. Sci., 174, p. 593, 1922 & C.R. Akad. Sci., 174, p.734, 1922.

(44) E. Kröner, «Allgemeine Kontinuumstheorie der Versetzungen und Eigenspannungen», Arch. Rat. Mech. Anal., 4, p. 273-313, 1960.

(45) 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.

(46) M. Zorawski, «Théorie mathématique des dislocations», Dunod, Paris, 1967.

(47) S. E. Whittaker, «A History of the Theory of Aether and Electricity», Dover reprint, vol. 1, p. 142, 1951.

(48) A. Unzicker, «What can Physics learn from Continuum Mechanics?», arXiv:gr-qc/0011064, 2000.

(49) R. P. Feynman, The Feynman Lectures on Physics, Addison-Wesly Publ. Company, chapter 28, 1970.