LA DESCRIPTION DE LA COHÉRENCE UNIVERSELLE

La description de la cohérence universelle propose une métaphysique moderne
unifiant les concepts physiques fondamentaux dans un espace unidimensionnel.
Pour découvrir dans quel univers nous vivons !

Dernière modification de cette page en avril 2026

> **Cohérence.** Physique : *« Union étroite entre les éléments constitutifs d'un corps. »* *(Dictionnaire de l'Académie française)*

LA NATURE EST-ELLE COHÉRENTE ? …

… IL SEMBLE QUE OUI, MALGRÉ LES APPARENCES

Les bases de la physique quantique et de la cosmologie sont comme les pièces d'un puzzle, que la description de la cohérence universelle unit en une même image, une même logique générale, allant des plus petites échelles aux plus grandes. Le tableau ainsi constitué montre que l'espace-temps est fondamentalement unidimensionnel.

Cette image du réel semble en concordance avec les observations et les théories consensuelles de la science. Mais elle est inachevée et elle le restera sans doute longtemps, en raison de la difficulté de la tâche : ses approximations et son actualisation demandent un travail rectificatif permanent. Ce qui va de travers n'est cependant pas gravé dans le marbre, tout le monde peut chercher des solutions. La description de la cohérence universelle pourrait résulter d'une élaboration collective, avec des débats, des consensus et des divergences.

POURQUOI ET COMMENT DÉVELOPPER UNE MÉTAPHYSIQUE MODERNE ?



Depuis le début du XX^{e} siècle, la physique devient toujours plus abstraite, alors qu'une représentation réaliste du réel est un besoin basique. Ce niveau d'abstraction en physique est tel que l'interprétation des résultats devient une recherche à part entière. La description de la cohérence universelle s'efforce de répondre à ce besoin : quelles images mentales réalistes se cachent derrière les calculs de la physique ?

En quelque sorte, la physique calcule des coordonnées GPS abstraites et la description de la cohérence universelle dessine les cartes correspondantes du monde concret. En retour, la physique peut se servir de cette description pour trouver de nouvelles pistes de recherche. En retour du retour, la DCU modifie ses cartes… Il y a là la perspective d'une rétroaction aussi constructive que sans fin, avec deux formes complémentaires de logique.

> **La description de la cohérence universelle cherche les principes premiers du réel. Elle relève donc de la métaphysique. Mais elle relève aussi de la science parce qu'elle prédit que tout peut s'expliquer dans le cadre d'un espace fondamentalement unidimensionnel. Cette prédiction est réfutable : si quelque chose ne s'inscrit**

> **définitivement pas dans un espace fondamentalement unidimensionnel, alors la présente description est fausse.**

Elle explique des phénomènes physiques, cosmologiques fondamentaux avec sa logique propre, elle apporte ses réponses propres. Elle comporte peu de mathématiques, mais elle s'appuie sur l'arsenal mathématique de la cosmologie et la mécanique quantique. Il y a là un nouvel outil de compréhension de la nature, qui contribue à répondre aux grandes questions.

La métaphysique moderne développée ici est un nouveau domaine de la connaissance humaine, pour lequel il n'existe actuellement ni formations ni diplômes. Quiconque fait de la métaphysique moderne est un autodidacte, un sans diplôme en métaphysique moderne, quels que soient par ailleurs ses titres et ses compétences. La création d'une filière en métaphysique moderne serait utile à ce domaine particulier, qui se situe en amont de tous les autres et qui est susceptible de les orienter. Mais qui ne se confond pas avec eux. Des formations publiques en métaphysique moderne, avec des diplômes nationaux, restent à créer. Formations et diplômes « comme les autres » d'une métaphysique établie pourraient se mettre progressivement en place, avec une recherche de consensus entre pairs. Les différents domaines de la connaissance sont évolutifs. Par exemple, dans le passé, la psychologie s'est détachée de la philosophie et elle a créé ses propres cursus, ses propres diplômes.

La métaphysique contribue à la recherche d'explications aux questions que la science laisse sans réponses. Ces questions doivent s'exprimer, pour être discutées. En conséquence, l'enseignement de la métaphysique moderne consisterait pour l'essentiel à écouter les doutes, les interrogations des jeunes et des moins jeunes, pour apporter des éléments d'explications, sous des formes adaptées. Par exemple, les ondes radio, c'est quoi ? C'est des couleurs autres que celles que nous connaissons, mais que nos yeux ne sont pas capables de voir. Les couleurs, cependant, n'existent pas objectivement. Notre cerveau interprète comme une couleur une énergie lumineuse qui n'est pas colorée, mais qui excite notre rétine. Est-ce généralisable ? Notre cerveau rend-il intelligible à sa façon tout le réel, qui, objectivement, est peut-être très différent de ce que nous en percevons ?

Cette démarche exploratoire est constructive, parce que le réel ne se limite pas à ce qu'en connait la science, ou à ce qu'en enseignent les programmes scolaires. Elle ouvre de multiples pistes de recherche : à chacun de naviguer dans celles qui le passionnent le plus. Ce qui suppose un environnement social propice à la culture.

Bref, le réel ne se restreint ni à ce que nous en percevons ni à ce que nous en savons.

Passons maintenant à un survol historique,
avant d'entrer dans le vif du sujet

–=oo0oo=–



J'ai deux mots à dire à l'auteur de la description de la cohérence universelle :

ladcu{arobase}orange.fr

Votre adresse mail restera confidentielle

–=oo0oo=–

- Site initialement publié le 3 février 2006 à l'adresse http://perso.wanadoo.fr/coherence/
- Hébergé par *Hostinger*

Deux adresses internet pour accéder à ce site :

www.ladcu.fr

www.ladcu.net

Texte, photos et illustrations par Jean-François Lacroix, sauf indication contraire

© : Site déposé sur *Hugo*

–=oo0oo=–

De nombreux liens de ce site pointent vers Wikipédia pour indiquer des compléments d'information :

Faire un don à Wikipédia

–=oo0oo=–

02 | De la préhistoire jusqu'au début du XXe siècle

Dernière modification de cette page en janvier 2026

Absolument inconsciente, dépourvue de tout projet, la nature multiplie des myriades et des myriades d'interactions plus ou moins différentes les unes des autres, dans des myriades et des myriades d'environnements locaux plus ou moins différents les uns des autres. La quasi-totalité de ces « essais » aveugles ne donne rien de bien vivant, sauf dans certains cas hautement improbables, mais qui se produisent quand même. L'émergence du vivant est ainsi, en quelque sorte, une bataille gagnée par l'improbable sur le probable. Ce qui est improbable, en effet, n'est pas forcément impossible.

À QUOI DEVONS-NOUS NOUS ADAPTER POUR SURVIVRE ?

Avoir vécu sans savoir pourquoi, dans des conditions pour l'essentiel pas choisies. Avoir cherché à mieux vivre, d'une façon ou d'une autre, avoir acquis une expérience, une culture… Quelles valeurs peuvent m'aider dans les moments difficiles ? Qu'est-ce que « réussir sa vie ? » Et puis rien. La lutte pour la vie serait-elle donc aussi fondamentalement vaine que l'est la lutte contre la mort ?

De tels doutes agitent les consciences depuis la nuit des temps. Nous nous interrogeons sur la « construction du monde » pour savoir ce qui conditionne notre propre construction existentielle. Quelle est notre place dans la nature, quel rôle jouer, quelles valeurs adopter, pour mener une vie vivable ?



Il y a 30 000 ans, dans la grotte Chauvet, en Ardèche, en France *(Image : Wikimedia Commons)*

Nous nous adaptons tous à ce que nous considérons comme la nature. Des idées reçues, des réflexions plus ou moins rationnelles, à propos du naturel, du surnaturel, se transmettent de génération en génération. Ces perceptions changent plus ou moins dans l'histoire et selon les régions, modifiant du même coup les métaphysiques dominantes. Elles se traduisent tous les jours par des prises de position aux motivations plus ou moins conscientes, par des actes plus ou moins réfléchis.

> **Nos métaphysiques sont des cartes mentales pas toujours conscientes, qui guident nos choix de vie, comme nos projets de société.**

PRÉHISTOIRE

Imaginons un moment de convivialité préhistorique. Des hommes, des femmes, des enfants sont réunis dans une partie reculée de leur caverne. Des dessins plus ou moins enchevêtrés sont tracés sur la paroi. À la lueur mouvante d'un feu de bois, ces fresques semblent se déformer, montrer des scènes animées.

L’homme-lion de Vogelherd, une statuette en ivoire de mammouth, sculptée il y a 40 000 ans *(Image : Reddit)*
Pour en savoir plus : musée d’Ulm



Quelques figurines passent de main en main. Elles représentent des humains, des animaux ou des êtres hybrides. La pénombre dansante leur confère une sorte de vie surnaturelle. Chacun leur attribue les pouvoirs qu’il imagine. Certains leur demandent avec plus ou moins de ferveur d’exaucer tel ou tel vœu …

En cas de colère entre individus ou entre groupes, les statuettes ennemies sont détruites, pour briser les espoirs dont elles sont chargées. *(Interprétation d’éléments d’un article de Patrick Jean-Baptiste avec Bernadette Arnaud, Science et Avenir de janvier 2004, Les premières idoles.)*

Pendant ce temps, des planchettes oblongues attachées au bout de cordelettes tournoient au-dessus des têtes. Elles produisent le vrombissement caractéristique des rhombes, qui semble être une sorte de vibration surnaturelle. Un membre de la tribu souffre d’une fracture. Ce moment de bonheur et de mysticisme l’aide à endurer ses souffrances. Plus la nourriture est rare en effet, plus il faut prendre de grands risques pour capturer des animaux. C’est aussi un

moment de créativité, pendant lequel, à la fois, s'ébauchent des histoires fantastiques et les mots pour les raconter. Les conteurs imaginent des explications à des interrogations, peut-être du genre de celle-ci :

> **L'eau a ses animaux, la terre a les siens, l'air a les siens. Pourquoi le feu n'a-t-il pas ses animaux ?**

Comme beaucoup d'autres choses, un caillou ne semble rien faire de bien compliqué. Mais chercher à se nourrir, subir le comportement souvent imprévisible de bien des animaux, guérir ou pas de maladies ou de blessures, parfois surviennent des raids de hordes venues on ne sait d'où, il y a aussi les intempéries… L'expérience humaine montre qu'en fait, tout est bien compliqué. D'où viennent toutes ces complications incompréhensibles ? Pourquoi certaines choses sont-elles simples, alors que d'autres sont compliquées ? Seule une volonté surnaturelle peut animer une nature par essence simple et inerte comme un caillou. Voilà l'explication. La nature cache des dieux et des démons fantasques, qu'il est vital d'amadouer. Des principes vitaux semblent à l'œuvre, d'autant plus inquiétants qu'ils demeurent mystérieux, cachés.

Par ailleurs, mourants ou pas, certains ont d'étranges *visions*, qu'ils relatent parfois, semblables à celles rapportées de nos jours par le psychiatre Raymond Moody, entre autres. Au fil du temps, ces éléments se déforment, ils grossissent comme des rumeurs. Ils deviennent bientôt des légendes, des signes de reconnaissance, des modèles explicatifs communs. Fortes de leur culture, les populations humaines essaiment en suivant les rivages ou les cours d'eau. Au fil des implantations et des rapports de forces, les dogmes évoluent, ils oublient certains récits et ils en adoptent d'autres : eux aussi font du chemin. Ils se diversifient et ils tendent à refléter la métaphysique du lieu et du moment.

Les habitations, comme les cimetières des premiers siècles de la sédentarisation, n'indiquent pas de hiérarchisation sociale significative. Cette relative égalité suppose qu'il n'y ait pas encore de représentants des dieux supérieurs au commun des mortels. Mais une hiérarchie se met peu à peu en place, entre ceux qui prétendent disposer du pouvoir de communiquer avec les dieux et le reste de la population.

L'individu adopte les mythes du groupe et, en échange, le groupe adopte

l'individu. Il s'ensuit un conformisme tel que le sacré se rigidifie « au nom des dieux », il devient un pouvoir absolu, vite incarné par un chamane ou un sorcier, plus tard par un prêtre. Personne ne vient donc au secours des victimes de superstitions sanguinaires : les sacrifices, qu'ils soient humains ou animaux, sont considérés comme le prix à payer pour assurer la cohésion de la tribu. Le *sacrifice humain en Mésoamérique* est peut-être une survivance de pratiques qui remontent à la préhistoire.

> [Chez les Mayas] *« Il y a une idée de fragilité inhérente de l'ordre des choses qui implique un soin constant du temps, de l'environnement, des dieux, des forces invisibles, notamment par le biais de sacrifices. »*
> *(Chloé Andrieu dans le magazine Pour la Science, numéro 579 de janvier 2026, page 56)*
> Voilà un exemple qui illustre l'influence des conceptions de la nature sur le comportement collectif.



Piedra del Sol
Selon la légende des soleils, le monde aurait déjà été détruit à quatre reprises. Cinq Aztèques auraient dû sacrifier 400 de leurs frères pour que la Terre et le Soleil puissent s'en alimenter et éviter ainsi une cinquième destruction. *(Wikipédia)*

Paradoxalement, plus la connaissance de la nature avance, plus les sujets d'incompréhension s'accumulent. Imaginons un exemple. Pourquoi les récoltes du village voisin sont-elles toujours plus abondantes que les nôtres ? *« Nous le*

voyons bien et nous ne sommes pas stupides, alors c'est vrai. » Les explications sont faciles à trouver : à chaque phénomène son dieu. *Conquérons donc ce village* pour bénéficier des bienfaits de ses forces occultes.

Puis la hiérarchisation des sociétés humaines s'accompagne de dieux tout-puissants situés au-dessus des humains. Dans les civilisations anciennes, les *divinités de la nature* possèdent une maitrise des phénomènes naturels qui fait défaut aux humains. Par exemple, Poséidon, dieu de la mer dans la Grèce antique, endosse la responsabilité des tremblements de terre. Le panthéon égyptien antique compte pour sa part *plus de 2 000 divinités*. Le surnaturel tire ainsi les ficelles du naturel. Fétus de paille ballotés au gré de puissances lunatiques, maitres et esclaves ne choisissent pas leur sort. Pas plus qu'on ne choisit d'être un homme ou une femme, un roi ou un plébéien, plein de muscles ou plein d'esprit, comme est subie la nécessité de semer pour récolter et de pétrir la farine pour fabriquer du pain. À moins d'entrer en communion avec des mondes mystérieux dans des temples dédiés, pour solliciter des inflexions de son sort. Par exemple un esclave vendu à Apollon est réputé affranchi.

Trop de choses, décidément, restent incompréhensibles. Qui peut expliquer, par exemple, ses pulsions sexuelles ? Quels démons nous hantent ? Pourquoi les saisons existent-elles ? Pourquoi les maladies nous affligent-elles ? Qu'y a-t-il dans le ciel, sous la Terre ? La métaphysique est à l'œuvre. Tout peut s'éclairer, mais à condition de situer chaque évènement dans un monde particulier, où ses causes et ses effets s'enchainent logiquement. Si quelque chose n'est pas explicable dans un monde, il l'est dans un autre monde. Par exemple, la Bible parle du « royaume des cieux », comme d'un univers disjoint de la réalité terre à terre, avec ses propres lois physiques. Plus radicale, la notion de destin enferme chacun dans un monde individuel. Dans cette logique, il n'existe pas plus d'unité humaine qu'il en existe dans la nature. Les textes juridiques romains antiques décrètent ainsi que les esclaves sont des *choses*, tandis qu'en Chine antique, les esclaves se situent *« à mi-chemin entre l'humain et l'objet » (Wikipédia)*. Même le grand Aristote était esclavagiste, croyant que *« l'esclavage est ou bien dû à la nature de l'individu, ou bien à une convention sociale » (Wikipédia)*. *L'esclavage antique* est plus ou moins massif (un peu moins *en Chine* qu'ailleurs), mais il est partout massivement accepté, ses multiples statuts l'adaptent aux lieux et aux époques. À chaque caste son monde et ses explications « de bon sens ». Par

exemple, en Inde, le système naissant des castes héréditaires reflète une tendance à croire en une destinée subie, fixée par la *« pureté » du sang*.

> *« L'histoire et l'ethnologie nous montrent que les dirigeants se donnent toujours comme d'une espèce différente. Ils ne sont jamais issus du "peuple", mais viennent d'ailleurs. »*
> *(Jean-Paul Demoule, Les dix millénaires oubliés qui ont fait l'histoire, Arthème Fayard/Pluriel, 2019, page 123)*

TOUT COMPTE FAIT, DES PRINCIPES UNIFICATEURS EXISTENT QUAND MÊME

Dans l'antiquité, certaines réflexions métaphysiques recherchent une unité originelle, une *monade*.

La philosophie chinoise inscrit les changements du monde entre le *yin et le yang*, chaque phénomène s'accompagne de son opposé. Ce qui apporte une logique générale aux phénomènes et à leurs évolutions.

Quant à *l'astrologie*, elle croit voir du déterminisme dans la marche chaotique du monde : d'après elle, les astres indiquent le destin occulte de chacun.

Puis vient « l'harmonie des sphères célestes » élaborée de Pythagore à Ptolémée… Beaucoup de choses, qui paraissent sans rapports entre elles, sont en fait unies par des influences mutuelles… Et si une cause unique des causes créait tout ce qui existe ? Les catastrophes collectives s'attribuent peut-être à une même colère divine, par exemple, le Déluge, dans l'Ancien Testament. La nature ne se révèlerait donc pas si capricieuse que ça. Ses ficelles seraient en effet tirées par la main d'un dieu unique.

Alors à dieu unique, roi de droit divin unique au pouvoir absolu, sans quoi ce ne serait pas logique dans une nature unie, avec une population elle aussi unie. Dieu existe. La preuve : le pouvoir divin du roi existe. Et s'opposer à cette autorité divine du roi revient à s'opposer à Dieu. Obéissez donc à l'autorité terrestre du moment, manants, et vous respecterez l'Autorité céleste. Les déviances sont bien évidemment l'œuvre du diable et *l'Inquisition* les réprime comme des hérésies.

> *« L'Inquisition n'aurait pu fonctionner sans le consentement global des populations concernées qui souvent, se réjouissent de la punition des hérétiques. »* *(Wikipédia)*

Peu à peu, en Occident, c'est plus un diable unique qu'un dieu unique qui explique de multiples phénomènes. À partir du XIVe siècle, la sorcellerie inspire une telle terreur que les *chasses aux sorcières* font des dizaines de milliers de victimes. À la même époque, *« Lors de la prise de la capitale aztèque Tenochtitlán le 13 aout 1521, Hernán Cortés fait raser la ville et massacrer plus de 100 000 habitants. »* Pourquoi tant de haine ? Auteur d'un autodafé visant la culture maya, en 1562, le moine franciscain Diego de Landa écrit : *« Nous leur trouvâmes un grand nombre de livres dans ces caractères, et, comme ils n'en avaient aucun où il n'y eu de la superstition et des mensonges du démon, nous les leur brûlames tous, ce qu'ils sentirent vivement et leur donna de l'affliction. » (Jean-Marc Bonnet-Bidaud, Les Rêves de l'Origine, pages 130 et 131, Tana éditions, 2025)*



De Ptolémée à Copernic, les sphères célestes passent de divines à mécaniques

Louis Brion de la Tour, in Atlas Général Méthodique, Louis-Charles Desnos, Paris, 1786 (Image : Internet Archive)

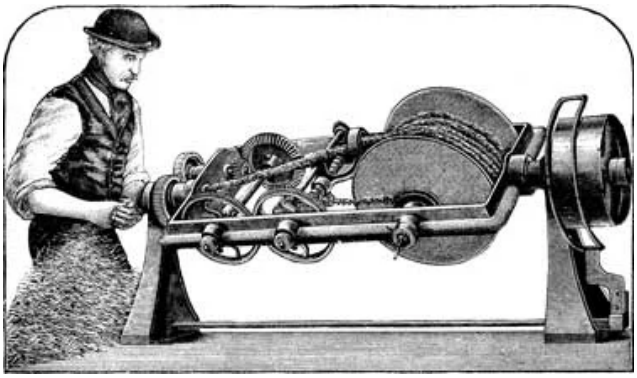
Au XVIIIe siècle, les lumières célestes pâlissent au profit de celles de la raison.

La révolution industrielle et agricole naissante suppose que le salut ne vient pas tant du Ciel que de la Terre. Si la raison connaissait bien la nature, l'homme s'adapterait efficacement à son milieu et le progrès ferait reculer la misère humaine.

VOICI LE XIX^{E} SIÈCLE

Deux siècles ont été nécessaires à la généralisation dans le grand public des conceptions mécanistes de Bruno, Galilée, Descartes, Boyle et Newton, notamment. À la société bourgeoise, qui mécanise la production, correspond une conception quasi mécanique de l'univers. Molécules, ondes et planètes constituent les rouages d'un ensemble fondamentalement prévisible. Ce déterminisme « naturel » de la physique nourrit un déterminisme « social » qui incite à s'inscrire dans des logiques rigides et inéluctables. Le capitalisme conduit ainsi à la prospérité, les guerres ou les révolutions conduisent à la victoire, la vertu conduit au paradis. Les différentes versions de la dialectique marquent pour leur part la recherche d'une cohérence « mécaniste » de la nature. Le surnaturel et le divin ne prennent pas pour autant leur retraite, parce que la rationalité instrumentale de la période cherche surtout à atteindre au mieux des objectifs productifs : elle laisse de côté les grandes questions métaphysiques. Cette lacune de la rationalité laisse la voie libre à toutes sortes de croyances, plus ou moins agressives, comme le *racialisme*.

Machine à torsader le foin



Scientific American no 446 du 19 juillet 1884 (Image : Project Gutenberg)

Pourtant, quelque chose cloche dans ces belles mécaniques. La *loi de Wien*

rend bien compte de la composition spectrale des ultraviolets émis par un four porté à plus de 1 000°C, mais elle ne rend pas compte des infrarouges. Quant à la *loi de Rayleigh-Jeans*, c'est le contraire : elle rend bien compte des infrarouges, mais pas des ultraviolets. De plus, une infinité de modes d'oscillations sont à priori possibles dans le rayonnement « de corps noir » du four, où l'énergie devrait donc être infinie – mais elle ne l'est pas. Pour ne rien arranger, les spectres des atomes affichent des raies et ces discontinuités restent inexpliquées. Max Planck achève alors l'unification de l'électromagnétisme. Sa *loi de rayonnement du corps noir* rend compte des observations. Énergies et fréquences sont des multiples entiers de la *« constante de Planck »* h. La physique retombe ainsi sur ses pattes. Mais la raison garde la tête à l'envers. Les discontinuités quantiques de la nature permettent de résoudre des équations, mais elles correspondent à quoi, quand elles caractérisent des ondes électromagnétiques ? Albert Einstein ouvre alors une perspective de compréhension salutaire, en décrivant ces discontinuités comme les quanta d'énergie des ondes électromagnétiques, qui ne s'appellent pas encore des « photons ». Il offre ainsi une image réaliste des quanta, qui correspondent à des objets physiques, dont le mouvement est ondulatoire. Mais trente ans plus tard, *« l'école de Copenhague »* proclamera que tout ce que nous pouvons dire de la nature se réduit à des interférences d'ondes abstraites de probabilités de présence.

Les sujets de compréhension, mais aussi d'incompréhension s'accumulent. Dépassée par une physique qu'elle ne comprend pas, la *métaphysique* ne joue plus son rôle explicatif, alors elle se marginalise. Même si ses questions restent prégnantes dans la vie psychique de chacun.

03 | Des remparts autoritaires contre l'absurde au XXe siècle

Dernière modification de cette page en février 2026

La physique du XX^{e} siècle reste incapable d'associer une image réaliste de l'univers à ses résultats mathématiques, au grand dam d'Einstein.

> En 1945 Albert Einstein résume l'angoisse métaphysique du siècle, dans une lettre de condoléances :
> *« Nous autres, humains, vivons en majeure partie avec une impression trompeuse de sécurité et un sentiment d'être chez soi dans un environnement physique et humain qui semble familier et digne de confiance. Mais, quand le cours prévu de la vie quotidienne est interrompu, nous nous rendons compte que nous sommes comme des naufragés essayant de garder l'équilibre sur une misérable planche en pleine mer ; nous avons oublié d'où nous venons et nous ignorons vers quel lieu nous dérivons. »*
>
> *(Correspondance, InterÉditions, 1980, page 93)*

DANS L'ABSURDE NAIT UN BESOIN DE REFUGES « SÛRS »

> **La balance mondiale des paiements laisse apparaitre que l'ensemble des pays achète plus qu'il ne vend. De gigantesques patrimoines occultes tirés d'un capitalisme sauvage semi-officiel (trafic d'armes, de drogue, corruption, fraude fiscale…) financent ce déficit en dehors de tout contrôle démocratique.**
>
> *(D'après Jean-François Couvrat et Nicolas Pless, La face cachée de l'économie mondiale, Hatier, 1988)*

Nous expérimentons une facette de la nature à travers ce que nous vivons dans

la société. Beaucoup fondent ainsi leur métaphysique sur leur expérience de la vie. Se sentir paumé dans un monde monstrueux, c'est d'une façon ou d'une autre ressentir la nature comme une marâtre fondamentalement injuste. Plus une situation sociale est chaotique, plus ce sentiment se renforce. Alors, sur quoi tabler pour s'en sortir ? Beaucoup tendent à se raccrocher aux « valeurs » qu'ils croient solides. Par exemple, le nationalisme est une tentative de trouver refuge dans une « forteresse » dont les frontières constitueraient les « remparts ». Qu'elles soient « bourgeoises » ou « ouvrières », des structures politiques aussi rigides, aussi autoritaires que possible, forment des sortes de cohérences politiques artificielles dans un monde où le chaos menacerait de toutes parts. Un ordre politique autoritaire, c'est un ensemble de blockhaus idéalisés défiant localement la tourmente générale. C'est par exemple la « propriété » identitaire de « mes chefs », de « mon peuple », de « nos entreprises »… autant de « propriétés » chimériques illusoires, puisqu'une infime minorité de possédants décide, alors que les autres subissent. Chacun défend plus ou moins âprement « son » blockhaus, où il a ses habitudes et ses repères. Les sectarismes politiques et religieux, le sexisme, l'homophobie, le racisme, les rivalités entre bandes de jeunes… bien des phénomènes sociaux en apparence disparates cachent un dénominateur commun : la défense de bastions ressentis comme sécurisants. Se banalisent ainsi des logiques d'exclusion, d'intolérance. Elles conduisent aux nationalismes, aux intégrismes, aux racismes, aux corporatismes, aux sectes religieuses plus ou moins délirantes. Les replis communautaires, l'influence de lobbys aux vues centrées sur leurs intérêts particuliers gagnent du terrain.

Derrière des expressions d'apparence anodine comme « chacun chez soi » se cache la recherche d'un monde transformé en zoo identitaire, où le « nous contre les autres » est censé préserver une unité aussi « pure » et solide que possible. Où les « purs » peuvent se protéger de quelque chaos social grâce à leur unité. Comment en effet ne pas avoir peur de faire, ou de laisser faire n'importe quoi, en l'absence de limites étroites, de garde-fous, de brides ? Il n'y a rien de plus urgent que de contraindre les individus à adopter tel ou tel comportement : dans le chaos, les mœurs ne peuvent que dériver, devenir déliquescentes. Ceux qui franchissent les limites fixées brouillent les repères, leur répression doit être sans appel. Tout assouplissement politique, tout « laxisme » prend une valeur suicidaire ou criminelle. Toute transformation d'un

ordre social jamais assez rigide et immuable revêt un caractère intolérablement téméraire. Autant s'ouvrir à tous les dangers. Autant aller au champ de bataille avec une armure d'opérette. Autant vouloir vivre dans un monde qui n'existe pas.



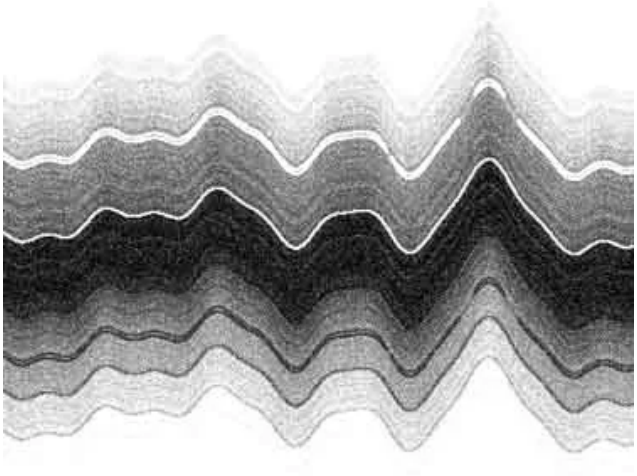
Radar traqueur Rapier remorqué
(U.S. Army – 1974)

Image : Wikimedia Commons

DE TOUTE FAÇON, À QUOI VOULEZ-VOUS RÉFLÉCHIR DANS UN UNIVERS INCOHÉRENT ? C'EST VRAIMENT PERDRE SON TEMPS !

Même les réflexions les plus abouties ne peuvent que s'enliser dans les linéaments de problèmes fondamentalement sans solution parce que la nature est absurde. C'est comme ça et puis c'est tout. On n'y peut rien, *« il n'y a pas d'alternative »*. Se demander si 10 ou 20 % de la population *« mérite »* de posséder plus de la moitié des richesses d'un pays n'a pas de sens. Pas plus que se demander s'il est juste que le salaire des uns soit plus de mille fois supérieur à celui des autres. Les pauvres méritent-ils leur misère ? Pauvre question ! Les uns et les autres se raccrochent aux *« misérables planches en pleine mer »* que leur octroie le hasard, voilà tout.

Lignes moroses



04 | Retour de balancier au XXIe siècle : l'univers est cohérent

Dernière modification de cette page en novembre 2025

À quoi devons-nous nous adapter pour survivre ? À une nature cohérente ou à une nature incohérente ?

Existe-t-il entre les intérêts humains, au moins potentiellement, une cohérence telle qu'une harmonie sociale soit possible ?

Est-ce qu'il y a assez de cohérence dans la nature pour qu'existent des solutions aux intérêts contradictoires des uns et des autres ?

Ou bien est-ce « naturellement » chacun pour soi dans un univers bourré de ruptures et de gouffres infranchissables ?

AU DÉBUT DU XXIE SIÈCLE, *« NOUS N'EN SOMMES PAS ENCORE LÀ »*

Au début du XXIe siècle, la *concurrence* domine le monde. Elle entraine un *dumping* social, salarial, fiscal, environnemental de plus en plus violent, avec en prime une démultiplication des couts de production, due au saccage de la mutualisation des moyens. Elle finance les profits par une *précarisation* croissante des salariés, au nom d'impératifs de compétitivité toujours insuffisants. Il en résulte un management souvent manipulatoire, qui pèse lourdement sur les esprits. Ce contexte génère un stress chronique, il ronge la santé mentale du plus grand nombre.

Adopter une attitude constructive avec les inconditionnels de la concurrence revient à se muer en un inoffensif agneau qui se jette dans la gueule du loup : il n'y a pas d'attitude constructive en retour. C'est chacun pour soi et la concurrence pour tous.

La concurrence entraine une course à la compétitivité aux conséquences

délétères. Mais qui s'y oppose ouvertement ? Un tour d'horizon… Personne, ou presque. Parce que *« nous n'en sommes pas encore là. Le niveau de conscience général est trop faible pour permettre une telle opposition. » « "Je suis leur chef, donc je les suis" est une formule trop souvent constatée »*, écrit le géopolitologue Pascal Boniface dans l'édition 2025 de *Comprendre le monde, page 259, Armand Colin*. Alors, à défaut d'attribuer leur mécontentement aux causes réelles, qui sont occultées, beaucoup l'attribuent à des causes fallacieuses, telles que « l'assistanat », le « laxisme », ou « l'immigration », avec des choix antisociaux comme résultats.

Réduire, voire abolir la concurrence, pour la remplacer par quoi ? Par un renforcement des *services publics*. Pourquoi ne pas en créer des nouveaux dans l'alimentation, l'énergie, le logement ou l'informatique, par exemple, en plus de ceux qui existent déjà ? Nous en donner les moyens est un choix de société : soit nous payons des impôts à un État, soit nous payons des dividendes à des actionnaires. Combinés à une *protection sociale* de haut niveau, les services publics favorisent une coopération générale, c'est-à-dire le contraire de la concurrence. Même s'ils ne sont pas parfaits, ils redistribuent une partie des revenus de telle sorte qu'ils réduisent les inégalités. Ils tendent à augmenter la consommation de masse, la croissance de l'économie réelle, au détriment de la toujours improductive spéculation financière. La richesse spéculative permet en effet de s'engraisser sans produire, par une forte demande d'actifs financiers, qui fait monter des prix déconnectés de l'économie réelle. Cette richesse fictive parasite l'investissement productif, auquel elle fait courir le risque de défauts de paiement catastrophiques.

En première approximation, pour éviter des pesanteurs antidémocratiques, les conseils d'administration des services publics pourraient être composés d'un tiers de représentants des gestionnaires, d'un tiers de représentants des salariés et d'un tiers de représentants des usagers, chaque voix ne compte que pour un, tous sont révocables. Ils décideraient de la façon de satisfaire les besoins sociaux, dans le cadre de l'intérêt général, avec les budgets alloués par leurs ministères respectifs. Cette régulation démocratique de l'économie ne nous libèrerait-elle pas de l'augmentation générale de la précarité ? *« Non, nous n'en sommes pas encore là. Défendons plutôt un système adapté au faible niveau de conscience général. »* Ce qui revient à apposer une même étiquette arbitraire à

tout le monde, à *essentialiser* des consciences pourtant toutes différentes les unes des autres. La diversité des psychologies inclut des gens prêts à coopérer pour gérer la propriété publique dans l'intérêt général. Cette bonne volonté devrait faire boule de neige et gagner le plus grand nombre. L'invisibiliser ou la réprimer parce qu'elle ne se conforme pas au gros bon sens – à la « pédagogie » – censé convenir au « niveau de conscience » général bouche la perspective d'une société plus juste et tue massivement dans l'œuf les rêves de transformation sociale : le remède est pire que le mal. La forme peut être « pédagogique », mais le fond doit rester aussi élevé que possible.

Une prise en main démocratique des leviers de commande de l'économie, une société plus juste, ne sont donc pas d'actualité, même en pensée, puisque *« nous n'en sommes pas encore là »*, alors les gens s'en désintéressent. À défaut de perspectives constructives, le luxe terrestre dans lequel vit une infime minorité apparait à beaucoup comme un idéal à atteindre. D'autres aspirent à ressentir la magnificence céleste promise par leur religion. D'autres encore cherchent un refuge dans un pouvoir autoritaire supposé ordonner le chaos par la force. Certains sombrent dans la drogue, pour en quelque sorte tenter d'anesthésier les difficultés sociales qu'ils ne peuvent pas surmonter. Quant au racisme, au sexisme, à l'homophobie, au fascisme, au harcèlement scolaire, au gangstérisme, à la criminalité, ne sont-ils pas des formes d'adaptation à une concurrence banalisée de tous contre tous, perçue comme inéluctable ? Dominer, ou être dominé, il n'y aurait pas d'autre choix possible. Des projets de société plus réjouissants, bienveillants, existent pourtant, ils restent ouverts aux débats.

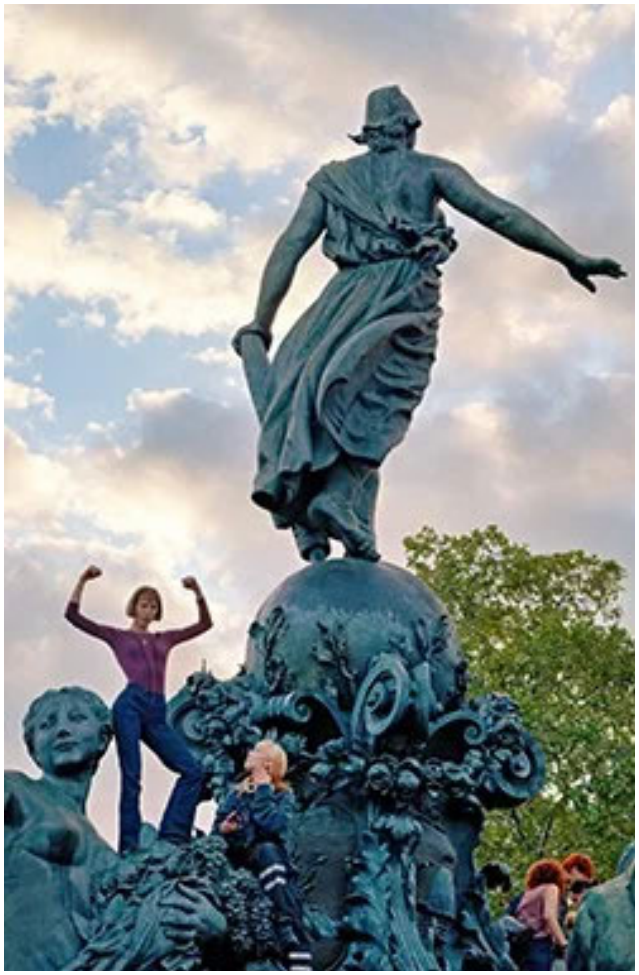
Pourtant, dans un environnement concurrentiel, c'est plutôt la réussite individuelle qui semble aller de l'avant. Elle permet en effet de sortir de la précarité. Mais elle occulte les véritables retombées de cette réussite pour la communauté. Par exemple, beaucoup estiment que la richesse des milliardaires crée des emplois et qu'elle contribue à enrichir les pauvres. Alors que le travail des pauvres *rapporte plus aux milliardaires qu'il leur coute*. Ce sont les pauvres qui enrichissent les milliardaires.

Bien des *régimes autoritaires* soulèvent de fervents espoirs : ils savent ce qu'est la réussite. Peut-être que leur efficacité va s'imposer à la société… Mais leurs

promesses d'amélioration de la qualité de vie tardent désespérément à se concrétiser.

> Au début du XXI^{e} siècle, une incohérence fondamentale, un fossé infranchissable, semblent séparer les besoins sociaux d'un monde plus juste.

LA NATURE EST COHÉRENTE, CE QUI A DES IMPLICATIONS INDIVIDUELLES ET COLLECTIVES



Des présupposés plus ou moins conscients sur la cohérence ou l'absurdité de la nature, de l'univers, prédéterminent notre comportement vis-à-vis des autres, de nos projets, de nos choix de société. Rechercher des solutions ou nous adapter à l'absurde ?

À la Techno Parade en 2023, à Paris

Il est indispensable d'interpréter le monde pour savoir ce que l'on transforme. Les interprétations se mesurent à leur adéquation avec le réel, ce qui les valide, ou pas. Nous pouvons ainsi progresser dans notre compréhension de ce qu'il est nécessaire de faire. C'est une démarche compliquée. Mais croire que l'on peut mener à bien l'une des tâches les plus difficiles qui soient – transformer le monde – en ignorant toute abstraction, toute complexité, n'est qu'une fanfaronnade démagogique. Par exemple, la simplicité de la mystérieuse *« main invisible du marché »* cache la patte du renard dans le poulailler.

Interprétons donc le monde pour chercher comment le transformer. Est-ce que la nature est assez cohérente pour qu'existent des solutions à nos problèmes ? Si la réponse est « oui », alors elle a :

- **Des implications individuelles.** Dans un monde cohérent, la lucidité est la compréhension de la cohérence objective inhérente à toute réalité. Et voir les difficultés telles qu'elles sont réellement aide à chercher des solutions réelles. Une cohérence entre l'individuel et le collectif apparait : il n'y a pas de bonheur individuel dans une société en proie au malheur, le bonheur individuel n'est assuré que dans une société heureuse. Pour s'épanouir, il est nécessaire de contribuer à l'épanouissement des autres.
- **Des implications collectives.** Si la nature est intrinsèquement cohérente, alors une cohérence potentielle existe entre nos besoins sociaux et leur satisfaction. Une forme de cohérence sociale est à inventer, où les intérêts individuels se confondent autant que possible avec l'intérêt général. Tout ne se règlera pas du jour au lendemain, mais beaucoup d'idées, dont celle d'un univers intrinsèquement cohérent, peuvent servir de points de départ.

> **Dans le tissu d'un univers où tout est lié, des chemins mènent à un monde plus juste, d'autres chemins mènent à un monde plus injuste. Puisque nous avons le choix, autant opter pour le meilleur, c'est-à-dire pour un monde plus juste.**

Dans un univers cohérent, beaucoup de problèmes mènent à beaucoup de solutions constructives !

BIENVENUE DANS L'UNIVERS ! 😊

Considérons l'ensemble des éléments constitutifs de l'univers. Il est bien évident qu'ils ne sont pas en permanence assemblés de la même façon. Lorsqu'ils sont groupés d'une certaine façon, ils constituent l'univers dans un certain état, lorsqu'ils le sont d'une autre façon, ils constituent l'univers dans un autre état. Une analogie perceptible à notre échelle humaine : lorsque des molécules d'eau s'unissent d'une certaine façon, elles constituent de la neige ; unies d'une autre façon, elles constituent des gouttes d'eau. L'histoire de l'univers revient ainsi à

l'histoire de combinaisons et de désassemblages successifs d'éléments constitutifs.

UNE UNITÉ FOISONNANTE

Considérons maintenant la structure formée par les éléments constitutifs de l'univers à un instant quelconque t.

À cet instant t, potentiellement, les mêmes éléments constitutifs de l'univers pourraient être agencés différemment. Ils constitueraient alors un autre univers, plus ou moins étrange. À tout moment, les éléments constitutifs de l'univers pourraient se disposer de multiples façons pour constituer de multiples univers potentiels. Comme les matériaux constitutifs d'une maison pourraient potentiellement s'arranger de multiples façons pour constituer de multiples maisons aux formes différentes.

Demandons-nous maintenant comment de multiples univers parallèles pourraient coexister, tout en partageant les mêmes éléments constitutifs. Pourquoi cette interrogation bizarre ? Parce que nous cherchons une cohérence générale de la nature. Nous nous demandons comment tout ce qui est réel appartient à une même unité, à une même interdépendance universelles. Comment toutes les choses peuvent-elles se ramener à une même chose ? Est-ce que quelqu'un voit comment de multiples univers parallèles peuvent à la fois évoluer indépendamment les uns des autres et partager les mêmes « briques » élémentaires ? Comment ces univers peuvent-ils appartenir à une même unité ? Leur existence reste totalement hypothétique. Il s'agit seulement dans l'immédiat de développer une ébauche de logique qui apporte une même unité fondamentale à de multiples combinaisons.

Comment deux particules quelconques peuvent-elles être conjointement à quelques centimètres l'une de l'autre dans un univers et en même temps, être à des millions de kilomètres l'une de l'autre dans un autre univers ? La solution, c'est l'espace, ou plutôt des espaces, qui relient différemment les particules constitutives de chaque univers. Supposons qu'il existe d'autres dimensions spatiales, en plus de nos hauteur / largeur / profondeur. Imaginons une sorte d'arche constituée d'espace, dont un pied chapeaute l'Europe et l'autre pied chapeaute l'Australie. Plus cette arche spatiale est longue et plus la lumière

qu'elle transmet doit franchir une longue distance. Plus les deux régions s'éloignent alors l'une de l'autre. De la même façon, nous voyons une lumière qui se propage dans l'espace dans lequel nous vivons. Si cet espace se contracte ou se dilate localement, bien des choses se rapprochent ou s'éloignent localement les unes des autres. Par contre, si notre espace habituel fait des nœuds dans quelque hyperespace, sans se contracter ou se dilater, la lumière en suit les courbures sans coup férir, et vu de l'intérieur, notre espace nous parait droit, euclidien.

Quant à la tour Eiffel, la voilà maintenant dissoute dans de multiples espaces, de multiples univers parallèles, qui en font ce qu'ils en veulent ! C'est-à-dire que de multiples espaces relient ses constituants de multiples façons – elle possède conjointement autant de formes différentes qu'il existe d'espaces différents les uns des autres.

Rappelons que l'existence des univers parallèles est totalement hypothétique. Il s'agit ici, comme en mathématiques, de partir de prémisses plus ou moins abstraites et de voir où elles nous mènent logiquement.

Avec des espaces différents, de multiples univers parallèles pourraient partager les mêmes particules élémentaires constitutives. Ces espaces particuliers évolueraient indépendamment les uns des autres « autour » de leurs particules communes. Chaque univers serait « direct » par rapport à lui-même, comme notre univers est « direct » par rapport à nous-mêmes, et il serait conjointement « parallèle » par rapport à chaque autre univers.

Il y aurait dans ce partage des mêmes particules une incommensurable économie. La matière constitutive d'un seul univers suffirait en effet à la constitution conjointe d'un grand nombre d'univers équivalents au nôtre ! Et si nous poussions plus loin cette logique ? Si nous faisions avec les particules élémentaires ce que nous avons fait avec les univers ? Une seule particule absolue insécable peut-elle suffire à la constitution de toutes les particules élémentaires ? Il y aurait là encore une belle illustration du principe d'économie. Si nous pouvions franchir cette étape, nous nous demanderions ensuite comment l'univers peut se créer à partir de rien, à partir du néant.

VERS UNE DEUXIÈME ÉTAPE

Comment faire pour que l'espace multiplie une seule particule pour donner de multiples particules ? Attention : *multiplier*, ce n'est pas *diviser*. Il est assez facile de créer des petites particules en fractionnant une grosse particule – en dissolvant une molécule, par exemple. Mais dans ce cas, nous n'aurions rien gagné, nous n'aurions pas progressé dans notre logique. Nous n'aurions qu'échangé un billet de banque contre la même somme en petites coupures. Mais nous, ce que nous voulons faire, c'est un miracle financier. C'est *multiplier* notre billet de banque : créer une liasse à partir d'un seul billet. La multiplication d'un seul univers par des espaces indépendants donne en effet de multiples univers parallèles.

La clé de l'énigme se trouve dans la page suivante :

• LES BOUCLES SPATIALES ►

05 | Les boucles spatiales

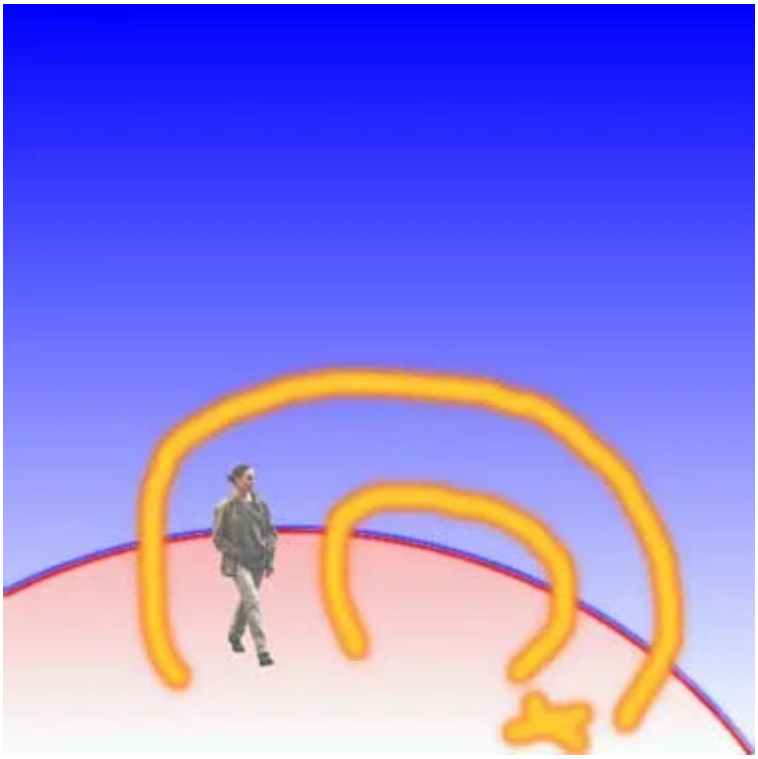
Dernière modification de cette page en novembre 2025

> *« On a découvert récemment que les phénomènes physiques peuvent souvent être décrits de deux façons également valides : on peut aussi bien dire qu'une particule se déplace en boucle fermée dans un cadre immobile donné que soutenir que cette particule reste immobile et que c'est l'espace et le temps qui fluctuent autour d'elle. »*
>
> *(Stephen Hawking, L'Univers dans une coquille de noix, Odile Jacob, 2001, page 149)*

Voici un naufragé perdu sur une petite planète plongée « dans » le néant. Un tunnel spatial s'ouvre droit devant lui, qui semble mener à une autre planète. Peut-être une sortie ! L'infortuné voyageur s'y engouffre. Il fonce droit devant lui… Mais il se retrouve sur la planète de départ. Il vient de subir de l'étrange géométrie d'une boucle spatiale.

COMMENT L'ESPACE PEUT-IL MULTIPLIER UNE SEULE PARTICULE POUR DONNER DE MULTIPLES PARTICULES ?

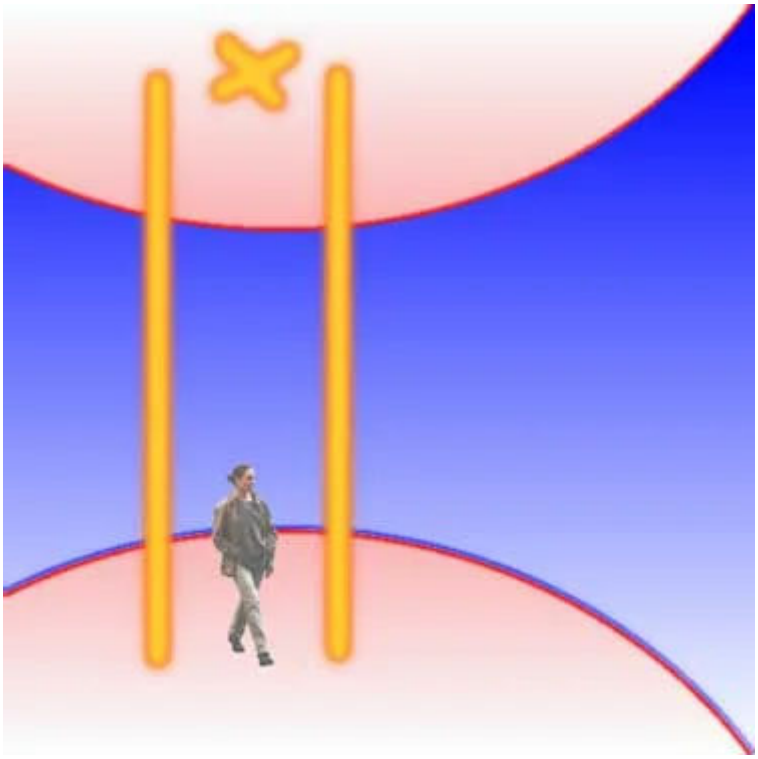
La solution, c'est la boucle spatiale. Examinons ce dessin :



La lumière suit la courbure de l’espace (aperçu intuitif)

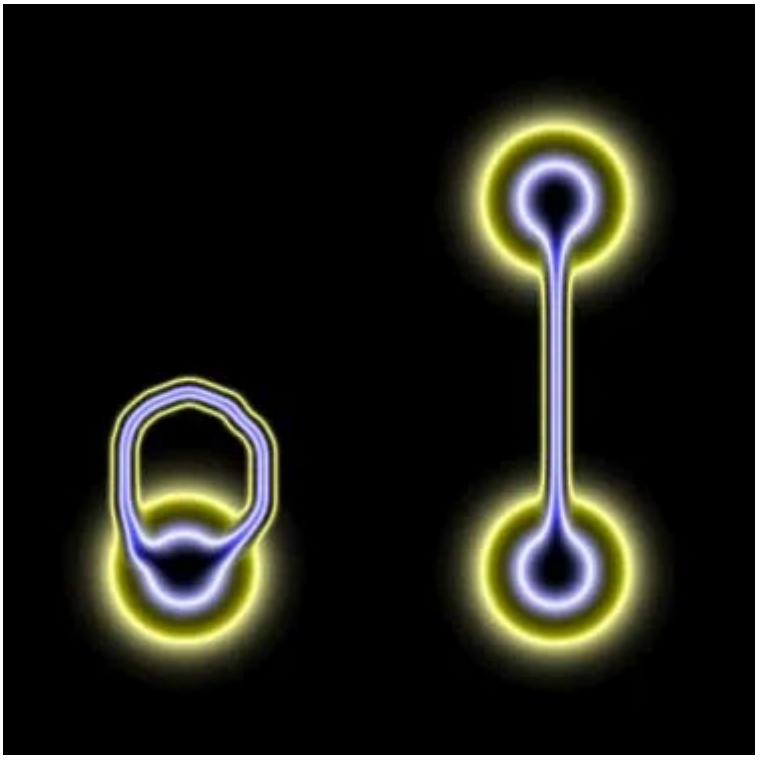
Le regard d’une observatrice située « dans » une boucle spatiale unidimensionnelle suit l’espace. À vrai dire, son regard ne peut pas suivre autre chose, parce qu’au delà de l’espace, c’est nulle part. Le ciel bleu n’est là qu’à titre décoratif.

Elle ne voit pas ce qui se passe à l’extérieur de la boucle. Aucun paysage extérieur ne lui indique que son espace est courbe. Alors, si elle perçoit une croix dessinée sur la particule où elle a les pieds posés, il lui semble que cette croix se situe sur une deuxième particule située verticalement au-dessus de sa tête. Pour elle, une même droite peut passer par le centre de chacune des deux particules, qui paradoxalement, sont la même particule, avec une boucle spatiale courbe.



Rien n’indique à l’observatrice que son espace unidimensionnel est courbe

Bien sûr, si l’observatrice pouvait sortir de son espace, elle n’observerait plus qu’une seule particule, avec une boucle spatiale, et non plus deux particules distinctes séparées par un puits d’espace. Il y a là un phénomène dont certaines caractéristiques changent selon le « point de vue ». La boucle spatiale dédouble la particule dans le relatif, mais pas dans l’absolu : tout dépend du référentiel choisi. Dans l’absolu une particule absolue émet une boucle spatiale, dans le relatif un lien spatial relie deux particules relatives. Un changement de référentiel ne change toutefois pas objectivement la réalité observée. Ce qui se passe dans l’absolu est équivalent à ce qui se passe dans le relatif. Le fait qu’une boucle spatiale dédouble une particule absolue est équivalent au fait qu’un lien spatial relie deux particules relatives.



Cette particule absolue est équivalente à deux particules relatives :
tout dépend du point de vue adopté

> **Nous savons tous qu'une même chose peut posséder des caractéristiques différentes selon les points de vue adoptés. C'est même très banal. Pour prendre un exemple simple, un chat est plus petit qu'un éléphant, et il est conjointement plus grand qu'une puce. Il est à la fois relativement petit et relativement grand, sa taille résulte ici de la superposition de deux points de vue.**
>
> **De la même façon, une particule avec une boucle spatiale est *aussi* deux particules reliées par un lien spatial, tout dépend du point de vue. Chacune de ces deux réalités est aussi réelle que l'autre.**

Mais pour l'instant, une seule particule ne se multiplie qu'en deux particules. Quelques particules de plus produiraient un univers plus riche.

CETTE LOGIQUE VA PLUS LOIN

Imaginons un espace unidimensionnel fermé, qui se divise en deux et seulement deux segments :

- Une boucle spatiale
- Un segment complémentaire

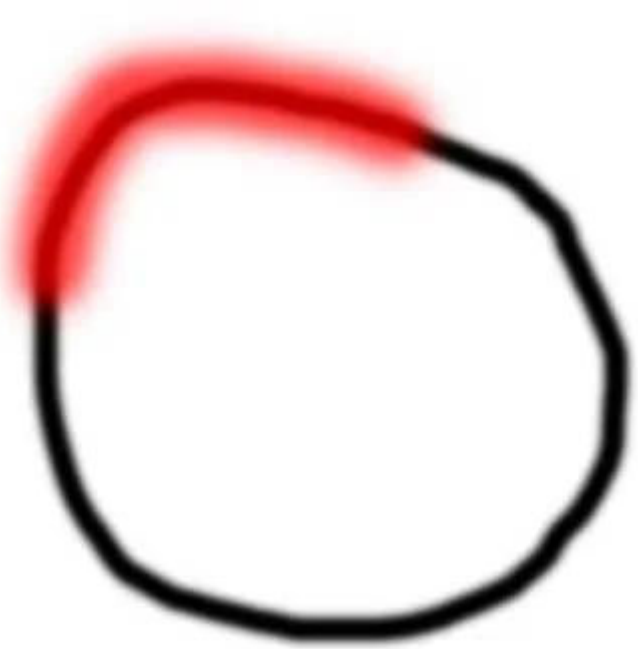


Schéma de principe d’une boucle spatiale et de son segment complémentaire

La boucle spatiale « voit » le segment complémentaire par chacune de ses deux extrémités, dans les deux directions possibles, ce qui dédouble le segment complémentaire, comme une boucle spatiale dédoublait précédemment une même particule. Dans l’absolu un seul segment complémentaire (ici en noir) existe, mais dans le relatif, deux segments complémentaires dédoublés existent.

Pourquoi se limiter à une seule boucle et à un seul segment complémentaires ? De multiples boucles spatiales peuvent coexister et plus ou moins se chevaucher. Chaque boucle se rattache à son segment complémentaire particulier, qu’elle dédouble dans le relatif. C’est-à-dire qu’elle se rattache à ses deux particules relatives dans le relatif. Notons qu’il n’y a pas de différence de

nature entre les liens spatiaux et les particules relatives, seulement une différence de point de vue, de référentiel.



Schéma de principe de boucles spatiales plus ou moins superposées

> Cette figure symbolise six boucles spatiales, chacune avec son espace complémentaire. Chaque espace complémentaire est cependant « vu » deux fois par chaque boucle spatiale, puisque l'une et l'autre extrémité de chaque boucle le voit. Ce n'est donc pas six espaces complémentaires qui sont vus dans le relatif, mais douze. Existent donc ici six boucles spatiales et douze particules relatives unidimensionnelles.

Voilà comment l'espace peut multiplier une seule particule pour donner de multiples particules : en se divisant en de multiples boucles spatiales.

Seul existe dans l'absolu un espace unidimensionnel divisé dans le relatif en boucles spatiales et en segments complémentaires. Ses deux extrémités sont forcément en contact, puisqu'il n'y a entre elles que du néant : il n'y a rien, pas d'espace, ce qui le ferme. Au delà des boucles spatiales, il y a en effet « nulle

part », il n'y a que le néant.

> **La totalité de l'univers revient ainsi à un espace unidimensionnel (la particule absolue unidimensionnelle) dont chaque segment (chaque boucle spatiale) dédouble par chacune de ses deux extrémités un segment complémentaire (une particule relative unidimensionnelle).**
>
> **Chaque boucle spatiale possède en effet deux extrémités, elle « voit » donc deux fois ce qui pour elle est le reste de l'univers. Elle dédouble ainsi la particule absolue (elle-même exceptée) en deux particules relatives.**

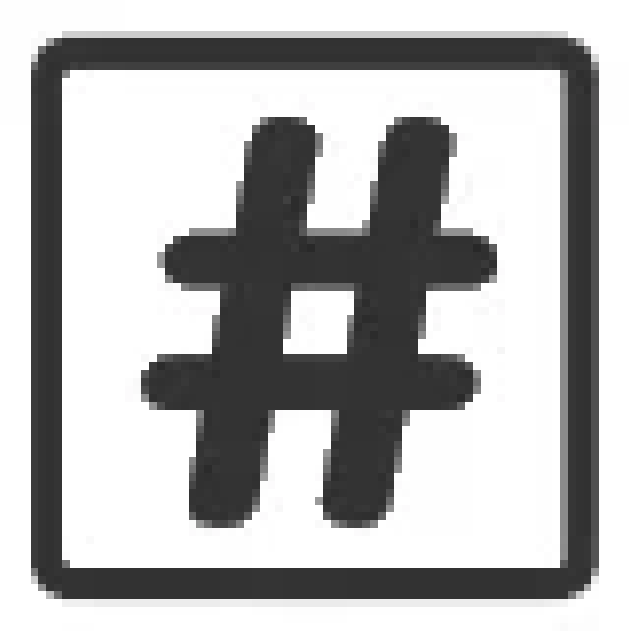
TROIS POINTS DE VUE

La géométrie d'une boucle spatiale peut se considérer depuis trois points de vue équivalents :

- Un point de vue « extérieur » (absolu) à la boucle spatiale
- Un point de vue depuis l'une des extrémités de la boucle
- Un autre point de vue depuis l'autre extrémité de la boucle

Chaque segment « voit » sous deux angles différents deux univers « identiques » : un par chacune de ses deux extrémités. Il dédouble ainsi le reste de l'univers en deux particules relatives. Ce qui ne l'empêche pas de « voir » aussi ce que voient les autres segments, comme des prolongements de sa propre « vision ». Ces prolongements mutuels seront abordés dans une prochaine page.

R = 2# PARTICULES RELATIVES



Plus de deux particules relatives sont évidemment nécessaires pour constituer l'univers. Considérons donc que # boucles spatiales forment l'univers. # est un très grand nombre variable et fini. Chaque boucle spatiale possède deux extrémités : elle dédouble donc deux fois la particule absolue (elle-même exceptée). Ce qui donne 2# particules relatives.

r = 2#, avec :

r (comme relatif) : nombre pair de particules relatives constituant l'univers
2 : chaque boucle spatiale donne deux particules relatives
: nombre de boucles spatiales

Le nombre r de boucles spatiales est une variable. À un instant donné tout dépend des mouvements et des géométries en action. Une seule boucle peut se fractionner en plusieurs boucles, et plusieurs boucles qui se font suite peuvent fusionner en une seule par leur longueur.

Lorsqu'il y a fractionnement, les deux particules initiales se désintègrent en d'autres paires. Lorsqu'il y a fusion de boucles, il y a du même coup fusion de paires. Nous retrouvons là, par exemple, certains aspects du *vide quantique*, où en permanence des paires de particules se créent spontanément et s'annihilent aussitôt après leur création.

DE L'ESPACE PARTOUT

Il y a # boucles spatiales et 2# segments complémentaires dans le relatif. *Il n'y a rien d'autre.*

Il nous faut donc rectifier ce qui a été dessiné précédemment : la « surface » de la particule absolue n'existe pas. Ce n'est qu'une approximation plus facile à appréhender intuitivement qu'un espace purement unidimensionnel. Ce qui existe en réalité, c'est un ensemble de segments de la dimension absolue. À chaque segment correspond une boucle spatiale ou un complément. Les boucles sont voisines, ou séparées par au moins une autre boucle, ou imbriquées en « sous boucles » les unes dans les autres, en totalité ou en partie. Et le tout est en mouvement permanent, la longueur de chaque boucle varie plus ou moins.

D'un tel espace unidimensionnel émerge à chaque instant l'univers, avec toutes ses lois physiques et tous ses changements.

A B C DU MOUVEMENT

Les divisions, les fusions et les variations de longueur des boucles spatiales entrainent de nouvelles répartitions des mouvements dont les boucles sont porteuses. Une particule relative quelconque est en effet en mouvement par rapport à une autre lorsque la longueur de l'espace unidimensionnel qui les sépare varie :

- Ou bien la longueur d'un lien spatial s'allonge, les deux particules relatives correspondantes s'éloignent l'une de l'autre
- Ou bien la longueur d'un lien spatial reste fixe, les deux particules relatives correspondantes restent à égale distance l'une de l'autre
- Ou bien la longueur d'un lien spatial diminue, les deux particules relatives correspondantes s'approchent l'une de l'autre

Ces variations de longueur des boucles spatiales créent trois composantes élémentaires de mouvement :

- Augmentation ou diminution plus ou moins chaotique de la longueur de la boucle (augmentation ou diminution de la distance de deux particules relatives)
- Amplitude du mouvement de la longueur de la boucle (amplitude d'une variation plus ou moins régulière de distance entre deux particules

relatives)

- Fréquence d'un mouvement alternatif d'augmentation et de diminution de la longueur de la boucle (fréquence d'un mouvement alternatif d'augmentation et de diminution de la distance qui sépare deux particules relatives)

Tout ce qui oscille est particulièrement intéressant parce que la physique quantique montre qu'une énergie E est égale à la *constante de Planck* h, multipliée par une fréquence v (E = hv). Les boucles spatiales sont porteuses de multiples formes de mouvement, y compris d'oscillations, donc de multiples formes d'énergie – donc aussi de multiples masses, puisque $E = mc^2$. À ces multiples états des boucles spatiales correspondent de multiples états d'énergie, de multiples champs, de multiples états de la matière.

La propagation du mouvement entre les boucles se superpose en de multiples composantes unidimensionnelles. Elle emprunte de multiples « chemins » plus ou moins probables, qui correspondent à des états intermédiaires successifs.

> **Précisons bien qu'il s'agit ici de mouvements unidimensionnels *de l'espace*, pas de mouvements *dans l'espace*. Les boucles spatiales ne se situent pas dans un espace, puisqu'elles sont elles-mêmes l'espace.**

C'EST LE MOUVEMENT QUI FAIT LE SEGMENT

La « rotation » unidimensionnelle d'une particule relative par rapport au reste de l'univers est équivalente au glissement d'un segment le long de la dimension absolue. Ce segment glissant « voit » progressivement l'univers « sous un autre angle ». Et réciproquement, chacune des # – 1 autres boucles spatiales « voit » progressivement le segment glissant « sous un autre angle ». Autrement dit, la « rotation » d'une particule relative par rapport au reste de l'univers est équivalente au mouvement d'une boucle spatiale qui se déplace dans une direction ou dans l'autre le long de la dimension absolue unidimensionnelle.

En fait, ce n'est pas tant un segment qui glisse qu'un mouvement. Les ondulations d'une corde que l'on agite offrent une analogie partielle à ce glissement du mouvement. Il y a un déplacement des ondulations le long de la corde, pas un déplacement de segments de la corde.

Portées par des variations successives de longueur entre les particules relatives, les ondes spatiales peuvent se croiser, interférer entre elles et plus ou moins se conserver, comme à la surface de l'eau, les vagues peuvent se croiser, interférer entre elles et plus ou moins se conserver.

2# – 1 VARIATIONS SYNCHRONES DE LIENS SPATIAUX

Pour chaque boucle spatiale, munie de ses deux extrémités, il existe non pas un seul univers, mais deux univers. Les mouvements respectifs de ces univers relatifs sont « étrangement synchrones ». Des myriades de particules sont dans des états corrélés, alors qu'elles n'échangent aucune information. Ou alors, si elles échangent de l'information, c'est instantanément, à une vitesse supérieure à celle de la lumière, ce qui à priori est physiquement impossible. Pourtant, le phénomène existe bel et bien. Depuis sa boucle spatiale, l'observatrice, qui est physicienne, décrète que certaines particules sont dans des *états intriqués*…

La moindre variation de longueur d'une seule boucle b se dédouble en effet deux fois pour chaque autre boucle. Il suffit donc d'une infime variation de la longueur d'une boucle spatiale b dans l'absolu pour déclencher « en écho » instantané 2# – 2 dédoublements de ce mouvement dans le relatif. Plus le mouvement de la boucle b elle-même, cela donne 2# – 1 variations synchrones de liens spatiaux dans le relatif.

LES APPARENCES SONT TROMPEUSES

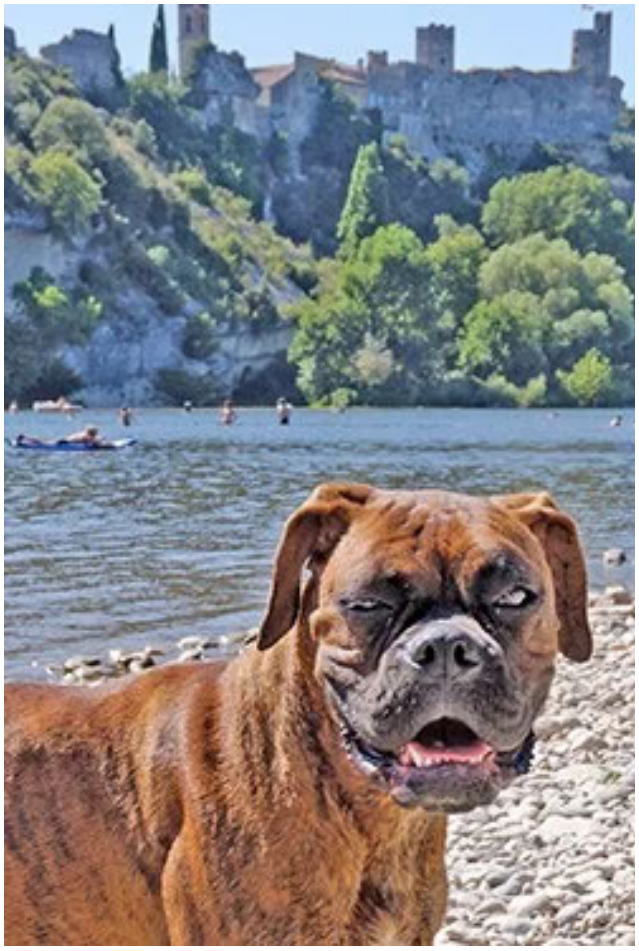
Les espaces unidimensionnels paraissent simples. Mais ils sont compliqués. Nous vivons en effet dans une étrange 3D : dans l'absolu, elle est unidimensionnelle et dépourvue de volume. Mais nous sommes tous formés de cet « espace filaire » et plongés dedans. La lumière suit cet espace, qui nous parait homogène.

Nous pouvons aussi voir simultanément depuis plus d'une boucle spatiale à la fois. De cette superposition géométrique nait notre espace usuel à plus d'une dimension.

06 | La dialectique du néant

Dernière modification de cette page en janvier 2026

> *« Pourquoi il y a plutôt quelque chose que rien ? »*
> *(Gottfried Wilhelm Leibniz, Principes de la nature et de la grâce fondés en raison, 1714)*



Et cette brave bête, que pense-t-elle de la *dialectique* du néant ?

Les particules relatives se ramènent dans l'absolu à une seule particule. Enlevons maintenant la particule : il ne reste plus que le néant.

Mais le néant existe-t-il ? À cette question, la cohérence universelle répond « oui, mais »… Oui, le néant existe, mais cette existence fait exister autre chose que le néant, ce qui donne l'espace et le temps.

S'IL Y A « RIEN », C'EST QU'IL N'Y A PAS VRAIMENT « RIEN », PUISQU'IL Y A TOUT DE MÊME « RIEN »

- Ou bien il y a « quelque chose ». Dans ce cas, manifestement, il n'y a pas de néant, rien n'existe pas.
- Ou bien il n'y a rien et dans ce cas… il y a quand même une existence : « rien », qui existe. Si « rien » n'existe pas, alors il existe nécessairement

quelque chose dans « rien ». Donc, soit « rien » existe, soit quelque chose d'autre que « rien » existe. Le « pur néant » au sens de « pur inexistant » n'existe donc pas. Il est toujours « cassé » par une existence : celle de rien ou celle de quelque chose d'autre que rien.

« Avant » l'existence de l'univers, c'est le néant qui existe. Il y a alors « dans » le néant autre chose que lui-même, qui en « casse » la pureté. C'est l'existence de sa propre existence – l'existence d'autre chose que l'existence du néant.

Il y a ainsi trois choses à ne pas confondre :

- Le néant
- L'existence du néant
- Et une troisième chose : l'existence de l'existence du néant

Oui, lorsqu'il n'y a absolument « rien », il y a le « néant ». Mais il n'y a pas que le néant. Il y a aussi l'existence du néant, et en plus, il y a l'existence de l'existence du néant.

Poursuivons, il y a :

- Le néant
- L'existence du néant
- L'existence de l'existence du néant
- L'existence de l'existence de l'existence du néant
- L'existence de l'existence de l'existence de l'existence du néant
- L'existence de l'existence de l'existence de l'existence de l'existence du néant…

Et ainsi de suite, indéfiniment. Rien de ce qui existe ne peut être dépourvu d'existence. Si le néant existe, alors il possède une existence, qui elle-même possède une existence, qui elle-même…

Bref, le néant n'est pas isolé. Il y a d'une part l'existence du néant : le néant lui-même. Et il y a d'autre part les existences successives de l'existence du néant, c'est-à-dire l'existence d'autre chose que le néant. D'un côté, il y a le néant, de l'autre, il y a sa négation.

LE NÉANT NE POSSÈDE NI ÉTENDUE NI DURÉE…

… DONC SA NÉGATION POSSÈDE UNE ÉTENDUE ET UNE DURÉE

Les existences successives du néant constituent l'univers. L'existence du néant et l'existence des existences successives du néant sont distinctes, mais elles forment ensemble les deux pôles d'une unité *dialectique*. Il y a dialectiquement quelque chose plutôt que rien.

Il y a dans les existences successives du néant quelque chose qui s'étend, qui dure. Il y a ainsi unicité, interdépendance, *dialectique,* entre le néant, l'espace et le temps.

En outre, l'univers ne peut pas se néantiser, puisque sa néantisation entrainerait la création d'une suite d'existences successives du néant. C'est-à-dire que sa néantisation entrainerait la création de… lui-même.

La dialectique du néant est aussi celle du réel !

UNE APORIE RÉSOLUE

Les durées sont au temps ce que les longueurs sont à l'espace. Une durée est l'intervalle entre deux instants, comme une longueur est l'intervalle entre deux points. Mais que penser de l'intervalle temporel situé entre deux instants successifs ? Par définition, il ne s'y passe absolument rien, il n'y a pas d'instants entre les instants, il n'y a que du néant. Or, chacun des instants successifs est lui aussi invariable, puisqu'il est infinitésimal, ponctuel, infiniment bref.

Le temps apparait donc comme une suite d'intervalles invariables situés entre des instants eux aussi invariables. Pour du temps censé s'écouler, on peut espérer mieux. Voilà une belle *aporie* : rien ne se passe entre et pendant des instants invariables. Le temps serait donc figé, du coup l'espace le serait aussi. Sauf à considérer que l'existence de ce néant spatiotemporel possède une existence, qui elle-même possède une existence… Ce qui crée une variation sans fin : le temps possède une existence dialectique et les évènements évoluent.

D’où sort l’univers ? Encore une aporie :
Une réponse telle que : *« l’univers provient d’une fluctuation du vide quantique »* ne fait que transposer la question, sans y répondre. D’où sort le vide quantique ? Cette réponse est une variante athée de *« c’est Dieu qui a créé l’univers »*. Bon d’accord, mais alors, d’où sort Dieu, aussi éternel soit-Il ?

07 | Points et instants

Dernière modification de cette page en novembre 2025

> Une longueur inférieure à la *longueur de Planck*, soit 1,62 x 10^{-35} m, ou une durée inférieure à la *durée de Planck* – la longueur de Planck parcourue à la vitesse de la lumière : 5,39 x 10^{-44} s, provoquent une courbure telle que l'espace-temps ne peut plus être calculé par des lois physiques connues.
>
> Il nous faut donc trouver une *« prégéométrie »*, pour reprendre une notion défendue par physicien John Wheeler. C'est-à-dire un système qui prend le relai de la physique, pour donner une idée de ce qui se passe au-delà de l'horizon microscopique de l'espace-temps.

Tentons donc de décrire les structures les plus élémentaires de l'univers. Nous avons déjà parcouru un certain chemin dans cette direction, puisque nous venons d'atteindre le néant. Difficile de trouver plus élémentaire. Voyons maintenant comment reconstituer à partir du néant les boucles spatiales, les particules relatives… bref, tout l'univers.

LA FORME SPATIOTEMPORELLE DU NÉANT

Quel est l'espace qui n'est pas rien, mais l'est quand même, matérialisant ainsi l'existence du néant ? C'est le point. Il ne possède ni volume ni surface : un bon candidat à la structuration du néant. À condition cependant de le faire passer du statut d'objet géométrique à celui d'objet physique : il n'existe alors plus seulement dans l'abstrait, mais objectivement.

Nous avons donc une unité élémentaire d'espace : le point. Mais qu'en est-il de l'unité élémentaire de temps ?

Le commencement et la fin de tout instant présent sont tous les deux présents, ils sont confondus. Il n'y a pas d'instants entre le commencement et la fin de tout instant présent, bien évidemment. Tout instant présent possède donc une durée nulle et l'éternité n'est constituée que d'une succession d'instants présents d'une durée nulle.

> **Points et instants sont les unités élémentaires d'espace et de temps, issues du néant. Le point est à l'espace ce que l'instant est au temps.**

Espace et temps s'unissent donc par la nullité de leurs propriétés. Paradoxalement, l'univers découle de cette nullité spatiotemporelle, qui existe et c'est pourquoi l'univers existe.

SUCCESSION DE POINTS PRÉSENTS ET D'INSTANTS PRÉSENTS

Le néant existe et cette existence possède elle-même une existence, qui elle-même possède une existence, qui elle-même… Il y a là une suite sans fin. Cette suite, soulignons-le, est la négation du néant, c'est-à-dire qu'elle possède une étendue et une durée. De nouvelles existences des existences du néant se créent en permanence, parce que rien ne s'oppose à la négation du néant. Chacune de ces existences successives est une unité d'espace-temps élémentaire ; points et instants sont la réalité physique des existences successives du néant : il se crée un point de plus à chaque instant de plus. La suite de points s'allonge à chaque instant supplémentaire, c'est-à-dire que, dans l'absolu, la longueur de l'univers augmente. Et conjointement, la suite d'instants s'allonge, c'est-à-dire que l'âge de l'univers augmente. Ce qui se traduit dans le relatif par une augmentation du volume général de l'univers avec le temps, par une dilatation générale de l'espace-temps cosmique. Ce qui s'observe par *l'expansion de l'univers*.

L'espace est une succession de points, comme le temps est une succession d'instants. Les points se suivent dans l'ordre ou dans l'ordre inverse de leur création. Chaque point se distingue ainsi des autres par son âge, par sa position dans la suite.

Par ailleurs, les points ne peuvent pas se néantiser, ils ne peuvent pas disparaitre en dehors de l'espace, c'est-à-dire « nulle part », comme les instants ne peuvent pas disparaitre en dehors du temps, c'est-à-dire « jamais ». Espace et temps se conservent parce qu'ils ne peuvent pas faire autrement.

Les boucles spatiales possèdent deux extrémités : leur longueur minimale est nécessairement de deux points au moins. Une longueur quelconque ne peut donc exister que si elle est au moins égale à deux points. Par contre, une longueur d'au moins trois points peut varier de moins un point.

Dans l'absolu, l'espace est unidimensionnel comme l'est le temps. Une symétrie existe ainsi entre l'espace et le temps, plus grande que le laisse supposer l'espace-temps, tel qu'il nous apparait dans le relatif**.**

> Pourquoi l'espace a visiblement une longueur, alors que l'instant présent est visiblement ponctuel ? Parce que seuls des instants présents se créent et **ils restent présents**. Chaque point d'espace s'unit à un point de temps présent. C'est ce qui explique que la suite de points spatiaux reste présente. Si ce n'était pas le cas, l'espace serait aussi fugace que le temps, très vite englouti dans le passé. Seul le dernier point créé serait présent, tous les autres seraient passés, non présents, ils disparaitraient donc comme le passé lui-même – ce qui est en contradiction avec l'observation.

Mais alors, qu'est-ce que le passé et qu'est-ce que l'avenir ? D'une part, tous les points et tous les instants sont présents. D'autre part, il se crée un point de plus à chaque instant de plus : le passé c'est moins de points présents qu'actuellement, le futur c'est plus de points présents qu'actuellement. Passé, présent et avenir se distinguent par

leur géométrie respective.

> Pourquoi l’instant présent reste-t-il ponctuel, puisqu’il s’inscrit lui aussi dans une suite ? Pourquoi n’existe-t-il pas une suite d’instants, comme il existe une suite de points ? Parce que seuls des instants présents se créent. Puisqu’ils sont tous présents, ils fusionnent tous en un même instant présent. Il n’y a donc pas de suite temporelle, seulement une suite spatiale.

Pourquoi les points ne fusionnent-ils pas eux aussi en un même point ? Si les points fusionnaient entre eux, il y aurait un avant et un après la fusion. Mais ils existent tous au présent, sans avant et sans après. Ils ne fusionnent donc pas.

Chaque nouvel instant fusionne avec l’instant précédent, il n’y a qu’un seul instant, ce n’est donc pas le temps qui distingue le passé du futur, c’est le nombre de points, qui eux, ne fusionnent pas entre eux. C’est paradoxalement l’espace qui distingue le passé du futur.



Le temps est comme un étrange calendrier dont toutes les pages journalières indiquent un même présent, le 1er janvier de l'an 1, mais une page supplémentaire s'y ajoute chaque jour. Ce qui crée un présent à la fois éternel et spatialement évolutif.
(Image générée par *l'IA Craiyon* en 2025, avec le prompt *« Time is like a strange calendar in which every day is marked as January 1, Year 1, but an extra page is added each day, creating a spatially evolving present »*)

Pourquoi un coureur de fond n'est-il pas simultanément présent sur les lignes de départ et d'arrivée ? Parce qu'au moment de l'arrivée, l'univers n'est pas dans le même état spatial qu'au moment du départ : un nouveau point s'est créé à chaque instant présent supplémentaire. Lorsqu'il atteint la ligne d'arrivée, le coureur de fond, comme le reste de l'univers, a subi une succession de transformations spatiales qui se distinguent les unes des autres, elles le

différencient progressivement de son état tel qu'il était au moment du départ.

> Qu'y avait-il « avant le temps » ? Qu'y aura-t-il « après le temps » ? Il y avait, il y a, il y aura uniquement du présent, qui est consubstantiel au néant, où se crée un point présent de plus à chaque instant présent de plus.

Nous avons vu le principe d'économie prendre une forme spatiale. Il prend maintenant aussi une forme temporelle. Le temps n'est que présent et il n'existe que par l'espace. Difficile d'imaginer un temps plus minimal, plus proche du néant.

Le temps reste présent. Ce qui crée les durées, ce n'est pas le temps, mais l'espace. De cette interdépendance entre l'espace et le temps résulte l'abstrait *continuum espace-temps* de la relativité.

LE PREMIER POINT ET LES SUIVANTS

Considérons maintenant le premier point, au premier instant. Il n'est pas situé dans un quelconque espace, étant donné qu'il est lui-même l'espace. Il serait situé dans l'espace s'il était dans le vide cosmique, par exemple. Mais il est « dans » le néant. Il n'y a ni espace, ni forme, ni existence extérieurs à lui-même. Sans espace extérieur, pas d'extérieur. Il ne possède donc pas de surface, de limite extérieurs. En tant que point, il ne possède pas de volume. Il ne possède donc pas non plus de limite, de surface intérieures. Il est bel et bien le produit du néant.

Un deuxième point se crée au deuxième instant. L'univers change alors considérablement, puisque chacun des deux points possède un « au delà de lui-même », un extérieur qui est l'autre point. De plus, ils possèdent une orientation temporelle, puisque le deuxième point existe après le premier. Ce qui crée du même coup une double orientation spatiale, qui va du point le plus ancien au plus récent et du plus récent au plus ancien.

Puisque ces deux points restent différenciés, c'est qu'une limite les sépare. Or, il se crée un nouveau point à chaque nouvel instant. Il se crée donc à chaque instant une nouvelle limite entre le dernier point créé et l'ensemble des autres

points. Ces points différentiés s'accumulent. Consécutifs ou non, ils constituent des ensembles plus ou moins grands. Apparaissent ainsi les plus ou moins grandes longueurs d'espace.

BOUCLES SPATIALES CONSTITUÉES DE POINTS

La création d'un point de plus à chaque instant de plus crée des repères spatiotemporels (des référentiels) qui permettent de définir plus précisément le mouvement unidimensionnel des boucles spatiales.

Chaque segment de la dimension absolue porte une variation de longueur, c'est-à-dire un mouvement local de particules relatives. Réciproquement, chaque mouvement local de particules relatives délimite la longueur d'une boucle spatiale. En 1D, une onde, c'est au moins deux particules relatives qui s'approchent et s'éloignent périodiquement l'une de l'autre. Il n'y a ainsi de boucles spatiales que parce qu'il y a du mouvement, de l'énergie.

> **Toutes les particules élémentaires possèdent une énergie qui dépend de la fréquence du mouvement d'au moins deux particules relatives, autrement dit de la variation périodique de longueur d'au moins une boucle spatiale.**

Les points sont tous présents, mais chaque nouveau point créé est plus récent que tous ceux qui le précèdent. Une forme de différenciation temporelle les singularise et les ordonne. La suite de points présents va des points les plus anciens vers les plus récents et des plus récents vers les plus anciens.

- Chaque segment de la suite de points peut déplacer son mouvement depuis des points relativement anciens vers des points relativement récents. Chacune de ses deux particules relatives voit alors l'univers « sous un autre angle ». Ce déplacement est équivalent à une rotation en 1D, décrétons-la positive, d'une particule relative autour d'une autre. Chaque particule relative se voit fixe, alors que tout change « autour » d'elle.
- Et réciproquement, chaque segment peut déplacer son mouvement depuis des points relativement récents vers des points relativement anciens. Ce déplacement est lui aussi équivalent à la rotation en 1D, disons négative, d'une particule relative autour d'une autre.

- Les mouvements respectifs de deux segments peuvent se croiser.

Les points constitutifs des segments porteurs d'un mouvement changent, mais ils gardent tous leur ordre dans la suite de points.

UNE BOUCLE SPATIALE UNIVERSELLE

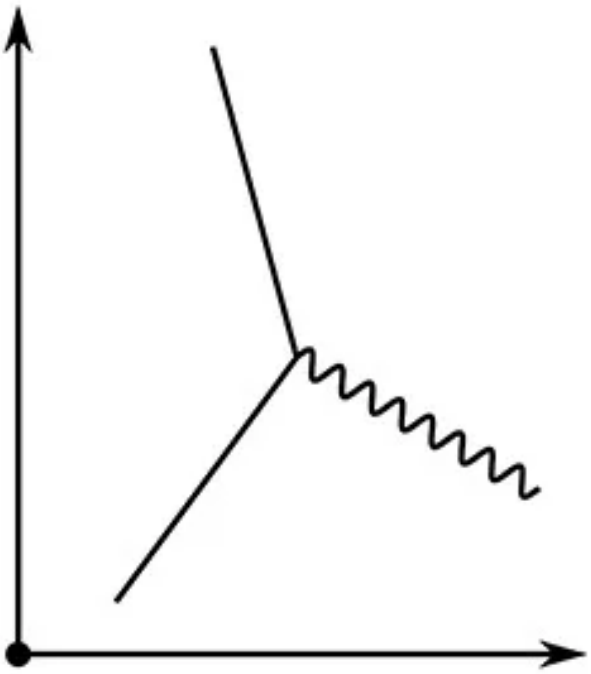
Entre le premier point créé et le dernier, à un instant quelconque, il y a d'une part tous les points intermédiaires et d'autre part… rien. La suite de points constituant la dimension absolue se « situe » en effet « dans » le néant, c'est-à-dire **pas** dans un espace. Les deux points extrêmes sont donc conjointement distants et en contact (quand il n'y a pas d'espace entre deux objets, ces objets sont en contact). Comme sont conjointement distantes et en contact les extrémités d'une ficelle formant une boucle fermée. Qu'une boucle spatiale (un segment) quelconque « regarde » dans la direction des points les plus anciens vers les plus récents ou des plus récents vers les plus anciens, elle « voit » toujours # – 1 boucles : seul change l'ordre dans lequel elle « voit » les autres boucles.

LA FLÈCHE DU TEMPS

L'ensemble de ce qui se passe à un instant quelconque compte plus d'instants (et de points) constitutifs que ce qui s'est passé à un instant antérieur. Il compte aussi moins d'instants (et de points) constitutifs que ce qui se passera à un instant postérieur. L'espace-temps universel s'accroit toujours. Chaque battement d'une horloge n'est ainsi pas tout à fait le même que les battements précédents et suivants, parce que la totalité de l'univers change d'état à chaque instant. Une asymétrie entre le passé et le futur existe donc, elle se traduit par un écoulement unidirectionnel du temps du passé vers le futur.

La création d'un point de plus à chaque instant de plus impose que tout s'ordonne du passé vers l'avenir. Rien ne va dans la direction inverse, parce qu'il n'y a pas de destruction de points et d'instants. Le voyage dans le passé n'est donc pas seulement difficile à concrétiser, il est totalement impossible. Comme est totalement impossible le voyage dans l'avenir, parce qu'il implique l'action de points et d'instants qui n'existent pas encore.

L’ANTIMATIÈRE REMONTE-T-ELLE LE COURS DU TEMPS ?



Éléments de base des diagrammes de Feynman : l’espace en abscisse et le temps en ordonnée, avec une interaction entre particules *(Image et légende : Wikipédia)*

Filmons un aimant qui s’approche d’une surface de limaille de fer : la limaille s’élève et elle se colle à l’aimant. Puis passons le film à l’envers : la limaille opère évidemment le déplacement inverse, ce qui correspond à un renversement des charges électriques et du temps. Or, les charges positives et négatives des particules de matière et d’antimatière sont inversées. L’antimatière se comporte donc comme de la matière qui remonte le cours du temps et elle se représente comme telle dans les diagrammes de Feynman. Mais il ne s’agit là que d’une abstraction mathématique. La réalité physique, c’est un point de plus à chaque instant de plus pour tout le monde. Ce qui distingue la matière et l’antimatière s’explique donc autrement que par un renversement du temps. Nous en reparlerons plus loin.

UNE FONCTION D’ONDE QUI S’APPLIQUE À L’UNIVERS

Une *fonction d’onde* représente mathématiquement l’état d’un système quantique. Il s’agit d’une onde de probabilité qui indique les résultats possibles d’une mesure. Elle sert principalement à calculer le comportement des particules dans leurs *champs quantiques* respectifs.

En 1967, les physiciens John Archibald Wheeler et Bryce DeWitt partent de

l'idée que l'univers évolue dans des états plus ou moins probables, comme le font les champs quantiques. Ils en arrivent à une étonnante *fonction d'onde de l'espace-temps*, où le temps est un effet émergeant, non la cause, des *états superposés* de l'univers. Autrement dit, un univers fondamentalement sans temps ferait tourner les aiguilles des horloges. Entre le début et la fin d'une durée en effet, les horloges ne traversent qu'une suite d'instants présents. Quelles que soient ses distorsions relativistes, le temps n'est que présent ; le passé et l'avenir sont respectivement un état présent de l'univers qui n'existe plus ou qui n'existe pas encore. D'une certaine façon, un tel temps, dépourvu de passé et d'avenir – mais pas de mémoire présente cependant, n'existe pas. D'ailleurs, en mécanique quantique, le temps n'est pas une *observable*, ce n'est pas celui des phénomènes eux-mêmes, mais celui d'interactions probabilistes entre les phénomènes.

Un *« temps cosmique »* existe pourtant, dont la mesure permet d'attribuer un âge à l'univers, d'environ *13,8 milliards d'années*, combiné à une évolution de la *géométrie générale* de l'univers. Ce temps global semble la résultante de tous les *temps propres* locaux et relatifs, qui apparaissent comme autant d'états quantiques superposés.

Dans les années 1980-1990, les recherches autour de la *gravitation quantique à boucles* développent l'équation de Wheeler-DeWitt et lui trouvent des solutions, notamment des lignes de champs gravitationnels fermées. D'après *Wikipédia* *« La plus simple est déterminée par une unique boucle du champ gravitationnel, qui représente un univers constitué d'un filament d'espace et de rien d'autre. Pour représenter notre monde, il suffit de superposer un grand nombre de solutions constituées chacune d'une seule boucle, obtenant ainsi un « tissu » formé d'un nombre immense mais fini de boucles. »* Un *espace-temps granulaire* émerge de ce champ gravitationnel quantique.

EN BREF

Ce n'est pas une quantité de temps qui fait avancer le temps, parce que cette quantité est toujours égale à un seul instant présent, universel. Ce qui fait avancer le temps, c'est une quantité d'espace, qui augmente d'un point présent de plus à chaque instant présent de plus.

L’espace n’est pas aussi fugace que le temps parce que tous les points restent présents.

08 | Les prolongements mutuels des boucles spatiales

Dernière modification de cette page en novembre 2025

> **Nous venons d'explorer un univers dont l'unicité absolue sous-tend l'interdépendance, la cohérence des éléments constitutifs. Mais il ne ressemble à rien de tangible.**
>
> # boucles spatiales dans l'absolu, avec une particule relative à chaque extrémité de chaque boucle, cela donne 2# particules relatives. Alors, est-ce que l'univers est un [agglomérat de # particules relatives] relié par # liens spatiaux à un autre [agglomérat de # particules relatives] ? L'observation directe de l'univers permet de répondre par la négative. Nous n'observons en effet pas une énorme chose spatialement reliée à une autre énorme chose.
>
> **Comment allons-nous donc nous tirer d'affaire ? Qui a une idée ? Personne ? Pourtant, une solution existe.**

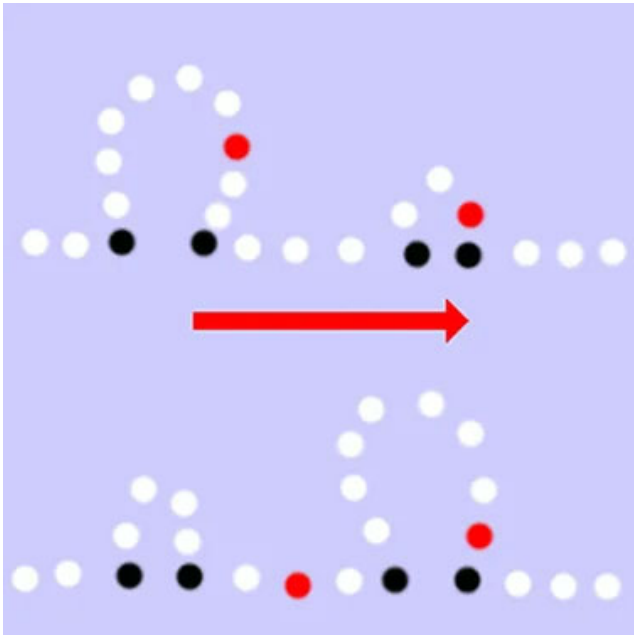
DE LA LONGUEUR ET SEULEMENT DE LA LONGUEUR

Les boucles spatiales ne possèdent en propre qu'un espace unidimensionnel. Elles ne connaissent que la longueur. Leurs espaces peuvent s'additionner lorsqu'ils sont en contact direct ou indirect, mais uniquement dans le sens de la longueur. Les « filaments » des boucles se combinent sans aucun vide entre eux, mais rien ne peut traverser une largeur qu'ils n'ont pas : tout passe par les extrémités. Ils sont les segments relatifs d'un seul lien spatial absolu.

Imaginons que seules deux boucles spatiales constituent l'univers. Supposons aussi que leur longueur cumulée soit inférieure (en nombre de points constitutifs) à la longueur totale de la suite de points. Elles peuvent glisser le long de la dimension absolue et même se traverser. Lorsqu'elles se traversent, leurs

longueurs et leurs mouvements respectifs se superposent. Elles peuvent aussi se faire directement suite, sans qu'aucun point ne les sépare.

Lorsqu'elles ne se font pas directement suite, des points les séparent. Prenons ce dernier cas. Une boucle diminue sa longueur, par exemple de cinq points. Ces cinq points peuvent augmenter l'écart qui sépare les deux boucles. Mais cet écart peut aussi rester inchangé, tandis que la longueur de l'autre boucle augmente de cinq points. Il y a alors un glissement des points qui séparent les deux boucles. Finalement, elles peuvent émettre ou recevoir de la longueur, quelle que soit la distance qui les sépare. Qu'elles soient immédiatement voisines ou qu'elles n'y soient pas ne change rien.



Principe d'une interaction entre deux boucles spatiales :

- Flèche rouge : direction d'un déplacement de cinq points de la boucle spatiale de gauche vers la boucle de droite.
- Points rouges : points témoins (10e et 20e en partant de la gauche)
- Points noirs : extrémités des boucles spatiales

Il en va avec deux boucles comme avec # boucles. Même si deux boucles quelconques sont séparées par un grand nombre d'autres boucles, elles peuvent échanger de la longueur et du mouvement exactement comme si elles étaient immédiatement voisines.

PROLONGEMENTS SPATIAUX

Les pieds posés sur une particule relative, un observateur imaginaire situé « dans » une boucle spatiale regarde au-dessus de lui. Son regard suit la courbure de l'espace. Il voit une deuxième particule relative au-dessus de sa

tête. Imaginons maintenant que les particules relatives soient transparentes. Son regard continue de suivre la suite de boucles. Il voit une troisième particule située dans le prolongement de la deuxième. Et ainsi de suite. Rien n'interrompt son regard, il perçoit toutes les variations de son univers unidimensionnel. Comme il y a # boucles spatiales, il y a 2# extrémités, il voit donc 2# particules relatives en perspective.

> **Or, une particule relative, à chacune des deux extrémités de chaque boucle spatiale, c'est le reste de l'univers. C'est-à-dire les # – 1 autres boucles de la dimension absolue.**

Chaque boucle spatiale dédouble ainsi deux fois les # – 1 autres boucles spatiales de l'univers. Chacune de ses deux extrémités se prolonge directement ou indirectement par chacune des # – 1 autres boucles. De plus les boucles sont munies d'une direction, puisque leurs points constitutifs vont du plus ancien au plus récent. Ce que voit l'observateur dans une direction, par l'une des deux extrémités de sa boucle, est distinct et s'ajoute à ce qu'il voit dans l'autre direction, par l'autre extrémité. Les dédoublements ne se confondent pas. Chaque boucle spatiale prolonge donc 2(# – 1) fois les autres boucles, soit 2# – 2 fois. Ajoutons à ces 2# – 2 boucles la boucle de référence où se situe l'observateur, ce qui donne 2# – 1 boucles.

> **Depuis sa boucle spatiale, l'observateur compte donc 2# – 1 liens spatiaux relatifs. Ce phénomène se multiplie autant de fois qu'il y a de boucles, ce qui donne #(2# – 1) liens, soit un total de $2\#^2 - \#$ liens pour l'ensemble de l'univers.**
>
> **(# – 1) + (# – 1) + 1 = 2# – 1**
> soit 2# – 1 liens « visibles »
> depuis **chacune** des # boucles
>
> **$\#(2\# - 1) = 2\#^2 - \#$**
> soit $2\#^2 - \#$ liens « visibles »
> depuis **l'ensemble** des # boucles

 # boucles spatiales dans l'absolu donnent $2\#^2$ – # liens spatiaux en prolongements mutuels dans le relatif.
Reprenons à l'envers ce qui vient d'être écrit :

$$(2\#^2 - \#)1/\#$$

$$\#(2\# - 1)1/\#$$

Du fait des prolongements mutuels, chaque lien spatial se dédouble 2# – 1 fois dans l'ensemble de l'univers.

Ce qui signifie aussi que tout *mouvement* d'une boucle spatiale quelconque se dédouble 2# – 1 fois dans le relatif, dans l'ensemble de l'univers.

Ainsi, lorsqu'un évènement microscopique se produit, par exemple lorsque la longueur d'une boucle augmente de cinq points, il en existe simultanément 2# – 1 copies disséminées partout dans le relatif. Tout évènement microscopique existe ainsi en 2# – 1 exemplaires « synchrones ». Dont les éléments constitutifs dédoublés ne semblent pas forcément assemblés localement de la même façon, parce qu'ils sont perçus depuis 2# – 1 points de vue, en quelque sorte depuis 2# – 1 angles différents. À notre échelle humaine, les « synchronicités » des petites échelles se mélangent en outre de telle sorte qu'elles échappent à notre observation directe.

Les boucles peuvent être imbriquées en « sous boucles » les unes dans les autres, en totalité ou en partie. Comme il n'y a rien entre les deux extrémités de la suite de points constituant la dimension absolue, ces extrémités sont en contact : une « sous boucle » peut donc faire le « tour de l'univers » et se prolonger par sa « sur boucle ».

LIAISONS

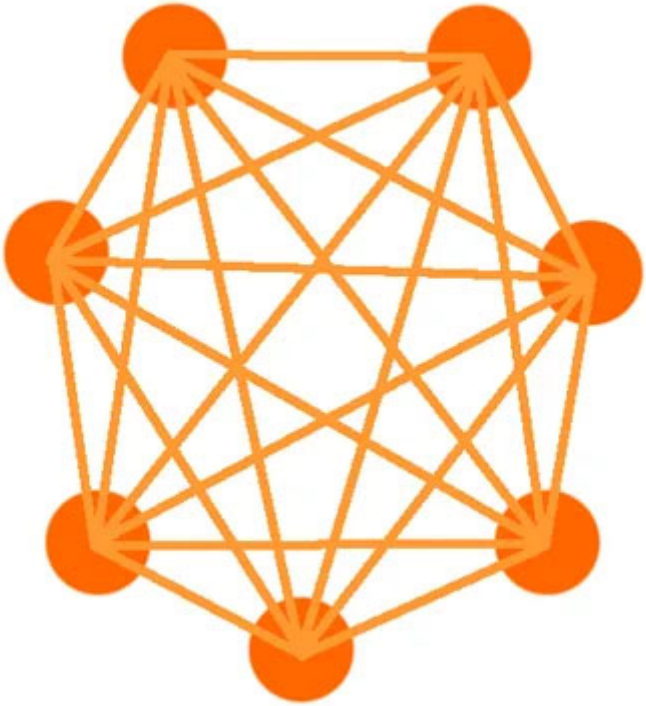
Pour tout nombre n de points distincts les uns des autres, il existe un nombre L de liens si et seulement si chacun des n points est relié une fois et une seule à chaque autre point :

$$(n^2 - n)1/2 = L$$

Par exemple, pour n = 7 :

$$(49 – 7)1/2 = 21$$

Vérifions, relions sept points et comptons les liens :



7 points et 21 liens

Il y a bien 21 liens. Il est possible de multiplier les exemples, même si une multiplication d'exemples ne prouve rien.

UN TEST DE VÉRITÉ

Forts de notre formule $L = (n^2 – n)1/2$, nous allons nous demander si # boucles spatiales qui se prolongent mutuellement dans le relatif permettent à chaque particule relative d'être spatialement reliée à chaque autre particule relative de l'univers. Ou l'univers est-il un [agglomérat de # particules relatives] relié par # liens spatiaux à un autre [agglomérat de # particules relatives] ? Nous venons de tourner autour du pot, cette question est restée en suspens.

Première étape. Pour tout nombre 2# de particules relatives relativement distinctes les unes des autres, il existe un nombre L de liens spatiaux si et seulement si chacune des 2# particules relatives est reliée une fois et une seule à chaque autre particule relative de l'univers :

$$L = [(2\#)^2 - 2\#]1/2$$

$$L = (4\#^2 - 2\#)1/2$$

$$L = [2(2\#^2 - \#)]1/2$$

$$\mathbf{L = 2\#^2 - \# \text{ liens spatiaux}}$$

Deuxième étape. Comme nous l'avons vu plus haut, chaque extrémité de chacune des # boucles spatiales de l'univers se prolonge directement ou indirectement dans le relatif par les # – 1 autres boucles. Chaque boucle spatiale compte deux extrémités, elle se prolonge donc par :

$$2(\# - 1) = 2\# - 2 \text{ boucles}$$

À ces 2# – 2 boucles en prolongement s'ajoute la boucle elle-même, ce qui donne un ensemble de 2# – 1 boucles.

Et il y a autant d'ensembles de 2# – 1 boucles en prolongement qu'il y a de boucles. Soit au total (appelons ce total I) $I = \#(2\# - 1) = 2\#^2 - \#$ liens spatiaux.

$$\mathbf{I = 2\#^2 - \# \text{ liens spatiaux}}$$

$$\mathbf{L = I}$$

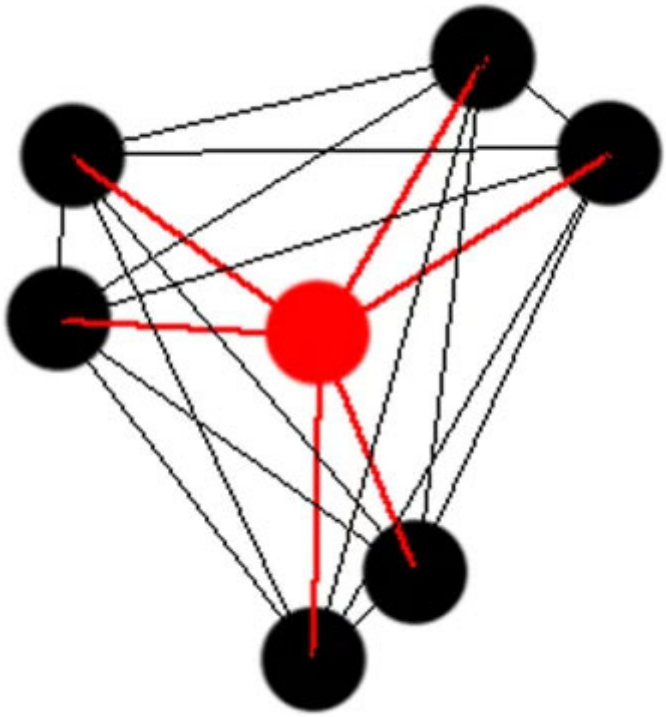
CQFD

> **Un lien spatial relie donc bien chacune des particules relatives de l'univers à chaque autre particule relative. L'univers n'est pas un [agglomérat de # particules relatives] spatialement relié par # liens spatiaux à un**

> **autre [agglomérat de # particules relatives].**

2# ESPACES

Chaque particule relative se relie donc spatialement à chaque autre particule relative de l'univers. De son propre « point de vue », elle se situe au « centre » de l'ensemble des autres particules relatives de l'univers.



Chaque lien spatial se prolonge directement ou non par tous les autres. Ce qui implique que chacune de ses deux particules relatives est au « centre » des 2# – 2 autres particules relatives.

RÉCAPITULATIF

Pour l'ensemble de l'univers :

- # boucles spatiales dans l'absolu
- 2# particules relatives dans le relatif
- $2\#^2$ – # liens spatiaux dans le relatif

Chaque lien spatial se relie à 2# – 2 autres liens spatiaux et il se dédouble 2# – 1

fois.

DÉTERMINISME ? NON, ENTROPIE

Voici le déterminisme de Laplace :

> *« Nous devons donc envisager l'état présent de l'univers, comme l'effet de son état antérieur, et comme la cause de celui qui va suivre. Une intelligence qui, pour un instant donné, connaitrait toutes les forces dont la nature est animée, et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome : rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir comme le passé, serait présent à ses yeux. »*
>
> *Essai philosophique sur les probabilités (1814)*

L'univers serait-il donc une horloge dont il suffirait de connaitre tous les rouages pour calculer tous les numéros gagnants du loto ? Que nenni ! Un point de plus se crée à chaque instant de plus, ce qui signifie que le « démon de Laplace » doit recommencer ses calculs à chaque instant, à chaque « rouage » supplémentaire. Alors, bon courage pour prédire le numéro gagnant du loto au tirage de la semaine prochaine. C'est aussi ce qui explique l'imprévisibilité du hasard dans le microcosme : chaque particule change d'environnement, d'état, à chaque instant. Seules des statistiques regroupant un plus ou moins grand nombre de particules sur une plus ou moins longue durée donnent des moyennes prévisibles.

Chaque point supplémentaire se dédouble en effet 2# – 1 fois à chaque instant et ce mouvement se propage 2# – 1 fois : la création de chaque point a de grandes conséquences. Il y a là un chaos déterministe, où les moindres modifications des conditions initiales provoquent des variations importantes de l'état du système.

En quelque sorte, un nouvel univers se crée à chaque instant supplémentaire et

les effets de la création d'un point à venir ne font pas partie de son déterminisme présent. Ce point à venir en effet, n'existe pas encore. Ce qu'est l'univers à un instant quelconque, avec n points constitutifs, ne préfigure pas totalement ce qui se passera l'instant d'après, quand il comptera n + 1 points constitutifs. De guerre lasse, le « démon de Laplace » met cette évolution indéterminée sur le compte d'une augmentation de l'entropie de l'univers :

> D'après *Wikipedia*, l'entropie *« caractérise le niveau de désorganisation, ou d'imprédictibilité du contenu en information d'un système. »* Il s'agit donc d'une grandeur à la fois :
>
> - Objective, lorsqu'elle indique un nombre de configurations des éléments constitutifs d'un système, qui caractérise statistiquement l'état – le « désordre » de ce système.
> - Subjective, lorsqu'elle désigne l'incapacité à obtenir des informations précises sur l'état d'un système.

09 | La localité

Dernière modification de cette page en novembre 2025

Les évènements locaux se dédoublent non localement, ce qui explique certains phénomènes naturels fondamentaux.

> *« Quand plusieurs particules sont traitées dans l'interprétation causale, outre le potentiel classique conventionnel qui agit entre elles, il y a un potentiel quantique qui dépend maintenant de* toutes les particules*. Fait très important, ce potentiel ne décroit pas à mesure qu'augmente la distance entre les particules, si bien que même entre les particules les plus éloignées, il peut exister un lien très fort. Cet aspect, où des phénomènes très distants peuvent avoir une forte influence, est ce qu'on entend par "interaction* non locale*", et se démarque considérablement de la mécanique classique. »*
>
> *(David Bohm, F. David Peat, La conscience et l'univers, Le Rocher, 1990, page 98)*

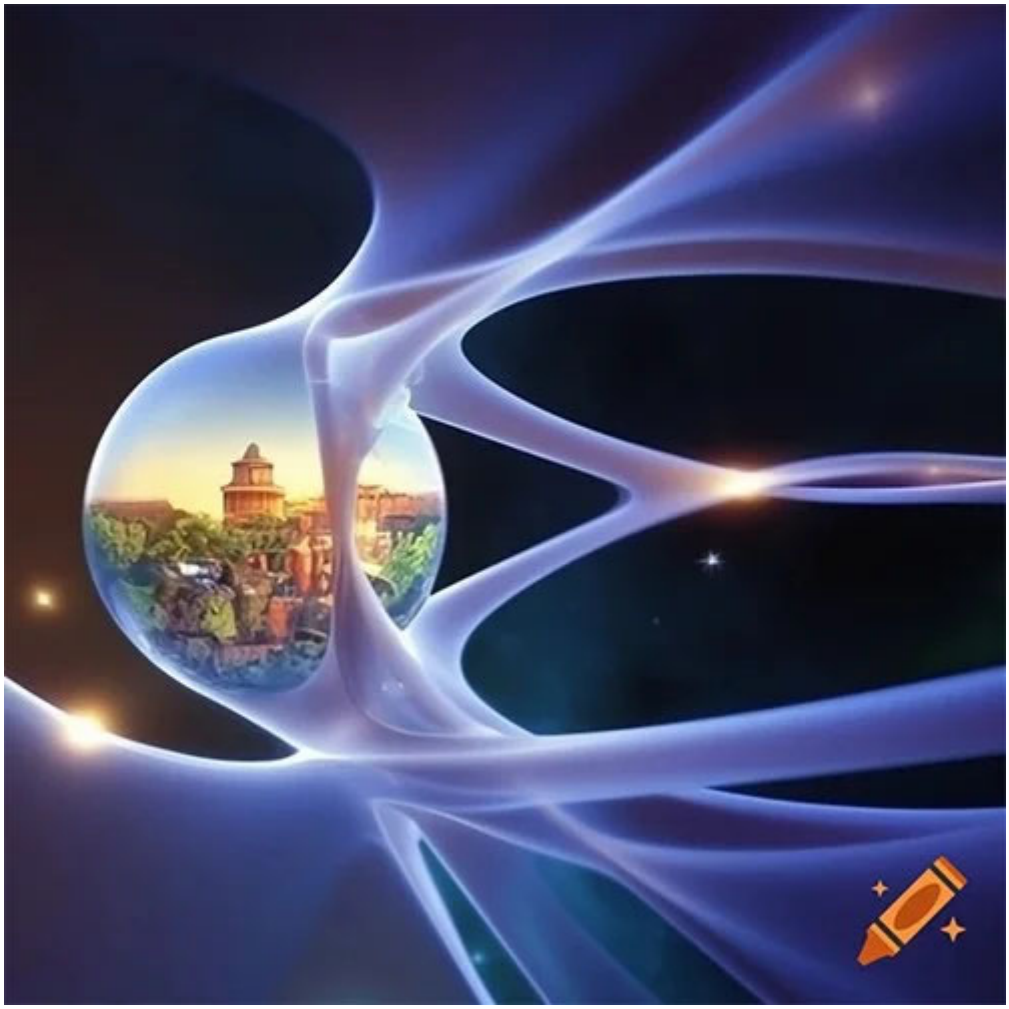


Image générée par l'IA Craiyon en 2025, avec le prompt *« intertwining of locality and non-locality »* (imbrication du local et du non-local).

EXISTENCES PLUS OU MOINS LOINTAINES

La suite de points est une suite d'existences successives. Or « un objet » est différent de « l'existence d'un objet » et ces deux choses ne peuvent pas se transformer l'une en l'autre. Par exemple « la lettre L » est différente de « l'existence de la lettre L » : « la lettre L » ne peut pas se transformer en « l'existence de la lettre L » et réciproquement. L'existence de la lettre L ne peut rien faire pour le mot « cacahuète ». Par contre la lettre L peut faire quelque chose : lalaluèle. Les points et leurs existences ne sont pas interchangeables, ils ne peuvent pas permuter entre eux. La suite est ordonnée. Chaque point se distingue des autres points par sa place, qui correspond à son âge dans la suite, il existe avant ou après chaque autre point.

Constituées de points ordonnés, les # boucles spatiales sont elles aussi ordonnées les unes par rapport aux autres. Chacune d'elles se distingue des autres par l'âge de ses points constitutifs, par sa place dans la suite. Deux boucles spatiales quelconques existent avant ou après d'autres, elles sont plus ou moins proches l'une de l'autre.

La propagation du mouvement est elle aussi ordonnée. Lorsqu'une paire de particules relatives transmet du mouvement à d'autres paires, c'est en priorité aux paires les plus proches, puis aux moins proches. Cette propagation bien anodine a de grandes implications dans le relatif : lorsque nous tapons sur un clou avec un marteau, nous n'écrasons pas tout l'univers. L'universalité reste compatible avec la localité.

> **Qu'est-ce qu'une chose plus ou moins proche d'une autre, dans l'espace ou dans le temps ? Pour l'une des deux choses considérées, l'autre chose existe plus ou moins avant les autres.**

Par exemple la Lune existe avant les étoiles, elle est plus proche de la Terre que les étoiles. Demain existe d'abord, après demain existe ensuite : demain est plus proche qu'après demain.

VIBRATIONS DE CORDES DE GUITARES

À quantités de mouvement et à sections transversales égales, la fréquence d'une corde courte est supérieure à celle d'une corde longue. Il en va de même des liens spatiaux. À quantités de mouvement et à durées égales, les liens relativement courts oscillent un plus grand nombre de fois que les liens relativement longs. Les effets du mouvement sur les liens relativement courts et sur les liens relativement longs sont ainsi les mêmes à une seule différence près : ils sont plus rapides sur les liens courts.

Le résultat, c'est que les effets du mouvement sont plus rapides localement qu'à distance. Lorsque je tape dans un ballon, les distances les plus courtes se situent entre mon pied et le ballon. Je communique donc en priorité du mouvement au ballon, puis à l'air sous la forme d'ondes sonores, etc. L'univers

entier résonnera de proche en proche de ce coup de pied. Mais cet écho se diluera progressivement dans un mouvement général de plus en plus vaste. Pourtant, chacune des particules relatives de mon pied, comme chacune de celles du ballon, est reliée aux 2# – 2 autres particules relatives de l'univers.

> Plus les espaces unidimensionnels s'allongent, plus leurs oscillations ralentissent, ce qui se traduit par des interactions de plus en plus tardives.

COMBINAISONS DE LOCALITÉ ET DE NON-LOCALITÉ

- D'une part chaque boucle spatiale interagit en priorité avec les boucles spatiales les plus proches d'elle dans l'ordre de création des points de la suite.
- D'autre part chaque boucle se dédouble 2# – 1 fois : elle interagit plus ou moins avec les autres boucles de 2# – 2 autres environnements locaux, quelle que soit leur distance.

Le mouvement résulte ainsi de deux sortes d'interactions : les interactions « locales » et « non locales ».

- Les interactions sont locales lorsqu'elles s'exercent entre des boucles directement en contact dans l'ordre ou dans l'ordre inverse de création des points de la suite.
- Elles sont non locales lorsqu'elles s'exercent entre des boucles séparées par au moins une autre boucle. Les boucles spatiales se voient cependant toutes du fait de leurs prolongements mutuels : des mouvements de boucles spatiales peuvent s'échanger, se synchroniser, quelle que soit la distance qui les sépare.

Chaque mouvement est donc à chaque instant une combinaison particulière de localité et de non-localité.

Les liens spatiaux les plus proches dans l'ordre de création des points échangent en priorité des mouvements, des interactions entre eux. Mais cette localité n'interdit pas les échanges entre liens distants, quelle que soit la distance qui les sépare. Alors, quel est l'environnement local de telles structures spatiales

« éclatées » ? Il s'agit de la superposition d'un nombre d'autant plus important d'environnements distants que la structure possède un grand nombre de liens distants. Cette superposition crée des priorités nouvelles dans la propagation du mouvement : les différents environnements interfèrent plus ou moins entre eux.

Or, nous avons vu précédemment qu'un lien spatial relie dans le relatif chacune des 2# particules relatives de l'univers à chaque autre particule relative. Tout mouvement d'une particule relative possède ainsi une composante universelle. Toute variation de longueur d'un lien spatial se répercute en priorité sur les liens les plus proches, mais aussi, à des degrés divers, sur tous les autres liens de l'univers.

Chacune des # boucles spatiales de la dimension absolue se dédouble en effet 2# – 1 fois dans le relatif. Un évènement quelconque se dédouble donc 2# – 1 fois. L'univers le « voit » conjointement sous 2# – 1 angles différents. Nous verrons plus loin qu'à ces angles différents correspondent des « informités » relatives.

> Le principe de moindre action – *« le trajet effectivement suivi par un objet entre deux points donnés est celui qui conduit à une valeur stationnaire de l'action »* *(Wikipédia)* ; par exemple, hors frottements, les énergies cinétiques et potentielles d'un balancier ont une valeur stationnaire. Ce principe apparait ici sous un jour nouveau. Les particules relatives constitutives de tout objet subissent les contraintes de leur environnement local, plus celles de 2# – 2 environnements non locaux. De ces contraintes cumulées résulte un équilibre des trajectoires entre les durées et les longueurs possibles : les trajectoires suivent à chaque instant le chemin de moindre résistance, elles n'ont pas besoin de « connaitre » leur point d'arrivée pour s'y adapter. Aux échelles microscopiques, un grand nombre de trajectoires – rendues plus ou moins erratiques par leurs interactions non locales – se moyennent entre elles aux échelles macroscopiques, où elles donnent des trajectoires déterminées.

LA (NON) SÉPARABILITÉ ET L'INTRICATION

- Les corrélations sont « séparables » lorsqu'elles s'exercent entre des liens spatiaux qui sont chacun le dédoublement d'une boucle spatiale différente. Dans ce cas, ces liens peuvent être porteurs de mouvements différents.
- Tandis que les corrélations sont « non séparables » lorsqu'elles s'exercent entre des liens spatiaux qui sont chacun le dédoublement d'une même boucle spatiale. Dans ce cas, ces liens sont porteurs des mêmes mouvements.

Les particules qui ont en commun des liens spatiaux dédoublant une même boucle spatiale synchronisent instantanément leurs mouvements, quelle que soit la distance qui les sépare. Mais tout mouvement est relatif, les mouvements synchrones n'apparaissent pas nécessairement comme tous identiques. Ils se dispersent dans des environnements plus ou moins différents. Par exemple, l'un se produit dans un objet relativement en mouvement et l'autre dans un objet relativement immobile. C'est pourquoi le fait qu'existent # ensembles synchrones de 2# – 1 liens spatiaux chacun ne se perçoit pas de façon évidente dans la vie de tous les jours.

Contrairement aux apparences, les corrélations non séparables ne se transmettent pas à une vitesse infinie, mais à une vitesse nulle. Aucune distance n'est en effet à franchir pour qu'une boucle spatiale dédoublée se corrèle… avec elle-même. La physique quantique parle de *« l'intrication »* de deux particules dont l'origine est commune ou ayant interagi à un moment donné : ces particules conservent une fonction d'onde de probabilité de présence commune. Elles constituent en totalité ou en partie un objet unique dans l'absolu, quelle que soit la distance qui les sépare dans le relatif. Des « corrélations instantanées » entre leurs états respectifs se créent ainsi. Elles résultent des dédoublements du mouvement des mêmes boucles spatiales.

L'INTRICATION EST-ELLE RÉELLE ?

Pour répondre à cette question, le physicien Alain Aspect et son équipe ont réalisé une *expérience*, à l'Institut d'Optique d'Orsay, en 1982. Deux photons intriqués, dans un état quantique indéterminé, sont séparés et envoyés vers

deux paires de détecteurs, assez éloignées l'une de l'autre pour que les particules n'aient pas le temps d'échanger des interactions à la vitesse indépassable de la lumière, lors de la détection de leur polarisation. L'expérience montre que l'état de l'une des particules augmente la probabilité de trouver l'autre particule dans un *état complémentaire*. Le coefficient de corrélation est tel que les *« inégalités de Bell »* sont violées.

D'autres expériences ont suivi, sur des distances toujours plus grandes entre les particules intriquées, toutes ont confirmé ce résultat, qui viole la localité classique. Deux particules intriquées sont dans tous les états possibles jusqu'à ce que l'un des états de l'une d'entre elles soit détecté, ce qui fixe du même coup un état complémentaire de l'autre particule, quelle que soit la distance qui les sépare. L'intrication est bien réelle.

10 | Le mouvement et l’inertie

Dernière modification de cette page en novembre 2025

> **L’univers n’a d’invariable que sa variabilité. Le mouvement omniprésent des boucles spatiales subit des contraintes qui vont nous mener de la vitesse de la lumière au gyroscope.**

L’UNIVERS RÉDUIT À UNE FUSÉE

Le pilote d’une fusée plongée « dans » le néant pourrait toujours mettre plein gaz, il accélèrerait par rapport à rien, donc il n’y aurait aucun mouvement, aucune accélération. Peut-être ressentirait-il cette accélération parce qu’il serait plaqué contre son siège ? Mais si la fusée n’accélère pas, est-il plaqué contre son siège ?

Oui, mais voilà : un point de plus se crée à chaque instant de plus. Le mouvement d’une partie des particules relatives constitutives des gaz s’approche plus ou moins de la vitesse d’un point de plus par instant, une limite qu’il ne peut pas franchir, parce qu’il ne peut pas dépasser la vitesse de variation de l’univers. Quand le pilote met plein gaz, il émet une énergie d’autant plus freinée qu’elle est puissante : même « dans » le néant, une inertie se ressent. Une résistance s’oppose au mouvement, proportionnelle à l’accélération et à la masse.

LA VITESSE LIMITE D’UN POINT PAR INSTANT

Tout va bien à bord d’un vaisseau spatial qui s’approche de la vitesse d’un point par instant. Sauf que son accélération devient de plus en plus « pénible » pour la nature, elle plafonne de plus en plus. Le vaisseau ne peut en effet pas dépasser la vitesse limite d’un point par instant, parce qu’il ne peut pas varier plus vite que l’univers. Alors, les mouvements particuliers de chacun de ses constituants plafonnent en nombre croissant. Ce qui ralentit le vieillissement global du vaisseau. Vue depuis la Terre, par exemple, une horloge embarquée retarde. Et réciproquement, vues depuis le vaisseau, les horloges terrestres accélèrent.

Néanmoins, le mouvement du vaisseau par rapport à la Terre n'est pas équivalent au mouvement de la Terre par rapport au vaisseau, parce qu'il existe un « point de vue » du reste de l'univers. Pour le reste de l'univers en effet, il n'y a pas d'accélération du mouvement de la Terre pendant le voyage, mais il y a accélération du vaisseau pendant le voyage. Le vaisseau subit donc plus de contraintes spatiales que la Terre, alors son temps propre se dilate, tandis que celui de la Terre reste constant. Il n'y a pas d'incohérence, liée à une équivalence des deux mouvements : à l'atterrissage, le vaisseau est plus jeune que la Terre, qui elle-même serait plus jeune que le vaisseau… Pour en savoir plus, voir la page de Wikipédia expliquant le *« Paradoxe des jumeaux »*.

Dans le même ordre d'idées, *l'espace-temps de Minkowski* compte trois dimensions d'espace et une de temps. Soit deux chemins interplanétaires dans cet espace-temps, un spatialement court et un autre spatialement long. Si une fusée emprunte le chemin spatialement long à une vitesse relativiste, son temps se dilate notablement par rapport à un référentiel galiléen. Cette dilatation est proportionnelle à la longueur du chemin parcouru. Plus la fusée franchit à un long chemin à une vitesse relativiste, plus son temps propre, son horloge embarquée, ralentissent, plus, de son point de vue, le temps raccourcit. Son chemin spatialement long devient alors temporellement le plus court des deux chemins, il constitue donc en définitive un raccourci : dans ce cas, c'est paradoxalement le chemin spatialement le plus long qui est temporellement le plus court dans un continuum espace-temps à quatre dimensions.

La vitesse limite d'un point par instant reste constante, quelles que soient les vitesses relatives des référentiels, ce qui mène à la cinématique relativiste. Elle évoque fortement la vitesse limite de la lumière dans le vide.

> Un point de plus se crée à chaque instant de plus. L'espace de l'univers évolue donc globalement à la vitesse de la lumière. Ce temps global de l'univers, qui évolue à la vitesse de la lumière, ne peut être que fixe, présent, comme celui des photons. Ce qui correspond à un espace-temps toujours présent. Admettons donc que la vitesse limite d'un

point par instant soit bien la vitesse limite de la lumière dans le vide. Comme nous l'avons vu à la page *« Points et instants »*, l'espace-temps est toujours présent, puisque les points sont toujours présents. Si ce n'était pas le cas, l'espace serait aussi fugace que le temps.



La longueur des boucles spatiales varie au plus d'un point par instant, c'est-à-dire au plus à la vitesse de la lumière.

LA RELATIVITÉ DES DURÉES ET DES LONGUEURS

Une vitesse moyenne est une distance divisée par une durée. Le fait que les points soient tous présents n'exclut pas pour autant l'existence des vitesses. La longueur de chaque boucle spatiale varie plus ou moins vite dans la limite d'un point par instant : un point en cinq instants, cela va plus vite qu'un point en cinq-milliards d'instants. Ce qui crée un très grand nombre de variations relatives des durées et des longueurs. La longueur d'une boucle spatiale b peut varier plus vite que la longueur d'une boucle spatiale b', et conjointement moins vite que la longueur d'une autre boucle spatiale b".

Un point présent de plus se crée à chaque instant présent et il reste présent, ce

qui donne un temps présent ponctuel et un espace présent long. L'existence de tous les points est donc simultanée : à première vue, la suite de points n'est qu'un désert unidimensionnel présent. Mais les boucles spatiales changent tout. Les mouvements plus ou moins combinés des prolongements mutuels des boucles spatiales créent des objets macroscopiques. Et plus un objet possède une vitesse élevée, plus un grand nombre de ses boucles spatiales s'approchent de la vitesse limite d'un point par instant, moins il dispose de points pour le faire évoluer, plus son temps propre se dilate. Même effet avec la gravitation, qui est une déformation locale de l'espace-temps : les mouvements des boucles spatiales se complexifient, là aussi au détriment de la vitesse d'évolution des objets. Les temps relatifs de deux corps dépendent de la « réserve » de points qui n'atteignent pas encore la vitesse d'un point par instant, dans les liens spatiaux qui les relient. Quand la « réserve » est épuisée, l'évolution relative de ces deux corps se fige. Comme deux voitures côte à côte, qui atteignent une vitesse limite : leur vitesse relative devient nulle.

L'univers évolue à la vitesse d'un point de plus à chaque instant de plus, points et instants sont indissolublement liés et limités. Or, les variations en nombre de points et d'instants plafonnent progressivement à mesure que la vitesse augmente. C'est pourquoi, « vues de l'extérieur », les longueurs se contractent dans le sens du déplacement des corps, pendant que les durées se dilatent, ce qui se calcule avec les *« transformations de Lorentz »*. Ces variations ne sont significatives qu'aux vitesses relativistes.

> Un objet A peut se relier à un objet B par un ensemble de boucles spatiales b et à un objet C par un ensemble de boucles spatiales b'. Ces deux ensembles de boucles spatiales b et b' ne possèdent pas forcément un mouvement global qui varie à la même vitesse, ils ne subissent pas forcément le même plafonnement en points et en instants. C'est ce qui explique la *relativité de l'espace et du temps*. Les caractéristiques spatiotemporelles de l'objet A « vues » par l'ensemble de boucles b peuvent différer des caractéristiques « vues » par l'ensemble de boucle b', alors qu'il s'agit du même objet.

Soit trois fusées A, B, C, aux trajectoires parallèles, mais aux vitesses différentes. Chacune d'elles embarque une horloge, synchronisée avec les deux autres au moment d'un décollage simultané. D'après la relativité, plus les fusées avancent et plus leurs horloges se désynchronisent. Cette désynchronisation vaut Δ_{AB} entre A et B, Δ_{AC} entre A et C et Δ_{BC} entre B et C. Chaque horloge semble tourner conjointement à trois vitesses différentes, selon les points de vue, selon les référentiels. Ce qui crée en quelque sorte trois variantes temporelles de chaque horloge.

Il faut imaginer que ces vaisseaux évoluent dans une mer de liens spatiaux. **Plus** ces liens spatiaux changent rapidement de longueur, **moins** ils peuvent transmettre d'autres mouvements en plus du leur, à cause du plafonnement croissant dû à la limite d'un point par instant. Plus un vaisseau accélère et plus le bain de liens spatiaux devient pour lui comme « visqueux ». Il y a donc d'une part la « viscosité » intrinsèque due à l'approche de la limite d'un point par instant, d'autre part la « viscosité » due aux mouvements relatifs des vaisseaux. D'une certaine façon, c'est comme des voitures sur une route : il y a d'une part la vitesse de chaque voiture par rapport à la chaussée, d'autre part la vitesse relative de chaque voiture par rapport à celle de chaque autre voiture.

DISTORSIONS SPATIOTEMPORELLES

Imaginons qu'un astronef fonce dans le cosmos à une vitesse croissante, qui s'approche de celle de la lumière. Des liens spatiaux en nombre lui aussi croissant opposent au mouvement de ce vaisseau la limitation d'un point par instant, au détriment de ses processus en cours. Mesuré de l'extérieur depuis un référentiel galiléen (disons depuis la Terre), le temps à bord semble de plus en plus se dilater. Par contre, si le voyageur regarde sa montre, elle semble fonctionner normalement. Elle retarde en effet autant que tous les autres processus du vaisseau.

De plus, vu de l'extérieur, l'engin « s'écrase » en quelque sorte sur l'espace, dans la direction de son déplacement. Il se déforme, il s'aplatit relativement de plus en plus – avec un petit écart dû à la *« rotation de Terrel »*. Et, symétriquement, vue depuis l'intérieur du vaisseau, la géométrie générale de l'espace extérieur se distord, la lumière provenant du ciel semble

progressivement se concentrer au loin, devant le vaisseau. Comme vues depuis une voiture lancée à pleine vitesse, les gouttes de pluie semblent se coucher devant le parebrise – dans le cosmos, ces « gouttes » sont des photons. Le vaisseau s'aplatit relativement, alors le pilote voit logiquement l'univers s'allonger, ces distorsions se calculent avec les équations de la relativité. Par contre, à bord de la cabine de pilotage, tout se déforme de la même façon, ce qui donne l'impression que rien ne se déforme.

Deux exemples de ralentissements temporels relatifs :

- Plus une particule instable s'approche de la vitesse de la lumière, plus sa durée de vie augmente, avant qu'elle se désintègre. Son évolution interne « s'englue » plus ou moins dans la limite d'un point par instant et son temps se dilate.
- De la même façon, lorsqu'un faisceau lumineux entre dans un champ gravitationnel, ses contraintes spatiales augmentent, son temps relatif se dilate. Ce qui se traduit par une diminution de sa fréquence, le faisceau lumineux subit un décalage vers le rouge.

Paradoxalement, les temps « élastiques » de la relativité partagent tous le même instant présent, ils ne se différencient que par la vitesse à laquelle ils égrènent des points, de l'espace. Soit deux horloges identiques et en mouvement sur des trajectoires parallèles, dont les vitesses sont différentes et proches de celle de la lumière. Vue depuis un référentiel galiléen (non accéléré), la plus rapide possède un tictac plus lent que celui de l'autre : elle échange plus intensément des points avec le reste de l'univers dans son mouvement que l'autre horloge, ses particules plafonnent plus souvent à la vitesse d'un point par instant. En compensation de sa vitesse plus rapide, elle utilise moins intensément ses points dans ses évolutions internes. Ses électrons tournent moins vite dans ses atomes, ses aiguilles tournent plus lentement : son ralentissement provient d'une moindre variation de l'espace – non d'une moindre variation du temps, comme on pourrait s'y attendre.

> **Parler de temps ou de durées n'est qu'une commodité de langage, qui exprime en fait des variations de l'espace.**

L'INERTIE

Plus il y a de masse, plus le jeu des boucles spatiales devient localement complexe, plus la limite d'un point à chaque instant se fait sentir. À fortiori, les corps massifs en mouvement voient leur masse s'accroitre, leur temps propre se dilater et leur espace local se déformer. Dans la vie quotidienne, ces variations sont infimes, mais elles existent. Il est par exemple nécessaire de corriger les données brutes fournies par les satellites GPS, dont les horloges *tendent à avancer*.

De la même façon, plus un objet massif acquiert une vitesse qui s'approche de celle de la lumière, par rapport à un référentiel galiléen, plus s'accroit le nombre de ses particules relatives constitutives qui rencontrent la limite d'un point par instant. L'inertie de cet objet augmente donc – sans pour autant qu'augmente le nombre des particules relatives constitutives de l'objet. Lorsqu'un objet massif s'approche de la vitesse de la lumière, son inertie tend vers l'infini : presque tous ses corpuscules constitutifs rencontrent la limite d'un point par instant. Impossible pour lui d'atteindre la vitesse de la lumière.

- De plus, lorsqu'une particule massive est localement au repos, ou en mouvement constant, ses liens spatiaux opposent relativement peu de résistance aux mouvements de ses 2# – 2 environnements non locaux parce qu'il y a peu de variations de mouvement.
- Par contre, lorsque son mouvement local varie souvent, ses liens spatiaux rencontrent souvent la limite d'un point par instant. Ils s'opposent souvent à tout ou partie du mouvement de ses environnements locaux et non locaux. Toute particule massive tend ainsi à rester localement au repos, ou en mouvement constant, du fait de la résistance de ses environnements locaux et non locaux aux variations de son mouvement. Son mouvement subit une inertie aux causes locales et non locales.

Une particularité : les mouvements circulaires, dont l'inertie augmente avec la distance de l'axe de rotation. La vitesse d'un disque 33 tours en rotation est plus grande sous le diamant, vers le bord extérieur, que vers le trou central. Il y a donc plus d'inertie vers le bord extérieur que vers le trou central. Ce qui en pratique ne change pas grand-chose. Par contre, au delà d'une certaine résistance à son mouvement circulaire, un satellite atteint sa vitesse de libération et son mouvement se poursuit en ligne droite, ce qui correspond à un nouvel état de moindre résistance non locale.

Plus un corps massif s'approche de la vitesse limite d'un point de plus à chaque instant, plus son accélération demande d'énergie. Sauf dans le cas des particules sans masse, comme le photon et le gluon, qui n'ont pas d'inertie à vaincre : elles se déplacent à la vitesse d'un point par instant.

LE PRINCIPE DE MACH

Nous sommes ici en plein *« principe de Mach »*, tel qu'il a été revu et corrigé par Einstein. Rien n'échappe à la topologie spatiotemporelle universelle. Ce qui se passe ici et maintenant dépend en totalité ou en partie de ce qui se passe partout ailleurs dans l'univers. En particulier, l'évolution de l'univers à long terme dépend de la forme générale de l'espace-temps.

Dans un univers où l'espace-temps est infini, il n'y a jamais assez de masse, de densité pour que l'espace-temps s'effondre sur lui-même et pour qu'une phase de contraction succède à l'expansion actuelle. La géométrie générale est alors indéfiniment « ouverte » et l'univers s'oriente vers un *« Big Freeze »*, c'est-à-dire vers la mort thermique des étoiles.

Si l'espace-temps est fini, trois cas se présentent :

- En deçà d'une certaine masse critique universelle, l'expansion l'emporte sur la gravitation, la géométrie générale reste indéfiniment « ouverte », l'univers s'oriente là encore vers un *« Big Freeze »*. Voire, si une expansion violente déchire toutes les structures, vers un *« Big Rip »*.
- Au-delà d'une certaine masse critique universelle, la gravitation l'emporte sur l'expansion, la géométrie générale est « fermée », elle se contracte

indéfiniment après la phase actuelle d'expansion, jusqu'à ce que l'univers finisse dans un *« Big Crunch »*.

- Si la gravitation et l'expansion s'équilibrent, la géométrie générale reste indéfiniment « plate », l'expansion actuelle se poursuit et elle mène à un *« Big Freeze »*.

Ces différentes options ne sont guère réjouissantes. Heureusement, nous sommes loin de tout savoir sur l'univers, qui nous dévoilera peut-être un avenir plus riant.

Cette unicité universelle fonde particulièrement le fait que les lois de la physique demeurent valides, quels que soient les référentiels considérés. Un même évènement peut ainsi se mesurer de plusieurs façons différentes, avec les « points de vue » respectifs liés à plusieurs référentiels différents. Mais ces différentes mesures sont équivalentes, l'une n'est pas plus « objective » que l'autre : l'évènement est simplement observé sous plusieurs angles spatiotemporels différents.

LE PENDULE DE FOUCAULT

Le *pendule de Foucault* illustre le principe de Mach. Un poids assez lourd se balance au bout d'une longue corde, par exemple au pôle Nord. Les heures s'écoulent et le plan de l'oscillation tourne autour d'un axe vertical. Au bout de six heures, l'oscillation atteint, puis dépasse un plan perpendiculaire au plan de départ. Le plan de l'oscillation effectue un tour complet en vingt-quatre heures. Il tourne par rapport à la Terre sans cause visible. Mais l'observation montre qu'il reste fixe par rapport aux galaxies les plus lointaines, celles dont le mouvement apparent est le plus faible. Le plan de l'oscillation reste donc aussi stable que possible, non par rapport à la Terre, mais par rapport à l'ensemble de l'univers.

Si le pendule est déplacé vers l'équateur, la rotation de son plan d'oscillation ralentit progressivement (un tour en 32 h 52 min à Paris) jusqu'à devenir nulle à l'équateur. Au-delà, le changement d'hémisphère inverse sa rotation.

LE GYROSCOPE

Aussi longtemps que la force centrifuge l'emporte sur la gravitation terrestre, un *gyroscope* tend à conserver un axe de rotation fixe par rapport aux galaxies lointaines, quelle que soit sa position géographique, y compris à l'équateur.



> Un effet méconnu de la force centrifuge est de décoiffer.

Le « secret » du pendule de Foucault, c'est la conservation de l'énergie. Si le pendule passait du plan dans lequel il est en train d'osciller à un autre, il lui faudrait une impulsion. Or, cette impulsion ne se crée pas spontanément et la Terre tourne. Le résultat, c'est que le plan d'oscillation du pendule tourne par rapport à la Terre. Ce qui nous livre aussi le « secret » du gyroscope. Pour que l'axe change de direction, il lui faudrait une chiquenaude, qui là encore, ne se crée pas spontanément, abstraction faite de la dissipation d'énergie due aux frottements. Quand il n'y a pas de variation d'énergie, le mouvement reste en l'état.

11 | Le Big Bang

Dernière modification de cette page en janvier 2026

- **À chaque instant se créent une nouvelle unité d'espace et une nouvelle unité de temps.**
- **À chaque instant, cette augmentation de l'espace-temps se traduit dans l'absolu par l'allongement d'un point d'une boucle spatiale et dans le relatif par l'allongement dédoublé d'un point de 2# – 1 liens spatiaux. Ce qui entraine l'éloignement relatif de 2(2# – 1) particules relatives, puisqu'à chaque lien spatial correspondent deux particules relatives.**

Le décor étant ainsi planté, voyons maintenant le début du film.

UNE BOULE DE BILLARD « DANS » LE NÉANT

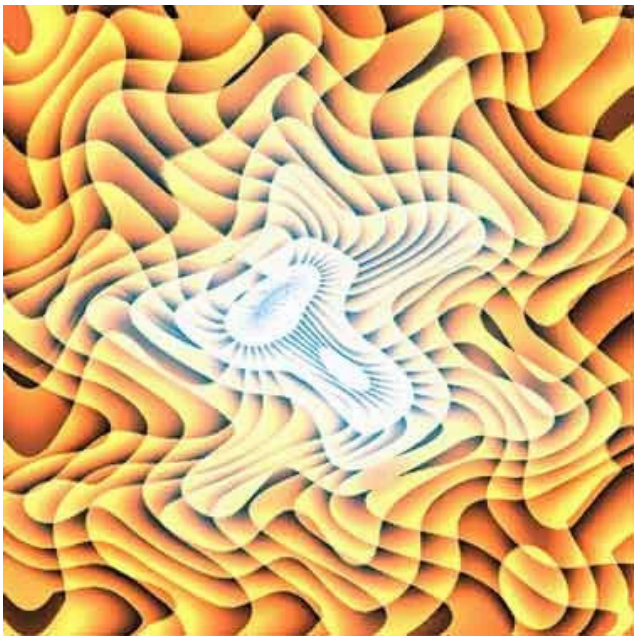
> **Considérons un « espace » à zéro dimension : le néant. Rien de bien compliqué ici puisque la géométrie correspondante s'énonce en un seul axiome trivial : *« Quand il n'y a pas d'espace entre deux objets, ces objets sont en contact »*. Autrement dit, *« quand il y a un espace à zéro dimension entre deux objets, ces objets sont en contact »*.**

Imaginons une boule de billard plongée « dans » le néant. Elle ne possède pas d'espace extérieur, puisque « dans » le néant, c'est en dehors de l'espace, c'est nulle part. Elle n'a donc pas de forme extérieure. Tous les points de son inexistante « surface extérieure » se rejoignent en un même point.

Si la boule est constituée de points, alors il n'y a aucune différence entre son « extérieur » ponctuel et chacun de ses autres points constitutifs. Son « extérieur » est un point comme un autre. Le tout (la boule sans espace extérieur, ou plutôt, dont l'espace extérieur est ponctuel) est paradoxalement plongé dans l'ensemble de ses parties (dans son « intérieur », dans ses points).

Puisqu'elle ne possède pas de limite extérieure, vue de l'intérieur, elle semble infinie. Mais son espace fermé sur lui-même est en fait fini. Aucun rayon lumineux ne sort de la boule, il suit toujours des chemins de points plus ou moins courbes. Un peu comme une fourmi en vadrouille à la surface d'un ballon pourrait croire disposer d'un espace sans limite autour d'elle, mais qui est en fait fini.

> Une boule de billard ne peut pas exister en tant que telle « dans » le néant. Elle n'a de « boule » que le nom.



Ce dessin fait de son mieux pour représenter une boule de billard dépourvue d'espace extérieur.

L'univers est de la même façon plongé « dans » le néant. Ne serait-ce que par définition : il n'y a rien au delà de tout ce qui existe, au delà de l'univers lui-même. C'est pourquoi, dès les premiers instants, se crée un espace fermé, « bouclé » sur lui-même.

GÉOMÉTRIE « DANS » LE NÉANT

Au premier instant, l'univers ne compte qu'un seul point constitutif : ●.

Au deuxième instant, l'univers compte deux points : ●●. Soit deux extrémités : émergence de la longueur et de la première boucle spatiale. Mais il n'y a pas d'espace autour des points, puisque les points sont eux-mêmes l'espace. Vu de chacun des deux points, c'est l'autre point qui l'entoure. Ce qui crée un espace minimal capable d'en contenir un autre : la 2D.

Au troisième instant, il y a trois points : ●●●. Trois boucles distinctes de deux points peuvent chacune « voir » une particule relative. La 3D jaillit de la 2D

précédemment créée.

Au quatrième instant, ●●●● six boucles distinctes de deux points peuvent chacune « voir » une particule relative. La 6D jaillit de la 3D précédemment créée.

Au cinquième instant, ●●●●● dix boucles distinctes de deux points peuvent « voir » une particule relative. La 10D jaillit de la 6D précédemment créée…

> **Stop ! Ce qui est en train de se créer là est un cristal universel multidimensionnel, avec des liens spatiaux tous de deux points chacun. Aucun mouvement n'est possible. Incohérence, puisque la création d'un point de plus à chaque instant de plus crée du mouvement.**

Reprenons. À chaque instant se crée un nouveau point, ce qui crée un mouvement unidimensionnel. Pour faire plus qu'un mouvement unidimensionnel, un nombre de points supérieur à celui nécessaire à un espace figé est nécessaire.

Quand du mouvement 2D devient-il possible ? Pas à partir du deuxième instant, quand seule existe une boucle minimale de deux points. Mais peut-être à partir du **troisième instant** ●●●. Trois boucles spatiales de deux points chacune créent un espace en 3D.

Manque de chance, au troisième instant, cette 3D est plongée « dans » le néant. L'univers se divise alors en un espace relatif (interne) 3D et un espace absolu « externe » (situé « dans » le néant, si on peut dire) ratatiné en un point. Au troisième instant, aucun mouvement 3D (ponctuel dans l'absolu) n'est donc possible. Par contre, un espace 2D plongé dans la 3D est possible, puisque plongé dans un espace, donc pas « dans » le néant, il ne se ratatine pas en un point.

Dans cet espace 2D au moins une boucle de deux points peut donner au moins un point à une autre boucle. Sur les trois boucles possibles, une disparait alors dans le relatif, mais un mouvement 2D peut se créer.

Au quatrième instant, ●●●● six boucles plongent la 3D dans un nouvel espace très « vaste » pour elle : la 4D ratatinée. Les possibilités de mouvements 3D dans le relatif se multiplient, ce qui rend aléatoire le nombre de boucles spatiales et perturbe la création de dimensions supplémentaires. Une bifurcation se déclenche alors : l'univers adopte une géométrie minimale en 4D ratatinée, avec un mouvement maximal en 3D relative. Ce qui n'exclut pas pour autant la création locale d'espaces avec plus de quatre dimensions ratatinées, plus ou moins éphémères, quand il y a assez de points et de boucles spatiales pour cela. C'est le début du *« Big Bang »*.

Ce volume 4D se ratatine dans l'absolu en un point, à cause de l'absence extérieure d'espace. Mais, même ratatiné, il reste très « vaste » pour les espaces 3D. Comme un volume 3D « ordinaire » hauteur / largeur / profondeur est très « vaste » pour la 2D, puisqu'il peut contenir une infinité de plans. Même contracté au fond d'un trou noir, un volume 3D quelconque peut toujours contenir une infinité d'espaces courbes 2D. Dans ce cas, les plans 2D chiffonnés « ne se rendent pas compte » qu'ils sont au fond d'un trou noir. Leurs « habitants 2D » suivent ces plans du regard et du mouvement, ils y glissent et ils y vivent : ces plans semblent « plats », euclidiens. Il en va de même en ce qui concerne la 3D plongée dans la 4D ratatinée.

L'hyperespace 4D permet ainsi la coexistence de différents espaces 3D « fluides ». Par exemple, dans le même espace ratatiné 4D un volume 3D hauteur / largeur / profondeur peut couper un autre volume 3D hauteur / largeur / hyperdimension. L'intersection de ces deux espaces perd cependant l'une de ses quatre dimensions pour n'en conserver que trois, sans quoi elle se ratatinerait. Ce ratatinement est en effet impossible dans le relatif, puisqu'il ne conserverait pas le mouvement, alors que se crée un point de plus à chaque instant de plus. Nous verrons plus loin que les quatre interactions fondamentales résultent de cette étrange topologie.

> **Résumé de la situation :**
>
> Un espace unidimensionnel dans l'absolu s'allonge d'un point de plus à chaque instant de plus. Il se divise en segments qui multiplient les « points de vue », les référentiels.

> Un espace quadridimensionnel ratatiné se crée. Il comporte des espaces relatifs bidimensionnels et tridimensionnels, qui eux, ne sont pas ratatinés en un point, parce que situés ailleurs que « dans » le néant. Le monde dans lequel nous vivons nous donne un aperçu d'un univers ratatiné dans l'absolu, mais pas dans le relatif.

QU'Y AVAIT-IL AVANT LE PREMIER INSTANT ?

Avant que le temps existe (en dehors du temps), c'est « jamais ». La période située « avant » le premier instant n'a donc jamais existé. S'il n'y a pas d'avant, il n'y a pas d'après : le premier instant n'apparait jamais. Dans ce cas, le néant existe, son existence possède une existence, autre chose que le néant existe donc « dans » le néant, ce qui revient à dire que le premier instant apparait. Catastrophe ! Le premier instant n'apparait jamais et il apparait toujours. Ce qu'il faut comprendre, c'est que le néant et l'univers coexistent. Ce n'est pas le néant ***ou*** l'univers, c'est le néant ***et*** l'univers. Nous sommes autant « dans » le néant que dans l'univers. Ce qu'il y a « avant » le premier instant et ce qu'il y a après, c'est dialectiquement la même chose. Le néant et l'univers sont tous les deux présents.

LA COMPLEXITÉ S'ACCROIT

Pendant les premiers instants, les échelles microscopiques et macroscopiques se confondent momentanément. Les liens spatiaux possèdent tous des longueurs égales ou à peine supérieures à deux points. Les particules relatives s'agglutinent les unes aux autres, elles forment une sorte de « gaz » en expansion.

Or, un point de plus se crée à chaque instant de plus, soit une unité de mouvement de plus. Dès le deuxième instant, cette « goutte » régulière de mouvement entre en résonance avec le mouvement général. Une nouvelle chiquenaude s'ajoute à chacun de ses propres échos. Ce qui crée des ondes de mouvement, des interférences, des perturbations, des flux et des reflux dévastateurs pour l'uniformité originelle. Les mouvements relatifs des liens spatiaux se différencient de plus en plus. Ils deviennent de plus en plus oscillants, radiatifs, ils agitent intensément des particules relatives de plus en

plus énergétiques. Plus ou moins un point constitue en effet un évènement important dans des environnements de quelques points. Une sorte de brouillard de particules relatives excitées s'étend à toutes les échelles.

Dans ce chaos, l'éventail des échelles s'élargit, la propagation du mouvement se complexifie. De grandes boucles se décomposent plus ou moins en plus petites, de petites boucles fusionnent plus ou moins en plus grandes. Les liens spatiaux se structurent progressivement. Les premières particules subatomiques, puis l'hydrogène et l'hélium, principalement, apparaissent lors de la *nucléosynthèse primordiale*. Le milieu interstellaire, le cœur des étoiles et les explosions de supernovas synthétiseront plus tard les autres éléments.

L'augmentation du nombre de points et d'instants s'accompagne d'échelles de plus en plus macroscopiques, où l'ajout d'un point de plus à chaque instant de plus devient comparativement de plus en plus « négligeable ». Les fluctuations originelles perdurent aux échelles subatomiques, mais elles se fondent de plus en plus dans le bouillonnement relativement plus calme des grandes échelles. Des structures de plus en plus complexes parviennent ainsi à se produire et à durer plus vite qu'elles se détruisent. La température cosmique baisse, mais elle s'élève localement avec la formation des étoiles et des galaxies.

Les « paysages » respectifs des petites et des grandes échelles se différencient de plus en plus. Des phénomènes possibles à une échelle ne le sont pas forcément à une autre. Par exemple, d'après *Wikipédia, « les étoiles massives ont une masse minimale de 5 à 10 masses solaires ».* Ces étoiles évoluent différemment des étoiles plus légères.

Des hétérogénéités spatiotemporelles de toutes sortes existent donc. Et comme elles se dédoublent 2# – 1 fois, elles constituent une trame dont les grumeaux interagissent plus ou moins entre eux. Aux échelles microscopiques, ces grumeaux dédoublés se ressemblent plus qu'aux échelles macroscopiques, parce qu'ils comptent un nombre inférieur de points, de configurations géométriques possibles. C'est ce qui explique la relative uniformité des particules élémentaires.

Le mouvement des boucles spatiales se complexifie. Plus un grand nombre d'états différents les uns des autres s'accumulent au fil du temps, plus le retour à

un état universel antérieur devient improbable, parce qu'il devient une possibilité parmi un nombre croissant d'autres. Plus le temps passe, plus l'irréversibilité augmente. En outre, la création d'un point de plus à chaque instant de plus interdit tout état universel strictement identique à un état passé. Loin d'être un « éternel retour », l'histoire de l'univers est une éternelle création.

L'INFLATION COSMIQUE PRIMITIVE

Un point de plus se crée à chaque instant de plus. Lorsqu'une boucle passe de 2 à 3 points, sa longueur augmente de 50 %. L'expansion primitive de l'univers présente ainsi l'aspect d'une *« inflation »* parce que la longueur des boucles spatiales augmente avec des pourcentages très élevés. Elle est « explosive » lorsqu'elle s'exerce en premier lieu sur des liens comptant en moyenne quelques points constitutifs. Puis elle devient comparativement négligeable lorsqu'elle s'exerce sur des liens comptant des milliards et des milliards de points constitutifs. Les agitations spatiotemporelles tendent globalement à se calmer, parce que plus il y a de points, plus l'apparition d'un nouveau point a des conséquences mineures sur la longueur et le mouvement des boucles.

> **Introduit dans le modèle standard de la cosmologie par les physiciens Alan Guth, Andrej Linde et Paul Steinhardt, le modèle inflationnaire apporte une explication spéculative à l'aspect euclidien de la géométrie de l'univers, ainsi qu'à l'uniformité du fond diffus cosmologique à 2,7 K.**
>
> Entre $t = 10^{-36}$ s et $t = 10^{-33}$ s après l'instant singulier $t = 0$, une infime région de l'univers aurait gonflé dans des proportions exponentielles, amorçant notre univers actuel.

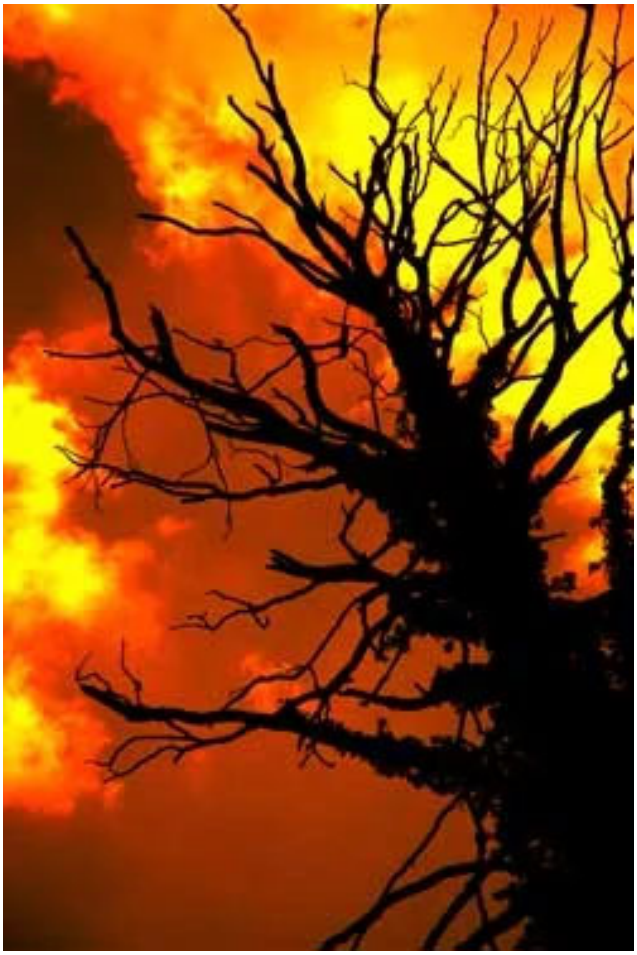
À cette première inflation succède une deuxième inflation, apparemment due à une « énergie noire » : cette question sera abordée dans la prochaine page.

L'ÉMERGENCE D'UNE NATURE NEWTONIENNE

C'est-à-dire le début d'un environnement propice à un réalisme classique, fondé sur ce que nos cinq sens percevront plus tard de la nature. De manière plus

générale, ce que les futures formes de vie éprouveront se met en place.

Plus l'univers accroit son échelle et plus les fluctuations individuelles des particules relatives s'enfouissent dans les petites échelles. Les objets macroscopiques acquièrent ainsi une apparence plus ou moins stable, lissée par le flou de mouvements à la fois microscopiques et en très grand nombre. Un monde naturel avec des lois physiques pas encore appelées « classiques » émerge peu à peu.



> Une pseudoprophétie : un jour viendra où la taille d'objets appelés des « boules de billard » sera gigantesque. Leur nombre de particules relatives constitutives sera tellement grand que leurs dédoublements pourront se dissoudre de multiples façons différentes parmi les autres particules relatives de l'univers. Tout le monde croira qu'il s'agit d'objets uniques, incapables de se dédoubler. 🙂

PARTOUT, UNE MÊME HÉTÉROGÉNÉITÉ

Dans une première période « simple » qui suit le Big Bang, rien n'est encore bien

différencié. Les perturbations se répartissent de façon plutôt homogène. Cette homogénéité donne une mer universelle de particules, une incandescence générale dont le *fond diffus cosmologique* conserve l'empreinte. Ce fond primordial de photons fluctue très peu, au plus d'un cent-millième de degré, quelle que soit la direction du ciel mesurée. Ce qui convient bien dans un univers où tout se dédouble partout 2# – 1 fois. À ce fond détecté s'adjoignent peut-être aussi un fond de neutrinos et un fond de gravitons, non détectés à ce jour, qui fluctuent sans doute eux aussi très peu, s'ils existent.

- De plus, aussi ténues soient-elles à l'origine, les zones les plus denses en particules relatives exercent une attraction gravitationnelle sur les zones les moins denses. Le contraste entre les zones relativement plus denses et moins denses s'amplifie ainsi tendanciellement.
- En conséquence, les liens spatiaux possèdent des longueurs de plus en plus diversifiées. Mais leurs prolongements mutuels les dédoublent et les mélangent partout dans l'univers. Ce qui a pour effet de répartir partout leurs irrégularités, qui s'homogénéisent plus ou moins aux grandes échelles.

D'où une distribution générale de la matière dans l'univers, qui se situe à mi-chemin entre l'homogénéité et l'hétérogénéité. Aux plus grandes échelles, les galaxies dessinent des filaments irréguliers, aux nœuds desquels se situent les amas, délimitant de vastes « bulles » de vide. Ce paysage est le même dans toutes les directions. De la même façon, la luminosité relative des galaxies peut varier dans de grandes proportions, mais à chaque niveau de luminosité correspond une répartition universelle des galaxies concernées. Par exemple, il y a partout le même faible taux de galaxies très brillantes.

> **Il y a bien de l'hétérogénéité dans un univers où tout se dédouble 2# – 1 fois, mais c'est la même hétérogénéité partout.**

LE FOND DIFFUS COSMOLOGIQUE CONFIRME LE BIG BANG COMME ORIGINE DE L'EXPANSION DE L'UNIVERS

Après 380 000 ans, la température du plasma primordial baisse suffisamment pour que les premiers noyaux atomiques se forment. Les électrons ne sont plus libres, ils n'absorbent plus la plupart des photons et l'univers devient transparent. Ce découplage entre la matière et la lumière crée un bain universel de photons de couleur blanc orangé. Mais l'expansion de l'espace allonge, décale vers le rouge, la longueur d'onde de ces photons, dont la température devient extrêmement basse. 12,8 milliards d'années après, à 2,7 K, cette température est proche du zéro absolu. Elle indique l'origine dense et chaude d'un univers en expansion.

12 | Énergie sombre et matière noire

Dernière modification de cette page en novembre 2025

- **Après avoir déployé le Big Bang, la création dédoublée 2# – 1 fois d'un point de plus à chaque instant se poursuit, ce qui donne *« l'énergie sombre »*.**
- **Quant à la matière ordinaire, elle ne représente que 5 % de la masse universelle. Elle s'ajoute aux 27 % de *« matière noire »*, dont la physique est inconnue. Peut-être que les dédoublements de particules relatives se diffusent comme une poussière cosmique très fine, détectable seulement par sa masse.**
- **Ces deux paramètres contribuent à la géométrie fermée, euclidienne ou hyperbolique, dont dépend la destinée de l'univers.**

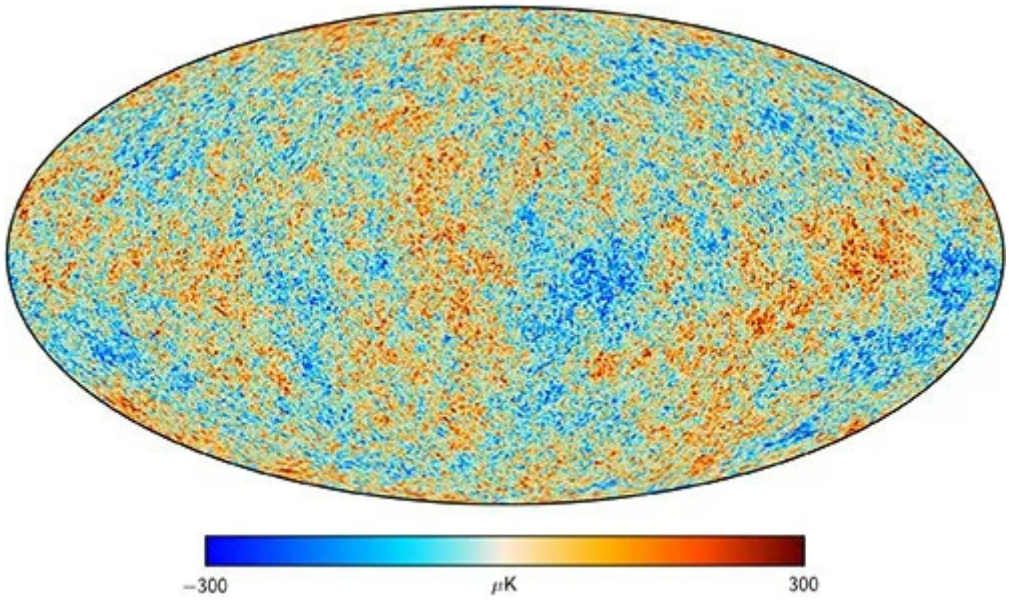
> *« La petite histoire veut que quand quelqu'un venait trouver Niels Bohr avec une idée révolutionnaire visant à résoudre l'une des énigmes de la théorie quantique dans les années vingt, il répliquait : "Votre théorie est folle, mais elle ne l'est pas assez pour être vraie". »*
>
> *(John Gribbin, Le chat de Schrödinger, Le Rocher, 1988, page 294)*

DES GÉOMÉTRIES PSEUDO-EUCLIDIENNES

L'unité 1 de densité oméga de matière dans l'univers correspond à l'équilibre entre d'une part l'attraction gravitationnelle universelle et d'autre part l'énergie cinétique d'expansion universelle. Avec une densité inférieure ou égale à 1, l'expansion continue indéfiniment. Avec une densité supérieure à 1, l'univers se comporte comme une pierre lancée en l'air, « rattrapée » par la gravitation : l'expansion ralentit, stoppe, s'inverse et tout finit par s'écraser en un *« Big Crunch »*.

Alors que va-t-il advenir ? Le *fond diffus cosmologique* dans lequel baigne l'univers donne des indications sur ce que l'avenir de l'univers nous réserve.

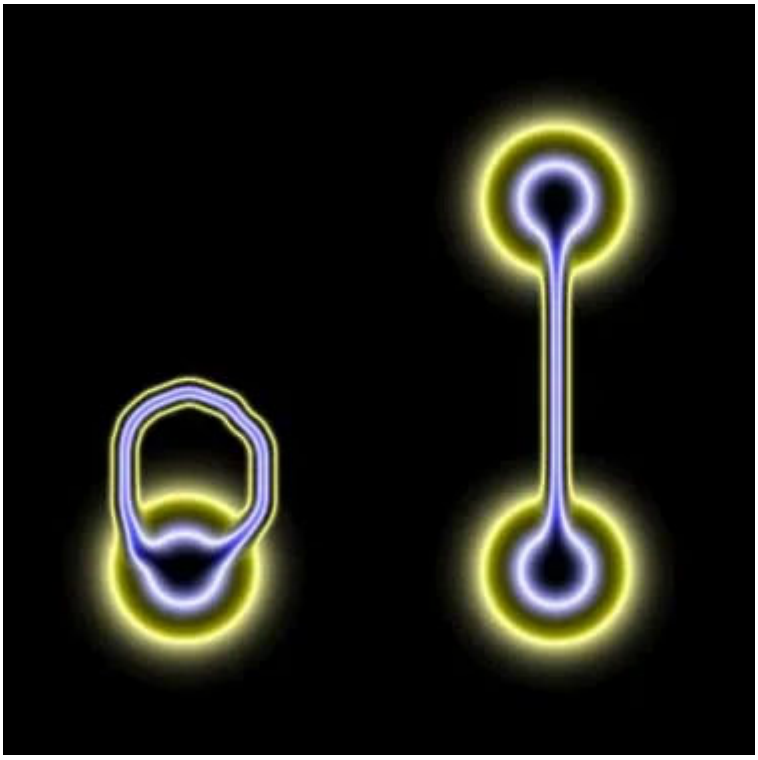
Quelque 380 000 ans après le Big Bang, la température de l'incandescence générale baisse suffisamment pour que matière et photons se découplent. À ce moment, la température des régions les plus denses décroit un peu moins vite que celle des moins denses. Un bain cosmique de photons de grande énergie porte alors la trace des inhomogénéités primordiales, qui en se condensant, constituent ensuite progressivement les premiers atomes, puis les premières galaxies. Ce fond se dilue dans l'expansion universelle et il se refroidit.



Carte de la température du *fond diffus cosmologique*, émis environ 380 000 ans après le Big Bang, établie avec les données du satellite Planck.
(Image : ESA)

De faibles variations de densité, dans ce fond de photons, se présentent typiquement avec un angle (une hauteur ou une largeur apparentes) de *un degré*. Elles correspondent à des ondes de pression « acoustiques » de la matière, dans le plasma primordial. Elles indiquent que la géométrie à grande échelle de l'univers est (ou est presque) euclidienne. C'est-à-dire qu'elle se situe (ou se situe presque) à un point d'équilibre entre un univers tôt ou tard en voie

d’effondrement sur lui-même, et un univers « hyperbolique » dont l’étendue augmente indéfiniment. Un espace avec une courbure positive (sphérique, la somme des angles d’un triangle est supérieure à 180°) ferait converger les rayons lumineux : un effet de loupe grossirait les taches, par rapport à leur volume au moment du découplage. Tandis qu’un espace avec une courbure négative (hyperbolique, la somme des angles d’un triangle est inférieure à 180°) ferait diverger les rayons et rapetisserait les taches.



Cette particule absolue est équivalente à deux particules relatives :
tout dépend du point de vue adopté.

Souvenons-nous maintenant de ce qui se passe quand une observatrice située « dans » une boucle spatiale unidimensionnelle regarde au-dessus d’elle. La lumière suit la courbure de l’espace et une deuxième particule semble apparaitre au bout d’un espace apparemment droit. Dans ces conditions, la « platitude » globale de notre univers « vu de l’intérieur » n’est pas vraiment surprenante. Que notre regard suive une seule, ou un nombre astronomique de boucles spatiales, le résultat est le même : l’espace nous semble globalement euclidien.

Cette « platitude » spatiale apparente dans le relatif est une propriété intrinsèque de la courbure spatiale dans l’absolu. Une équivalence existe ainsi entre

espaces « plats » et « courbes » : un espace unidimensionnel est « plat » quand il est considéré « de l'intérieur » et il est « courbe » quand il est considéré « de l'extérieur ». Ce qui n'enlève rien à l'existence de distorsions spatiales locales, quand la gravité courbe l'espace-temps, par exemple.

Le nombre de dimensions constitutives d'un espace est lui aussi relatif. Deux espaces 3D comportant chacun une dimension que l'autre ne possède pas se « voient » comme des espaces 2D parce qu'ils ne peuvent pas voir la dimension qu'ils ne possèdent pas. S'ils « voyaient » globalement un espace quadridimensionnel, ils le « verraient » en effet situé « dans » le néant, là où, en l'absence d'espace entre eux, les points sont tous en contact, là où tout est ratatiné. Par contre, même si c'est dans un espace 4D ratatiné, n'importe quel espace 1D, ou 2D, ou 3D, se situe « ailleurs » que « dans » le néant, il n'est donc pas lui-même ratatiné dans le relatif. Considérée « de l'extérieur » comme l'une des composantes de l'espace 4D ratatiné, chacune de ces géométries au plus tridimensionnelles apparait terriblement chiffonnée. Mais vues « de l'intérieur », elles apparaissent globalement euclidiennes.

Cela dit, l'espace gagne un point de plus à chaque instant de plus. Il se complexifie et ses fluctuations peuvent créer des volumes locaux plus ou moins fugaces, comportant un nombre de dimensions supérieur à quatre.

L'ALLONGEMENT TENDANCIEL DES LIENS SPATIAUX SE CUMULE AVEC LA DISTANCE : L'ÉNERGIE SOMBRE

- Dans l'absolu, l'espace-temps gagne un point de plus à chaque instant de plus. Le dernier point créé allonge l'espace-temps à une vitesse constante, égale à celle de la lumière dans le vide.
- Mais dans le relatif, ce point de plus à chaque instant de plus se dédouble 2# – 1 fois. L'espace-temps relatif s'incrémente à chaque instant d'un ensemble de {2# – 1} dédoublements du dernier point créé.
  L'accroissement de l'espace est 2# – 1 fois plus rapide que celui du temps, ou que celui de l'espace dans l'absolu, même si, paradoxalement, la vitesse de cet accroissement ne dépasse pas un point (dédoublé) par instant.

Imaginons un genre d'élastique qui s'étire spontanément d'un centimètre toutes les minutes. En une minute, la longueur d'un élastique isolé n'augmente

évidemment que d'un centimètre. Tandis qu'en une minute, la longueur d'une chaine de cinq de ces élastiques, disposés bout à bout, augmente de cinq centimètres. Dans le même temps, une chaine de 100 000 élastiques s'allongerait quant à elle d'un kilomètre. Un tel effet spatial cumulatif crée l'expansion universelle relative. Selon la taille de l'horizon considéré, l'expansion va de un point de plus à chaque instant de plus, à 2# – 1 points de plus à chaque instant de plus. Plus un volume quelconque d'espace est grand, plus il compte un nombre élevé de liens spatiaux qui s'allongent, plus il tend à se dilater vite.

Sur une échelle de l'ordre d'un milliard d'années-lumière, la vitesse de récession relative des galaxies augmente linéairement avec l'augmentation de l'échelle considérée. Cette expansion de l'espace, qui entraine dans son sillage des amas et des superamas de galaxies, suit la *loi de Hubble-Lemaître* : les galaxies s'éloignent les unes des autres à une vitesse relative proportionnelle à leurs distances respectives – soit environ 70 kilomètres par seconde et par mégaparsec (un mégaparsec, c'est environ 3,26 millions d'années-lumière). Cette récession est imperceptible à l'intérieur des galaxies, où elle est infime. Ses effets y sont bien moindres que ceux de la gravitation, les objets « retombent » en permanence les uns vers les autres.

Des explosions d'étoiles en fin de vie, les *supernovas Ia*, possèdent une luminosité intrinsèque connue. Leur luminosité apparente permet une estimation de la distance qui les sépare de nous, sur des échelles de plusieurs milliards d'années-lumière – donc en plongeant dans le passé plus profondément que précédemment. À la lueur de ces lointaines explosions, il semble que l'expansion de l'univers *accélère avec le temps*.

> La distribution des écarts entre les points de densité, sur la carte du fond diffus cosmologique, confirme les données cosmologiques du *modèle ΛCDM*, obtenues par d'autres observations, sauf en ce qui concerne la vitesse d'expansion de l'univers. Une différence apparait en effet avec les mesures faites sur les supernovas et les *céphéides*, dont les luminosités respectives sont connues, ce qui permet d'en évaluer la distance et la vitesse à laquelle elles s'éloignent de

> nous. Cette *tension* reste à ce jour inexpliquée.

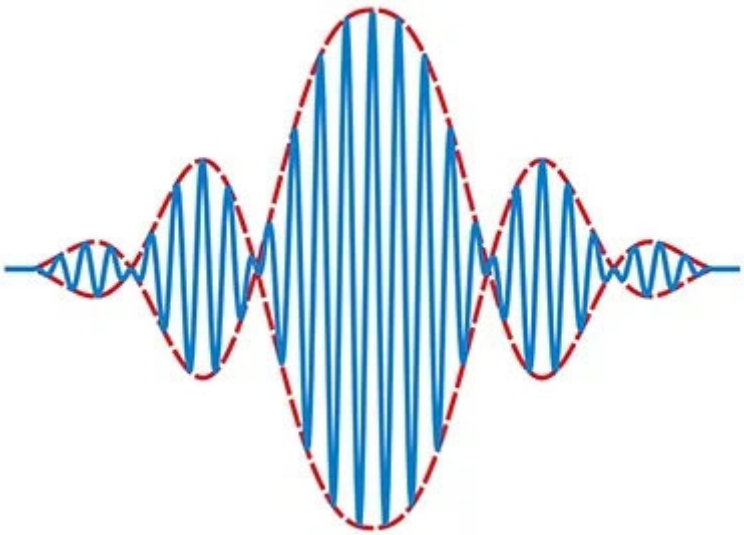
Les résultats préliminaire du *Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI)* indiquent cependant une accélération de l'expansion aux alentours de 7 milliards d'années après le Big Bang, suivie d'un fléchissement de cette accélération depuis 2,5 milliards d'années. Il y aurait donc constamment de l'expansion, mais à une vitesse fluctuante. La « constante » de Hubble-Lemaître serait en fait une variable dans l'histoire de l'univers. Il y a 2,5 milliards d'années, un paramètre prend une importance croissante : plus l'espace compte de points et plus l'effet d'un point supplémentaire dans l'expansion générale diminue. Il est alors bien possible que le taux d'expansion tende asymptotiquement vers zéro, sans jamais atteindre cette limite. Cette explication du ralentissement de l'expansion reste à actualiser selon les résultats à venir, comme ceux attendus du satellite *Euclid* et de l'observatoire *Vera-C.-Rubin*. L'idée est de collecter un grand nombre d'observations de *lentilles gravitationnelles*. Pour voir comment les objets visibles interagissent avec la pesanteur et pour en déduire certaines caractéristiques de la matière noire invisible.

Aucun « centre de l'univers » n'existe

> Le centre de l'univers est partout là où il y a une particule relative. L'expansion universelle s'opère autour de chaque particule relative : il n'existe pas de « centre universel » privilégié. Notre perception de l'expansion de l'univers est universellement banale. L'univers « n'explose » pas et les galaxies ne sont pas des « projectiles » : leur mouvement de fuite ne provient que de la dilatation générale de l'espace cosmique.

Bref, « l'énergie sombre » se ramène aux effets de la création d'un point de plus à chaque instant de plus.

LA RÉCESSION ACCÉLÉRÉE DES GALAXIES



La vitesse de groupe de l'enveloppe rouge ne dépend que des variations de l'amplitude des oscillations bleues, pas de la vitesse de déplacement du paquet d'ondes bleu, dont la vitesse de phase peut faire du surplace, pendant que la vitesse de groupe est très élevée. *(Image : Wikipédia)*

La récession des galaxies accélère avec la distance. Elle crée un *« volume sphérique de Hubble »* au delà duquel les galaxies dépassent la vitesse de la lumière. Comment ce dépassement est-il possible ? Les particules relatives possèdent en effet une vitesse de phase (les variations de longueur des liens spatiaux) différente de leur vitesse de groupe (les mouvements de l'enveloppe contenant ces variations de longueur). Autrement dit, il y a d'une part le mouvement des particules relatives, toujours inférieur ou égal à la vitesse d'un point par instant, et d'autre part les mouvements de leurs mouvements d'ensembles, susceptibles de dépasser la vitesse d'un point par instant. Le mouvement combiné des particules relatives peut ainsi former des ondes de densité, dont la vitesse dépasse celle de la lumière, sans que, pour autant, les particules relatives qui portent ce mouvement dépassent la vitesse de la lumière.

La vitesse de groupe des vagues de particules relatives explique en outre comment la brève phase *d'inflation* de l'espace-temps qui a suivi le Big Bang, pendant laquelle l'univers est passé du microcosme au macrocosme, a pu apparemment dépasser la vitesse de la lumière. D'après le modèle standard de

la cosmologie, cette inflation est à l'origine de l'homogénéité et de la géométrie euclidienne globales de l'univers.

Nous verrons plus loin que des « vagues » généralisent ce phénomène à tous les mouvements dont l'échelle est supérieure à celle des particules relatives.

UNE INSAISISSABLE « MATIÈRE NOIRE » SEMBLE MÊLÉE À LA MATIÈRE ORDINAIRE

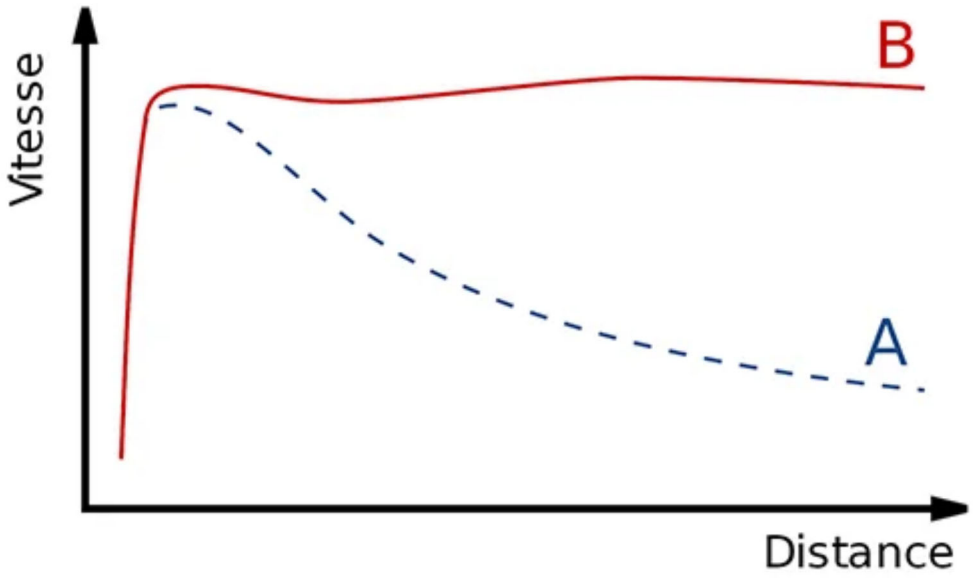
Les inhomogénéités du fond fossile cosmologique semblent indiquer des concentrations primordiales de matière ordinaire trop faibles pour expliquer à elles seules la rapidité de l'agencement gravitationnel des grandes structures de l'univers. Des sources gravitationnelles supplémentaires sont nécessaires pour concentrer les nuages de gaz primordiaux et les transformer en galaxies, en amas. Alors l'espace-temps se déforme sous quel effet ?

Peu après le Big Bang, une *forme inexpliquée de matière* aurait amplifié par effondrement gravitationnel les inhomogénéités de densité du plasma primordial, ce qui aurait amorcé la formation des galaxies.

Dans le même genre de mystère, moins d'un milliard d'années après le Big Bang, se sont formés au centre de galaxies massives de monstrueux trous noirs pesant des millions de masses solaires. D'où provenaient ces trous noirs ? Les premières étoiles ne disposaient pas des éléments lourds synthétisés par une génération précédente, qui les aurait refroidies. Seule une masse énorme pouvait contrebalancer leur énorme pression radiative. Comme si une matière noire, dans l'univers d'alors, avait amplifié leur processus d'effondrement.

De plus, lorsqu'une masse de gaz forme une galaxie, elle se condense sous l'effet de la gravité, elle s'échauffe, des foyers de fusion nucléaire s'allument. Un puits gravitationnel se creuse, la galaxie commence à tourner, la force centrifuge tend à l'aplatir comme une crêpe. Le rayon de la galaxie diminue avec cette condensation, ce qui augmente la vitesse de rotation en raison de la conservation du moment cinétique orbital. La force centrifuge éloigne cependant les objets du centre de la galaxie jusqu'à un point où elle s'équilibre avec la gravité. Plus la distance avec le centre de la galaxie est grande, plus la gravité est faible et il semble évident que plus les distances sont grandes, plus les

vitesses de rotation sont faibles.



La vitesse de rotation observée des galaxies (B)
est supérieure à celle prédite par les lois de Kepler (A)
(Image : Wikipédia)

Or, la courbe de la vitesse orbitale du plan des galaxies, qui exprime la vitesse moyenne de rotation de chaque point du rayon, demeure quasi horizontale avec l'éloignement du centre de rotation. Pourtant, d'après les lois de la gravitation, cette courbe devrait sensiblement baisser, comme les vitesses de révolution des planètes du système solaire baissent avec l'éloignement par rapport au Soleil (à une moindre attraction correspond en effet une moindre vitesse de révolution). À la vitesse à laquelle les objets galactiques tournent, et compte tenu de la masse de leur matière constitutive visible, les galaxies devraient éjecter leur périphérie dans le cosmos et se désagréger. Mais elles demeurent intactes. Le même phénomène se retrouve aux échelles supérieures : celles des amas. Les galaxies tournent les unes autour des autres à des vitesses telles qu'elles devraient se disperser dans le cosmos. Mais les amas conservent eux aussi leur cohésion. La masse réelle des galaxies, comme celle des amas, semble donc supérieure à leur masse apparente. C'est à priori un supplément caché de masse qui permet aux galaxies et aux amas de retenir leur périphérie.

Aux échelles supérieures, la lumière des galaxies lointaines subit des déflexions

qui dépendent de la distribution des masses qu'elle traverse. Les masses courbent en effet l'espace-temps autour d'elles, c'est le phénomène des *lentilles gravitationnelles*. Là aussi, les mesures indiquent ce qui ressemble à la présence d'une matière indétectable. *L'amas de la Balle* est représentatif de ce phénomène.

Chaque particule de matière connue se dédouble 2# – 1 fois partout dans l'univers. La matière ordinaire baigne ainsi dans ses propres dédoublements non locaux, qui constituent un fond de particules relatives très diffus. Il s'agit d'une sorte de poussière d'une extrême finesse, dont l'une des principales caractéristiques est de posséder une masse. Ces grains de poussière exotique sont peut-être des noyaux autour desquels s'agrègent les molécules constitutives de la poussière cosmique ordinaire. Cette poussière est en quelque sorte « passive », puisque ce sont ses dédoublements de matière ordinaire formée qui sont « actifs ». Néanmoins, les mouvements « passifs » et « actifs » sont les mêmes, « vus » sous des angles différents. À un mouvement « actif », visible, correspondent 2# – 2 autres « points de vue », c'est-à-dire 2# – 2 dédoublements « mélangés » partout dans l'univers. Plus les mouvements « actifs » sont proches des mouvements « passifs », plus ces deux sortes de mouvements interfèrent visiblement entre elles. Il y a ainsi plus d'interférences visibles dans et autour des grands amas de matière qu'ailleurs. Les mouvements « passifs » interfèrent eux aussi partout entre eux, mais, en l'absence de mouvements « actifs » qui les structurent et les révèlent, leurs interférences restent difficilement détectables. Ces mouvements « passifs » ressemblent à un bruit de fond quasi homogène.

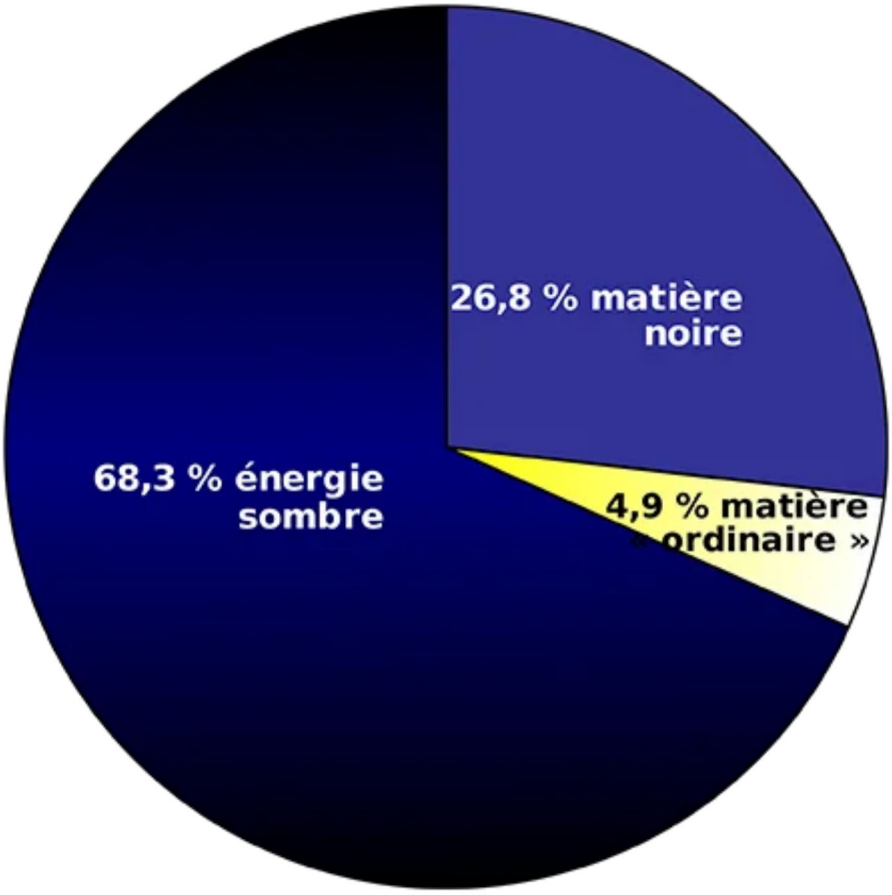
> **La matière ordinaire se dédouble de façon extrêmement diffuse, ce qui crée un état particulier de la matière : l'insaisissable « matière noire », une poussière qui interfère plutôt localement avec la matière ordinaire, dont elle perturbe les mouvements.**

Il y a plus de matière dédoublée que de matière ordinaire, avec un rapport de 1/(2# – 2). C'est pourquoi la masse globale de la matière noire est supérieure à la masse globale de la matière ordinaire.

UNE RÉPARTITION FLUCTUANTE DE LA DENSITÉ D'ÉNERGIE DE

En bref :

- **Énergie sombre :** dédoublements d’un point de plus à chaque instant de plus
- **Matière noire :** dédoublements des liens spatiaux, des particules relatives



Répartition de la densité d’énergie de l’Univers après une exploitation des premières données obtenues par le télescope spatial Planck. L’énergie sombre en serait la composante principale.
(Image et légende : Wikipédia)

13 | Les ondes négatives et les particules

Dernière modification de cette page en novembre 2025

> *« La solution générale de l'équation de propagation – à une dimension – s'écrit comme la superposition d'une onde progressive, de forme quelconque, se propageant dans le sens des x croissants et d'une onde progressive de forme quelconque se propageant en sens inverse. »*
>
> *(Bernard Diu, Bénédicte Leclercq, La physique mot à mot, Odile Jacob, 2005, page 550)*

Les ondes et leurs dédoublements interfèrent, ce qui crée des particules à une échelle supérieure à celle des particules relatives.

QUID DE L'ÉNERGIE NÉGATIVE ?

Lorsqu'une particule massive possède une quantité de mouvement égale à zéro, son énergie E est égale à mc^2. Lorsqu'elle possède une quantité de mouvement p, l'équation devient :

$$E^2 = m^2c^4 + p^2c^2, \text{ soit } E^2 = m^2 + p^2$$

> E^2 étant un carré, l'énergie peut donc être soit positive, soit négative. L'énergie positive, nous savons ce que c'est : il s'agit de ce qui permet à un système quelconque de fournir un travail mécanique. Mais comment nous représenter mentalement de l'énergie négative ? Sous la forme d'ondes négatives :

LES ONDES POSITIVES SE DÉDOUBLENT ET LES MOUVEMENTS DE LEURS DÉDOUBLEMENTS REVIENNENT VERS ELLES COMME DES ONDES NÉGATIVES

Si un front d'onde se resserre autour d'une pierre jetée dans l'eau, c'est que le film de l'évènement passe à l'envers. Il faut ainsi remonter le cours du temps, pour observer les effets de ces ondes négatives. À moins que ce phénomène soit spatial…

> **Les boucles spatiales transmettent du mouvement, de l'énergie. Ce mouvement se dédouble dans le relatif et ces dédoublements se propagent dans toutes les directions, y compris vers les particules émettrices elles-mêmes. Aussi indéterminé soit-il, ce mouvement dédoublé est, pour les particules émettrices, équivalent à des ondes négatives qui remontent le cours du temps, puisqu'il se resserre autour d'elles.**
>
> **Provenant des mêmes dédoublements, ces « ondes négatives » possèdent toutes plus ou moins la même fréquence, la même amplitude : des interférences et des ondes stationnaires se produisent donc.**

Ces ondes qui « remontent le cours du temps » sont indispensables aux calculs de *l'électrodynamique quantique*, qui décrivent les interactions électromagnétiques par l'intermédiaire du champ quantique des photons.
(D'après Jacques Léon, Les mécaniques du temps, Ellipses, 2022, page 223)

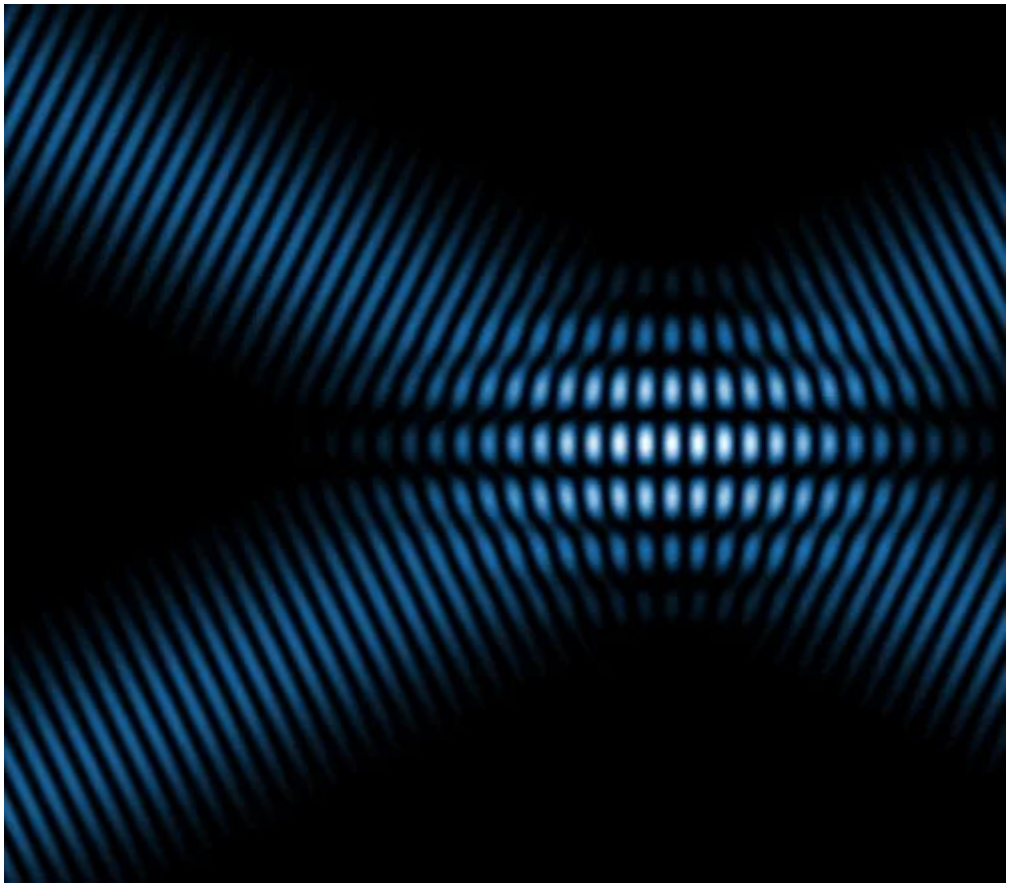
Toutes les structures de particules relatives interfèrent ainsi avec leurs dédoublements, qui n'existent pas forcément dans des environnements identiques, sous des formes identiques. Elles reçoivent leur énergie négative comme des échos plus ou moins déformés, dégradés, qui interfèrent plus ou moins avec chacun de leurs mouvements. Les ondes plus ou moins en phase forment des interférences plus ou moins constructives, qui demeurent ; les ondes plus ou moins déphasées forment des interférences plus ou moins destructives, qui se dissipent. Il en résulte une multitude de formes fixes, des nœuds de pression. C'est-à-dire une multitude de particules élémentaires plus ou moins indéterminées, fluctuantes. Se retrouve ici, par exemple, la dualité des quantons, des corpuscules aux propriétés ondulatoires – toutes les particules microscopiques sont des quantons.

Tout mouvement d'une boucle spatiale dans l'absolu se dédouble 2# – 1 fois dans le relatif. Ce mouvement dédoublé d'une boucle spatiale perturbe dans le relatif chacun de ses 2# – 1 environnements locaux. S'ensuivent des successions de croisements, d'interférences de mouvements plus ou moins locaux, plus ou moins retardés, dont la géométrie détermine les propriétés et les interactions de particules.

Décrite ainsi, la matière évoque une soupe bouillonnante et omniprésente de particules relatives. Ce qui nous amène au *plasma primordial* des premières heures de l'univers. À chaque point supplémentaire, les possibilités de créer de nouvelles boucles spatiales augmentent. Les prolongements mutuels des boucles spatiales apparaissent très vite. Moins les objets créés comptent de particules relatives constitutives, plus ils possèdent des formes simples, plus leurs dédoublements peuvent être semblables, sans être strictement identiques, puisque « vus » sous des angles différents. Par exemple, un proton est un neutron « vu sous un autre angle ». Les objets dédoublés sont tous plus ou moins différents, avec leurs combinaisons « mélangées » de boucles spatiales. Ces différences dans l'homogénéité créent un milieu où n'est possible qu'un nombre restreint d'espèces de particules élémentaires. Chaque particule est « quantifiée » 2# – 1 fois, ce qui constitue son « champ », où elle peut disparaitre ici et apparaitre instantanément là. Les interactions entre particules sont des échanges de mouvements plus ou moins probables de particules relatives, qui unifient ou dissocient des champs. Plus la température ambiante est élevée et plus ces échanges de mouvements deviennent chaotiques, ce qui réduit les probabilités de création de particules lourdes, très structurées.

Les *éléments les plus lourds* se créent dans le chaos des *supernovas*. Une explosion synthétise ces noyaux lourds, qui se conservent après leur éjection dans le cosmos, parce qu'ils plongent dans un vide relativement calme. Un tel vide n'existe pas encore dans le plasma primordial.

LES PARTICULES ÉLÉMENTAIRES



Interférences d’ondes planes lors de leur croisement
(Image, dont les couleurs sont ici modifiées : Wikipédia)

Lorsqu’un mouvement quelconque émet des ondes, il lui revient localement 2# – 2 échos plus ou moins différés de son mouvement. De son propre « point de vue », chaque mouvement émis est positif, tandis que chaque dédoublement reçu est pour lui négatif, puisque pour lui ils se propagent comme « à l’envers dans le temps », ils viennent de l’horizon vers lui. Une source centrale d’ondes positives s’entoure ainsi de multiples retours négatifs, plus ou moins tardifs et déformés, créant de multiples interférences, de multiples nœuds de pression.

Les interférences d’ondes de particules relatives peuvent prendre de multiples formes, plus ou moins aléatoires, de multiples niveaux d’énergie. Ce qui signifie que les particules n’ont pas de nature prédéterminées. Elles sont plus des potentialités de particules que de « vraies » particules, aussi longtemps qu’elles n’interagissent pas d’une façon ou d’une autre avec un environnement local. Dans ce cas, leurs interactions avec leur environnement fixent leurs propriétés

du moment, selon les géométries locales en jeu.

Les mouvements positifs de liens spatiaux et leurs retours négatifs présentent des similarités propices à la création *d'ondes stationnaires* plus ou moins fugaces, qui structurent localement les particules relatives. Ce qui génère de nouveaux mouvements, avec de nouveaux retours négatifs… Des *résonances* se produisent ponctuellement partout, elles s'amortissent plus ou moins vite, mais la densité en résonances n'est pas forcément la même partout, ce qui crée des émergences de structuration de la matière.

Une interférence considérée individuellement peut ainsi former une particule, une quasi-particule, ou un machin bizarroïde. Mais globalement, toutes les interférences fluctuent autour de mouvements moyens, elles forment ainsi des populations de « vraies » particules dans des états plus ou moins combinés – « superposés ». Ce qui rend la matière plus ou moins stable et pérenne aux grandes échelles.

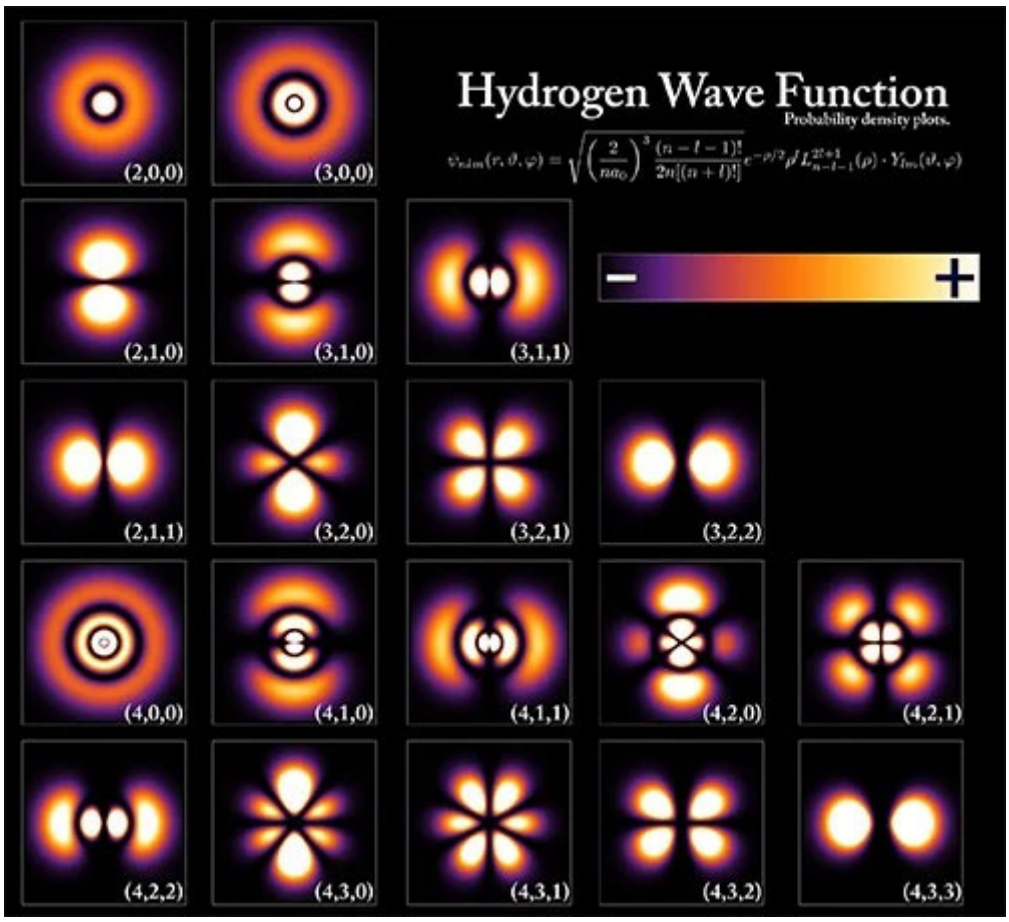
Si la source positive est un proton, alors le nuage d'interférences qui l'entoure tend d'une part à le « maintenir en vie », d'autre part à créer autour de lui des « interférences secondaires » plus ou moins fugaces. Ces « interférences secondaires » créent, par exemple, au moins un électron « étalé » de façon ondulatoire, dont les nœuds de densité « sautent » d'une interférence à l'autre. Cet électron émet et reçoit lui aussi du mouvement.

Tout se dédouble partout dans l'univers, il y a des ondes négatives partout. Les ondes de probabilité de présence des particules sont universellement non nulles. La localité tempère cependant ce bouillonnement universel ; rappelons que, pour un point quelconque, les points les plus proches dans l'ordre de création de la suite de points existent avant les autres, ils forment des liens spatiaux dont les interactions se produisent avant les autres.

OÙ IL EST QUESTION DES ÉLECTRONS

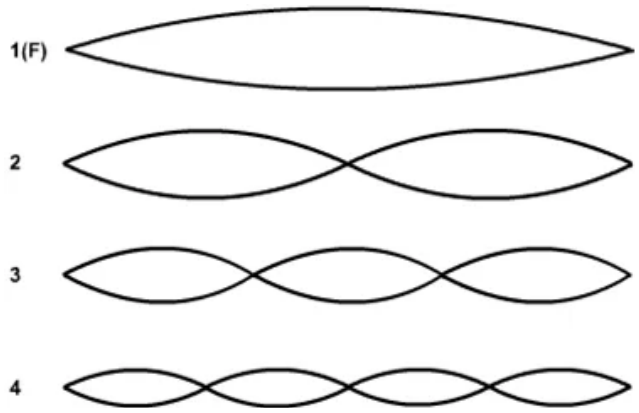
Particule ponctuelle dépourvue de structure interne, l'électron peut quand même absorber ou émettre un photon. Comment une telle « magie » est-elle possible ? Contrairement à l'électron, le photon n'a pas de masse, seulement de l'énergie : l'électron n'absorbe ou n'émet aucune masse en tant que telle, mais de l'énergie.

Les mouvements respectifs de l’électron et du photon fusionnent ou fissionnent. C’est-à-dire qu’au moins deux interférences fusionnent, ou une interférence se scinde. L’énergie de l’électron varie ainsi par « paquets » interférentiels.



Différentes densités de probabilité de présence de l’électron de l’atome d’hydrogène. Ces orbitales définissent à la fois des niveaux énergétiques et des géométries.
(image : Wikipédia)

À l’énergie d’un l’électron (sa masse, son énergie cinétique, son potentiel), correspond l’évolution probabiliste de cette particule au cours du temps. *L’équation d’onde de Schrödinger* permet de calculer des lobes de probabilités en 3D, c’est-à-dire des orbitales, semblables aux ondes stationnaires classiques, sauf qu’elles sont probabilistes. Elles résultent d’un grand nombre d’ondes de particules relatives plus ou moins en phase et plus ou moins en opposition de phase, plus ou moins dans une même direction et plus ou moins dans des directions opposées. C’est très flou, mais la nature est ainsi faite.



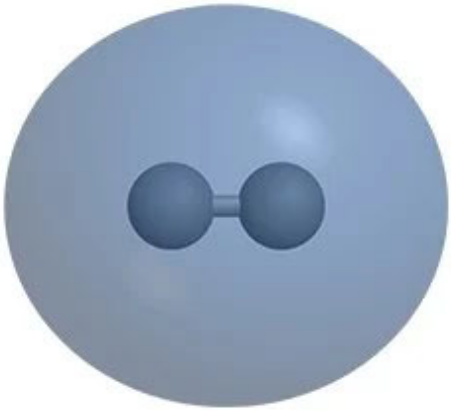
Les quatre premiers modes de vibration d'une corde résultent de la synchronicité et des contraintes des mouvements d'un grand nombre de liens spatiaux.
Il en va de même des ondes de particules relatives.
(Image : Wikipédia)

L'électron n'a pas d'orbite prédéterminée autour du noyau, il a seulement des potentialités qui s'actualisent de façon probabiliste lorsqu'il interagit avec quelque chose. Ces potentialités probabilistes sont discrètes, comme l'est par exemple la suite de crêtes d'une onde, parce que seuls sont en jeu des nombres entiers de points et de particules relatives. La forme de l'orbite d'un électron dépend pour l'essentiel de contraintes géométriques locales et non locales. L'un des principaux facteurs déterminants de ces contraintes est la vitesse limite d'un point par instant. À un moment donné, certains mouvements et évolutions sont possibles, d'autres ne le sont pas.

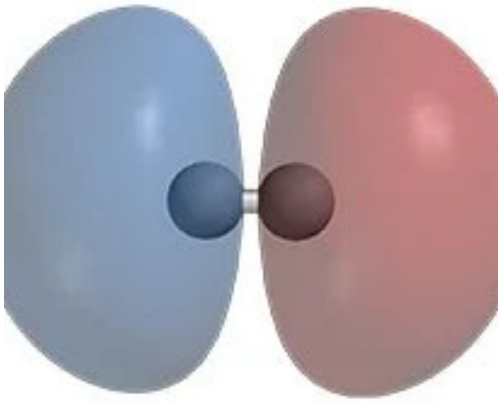
Le nombre et la forme des orbitales créent aux échelles microscopiques les propriétés géométriques des atomes, des molécules, ce qui, à leur tour, crée aux échelles macroscopiques les propriétés chimiques des éléments.

> ***Orbitales liantes, antiliantes, non liantes***
> *« Une orbitale moléculaire est dite liante lorsque les orbitales atomiques dont elle résulte sont en phase : l'interférence de leurs fonctions d'onde est constructive. À l'inverse, une orbitale moléculaire*

est dite antiliante lorsque les orbitales atomiques dont elle résulte sont en opposition de phase : l'interférence de leurs fonctions d'onde est destructive, et il existe un plan nodal entre les deux atomes, dans lequel la fonction d'onde de l'orbitale moléculaire est d'amplitude nulle. Enfin, une orbitale moléculaire est dite non liante lorsque les orbitales atomiques dont elle résulte sont dépourvues de symétries compatibles leur permettant d'interagir. » (Wikipédia)



Orbitale liante de la molécule d'hydrogène



Orbitale antiliante de la molécule d'hydrogène

(Images : Wikipédia)

Des orbitales probabilistes en phase, ou en opposition de phase… qui résultent de mouvements dédoublés de boucles spatiales en phase, ou en opposition de phase.

DES PARTICULES INDÉTERMINÉES

Les particules ont un mouvement, mais pas de trajectoire déterminée, puisque leurs trajectoires se dédoublent. Une particule possède une trajectoire indéterminée… Jusqu'à ce que l'un des dédoublements de cette trajectoire soit détecté. Dans ce cas, un large éventail de chemins, qui étaient plus ou moins

possibles, correspondant à autant de dédoublements, se réduisent à la sélection d'un seul.

De plus, la taille des ondes en interaction est floue, indéterminée. Un trop petit nombre de points restreint le mouvement des interférences, un trop grand nombre de points dilue ce mouvement dans l'agitation environnante. Ces deux extrêmes délimitent une sorte de plage optimale pour la taille des particules.

DES PARTICULES FLUCTUANTES

Des boucles spatiales en mouvement, qui se dédoublent, créent dans le relatif des interférences, ce qui donne lieu à l'existence des particules. Or certaines boucles sont relativement proches les unes des autres, d'autres sont plus distantes, et leurs mouvements respectifs subissent les effets de la localité. Outre les dédoublements de boucles spatiales, qui produisent des synchronisations de mouvements instantanées, les interférences se propagent avec plus ou moins de retard.

Des gradients dans la propagation des mouvements se produisent donc, selon la plus ou moins grande proximité des boucles spatiales synchronisées. Ils se manifestent par la création d'interférences fluctuantes, plus ou moins retardées. Toutes les caractéristiques des particules fluctuent, leur forme, leur énergie, leur localisation. Les caractéristiques stables des particules sont des moyennes de mouvements autour de multiples fluctuations.

DES PARTICULES STABLES

> La désintégration des particules s'accompagne d'une énergie cinétique qui fait baisser la masse du produit désintégré (énergie et masse sont équivalentes). Les particules ne peuvent se désintégrer qu'en particules plus légères du fait de la conservation globale de la masse et de l'énergie.
>
> Un même nombre de protons et de neutrons d'un noyau atomique, un même état énergétique, caractérisent un *nucléide*. 85 nucléides sont instables et 252, relativement légers, ne peuvent pas se désintégrer en particules plus

légères, qui n’existent pas, alors ils restent stables.

- Plus un assemblage de particules relatives est complexe, plus il compte d’éléments, plus il subit des contraintes spatiales fortes et plus il tend à se désagréger rapidement, plus il est instable.
- À l’inverse, plus un assemblage est simple, moins il compte d’éléments, moins il subit des contraintes spatiales fortes et plus il tend à se désagréger lentement, plus il est stable.

- La limite d’un point par instant, comme les contraintes locales et non locales, tendent à dissoudre les assemblages de particules.
- À l’inverse, la limite d’un point par instant, comme les contraintes locales et non locales, forment aussi des puits de potentiel à franchir, ce qui tend à maintenir la cohésion des assemblages de particules.

Le résultat, c’est que les plus petits puits de potentiel piègent les assemblages les plus simples pendant les plus longues durées.

14 | L’état informe et les vagues de particules relatives

Dernière modification de cette page en novembre 2025

Après les interférences de la page précédente, voici des vagues, avec des « informités » en plus.

Le mouvement de chaque boucle spatiale est plus ou moins interdépendant de celui d’au moins une autre boucle spatiale. Typiquement, si une boucle s’allonge, c’est qu’au moins une autre boucle raccourcit d’autant, qui elle-même est reliée à d’autres boucles et ainsi de suite. En outre, dans le relatif, chaque lien spatial se dédouble 2# – 1 fois, c’est-à-dire qu’il dépend de 2# – 1 environnements différents, ce qui contraint fortement son champ d’action. Pourtant, la liberté de mouvement dans l’univers apparait comme quasi illimitée. Les vagues de particules relatives expliquent ce paradoxe.

> *« L’essentiel de ce nouveau modèle est que, ici, l’électron est compris à travers un ensemble total d’ensembles impliés généralement non localisés dans l’espace. À n’importe quel moment donné, un de ceux-ci peut être développé et donc localisé, mais au moment suivant celui-ci s’inveloppe pour être remplacé par celui qui suit. La notion de continuité d’existence est approchée par celle d’une récurrence très rapide de forme similaire se changeant d’une façon simple et régulière (plutôt comme une roue de bicyclette tournant rapidement donne l’impression d’un disque solide plutôt que celle d’une séquence de rayons en rotation). Naturellement, la particule n’est dans son fondement qu’une abstraction qui est manifeste à nos sens. »*
>
> *(David Bohm, La plénitude de l’Univers, Le Rocher, 1987, page 183)*

MOUVEMENTS D'ENSEMBLES

L'eau du large constitue-t-elle les vagues qui arrivent sur la plage ? Eh bien non. Le mouvement est différent de la matière qui le porte.

- Lorsqu'un *mouvement de vague* se transmet à des molécules d'eau, ces dernières décrivent des ellipses verticales qui forment la vague. C'est-à-dire que les molécules d'eau restent plus ou moins au même endroit. La vague passe, puis les molécules errent brièvement, jusqu'à ce que des molécules voisines leur transmettent le mouvement de la vague suivante. C'est pourquoi, par exemple, le mouvement principal d'une balle de tennis qui flotte sur la mer est vertical, perpendiculaire au mouvement apparent des vagues. Les ondes sonores se propagent de la même façon dans l'air.
- Les électrons transmettent eux aussi collectivement un signal dans un conducteur soumis à une tension, ce signal se propage à une vitesse d'environ *75 % de celle de la lumière dans le vide*. Mais ils se comportent individuellement d'une tout autre façon, ils rebondissent sans cesse sur les ions positifs du conducteur, ce qui rend très faible leur vitesse moyenne de progression, *quelques fractions de millimètres par seconde pour un courant continu*.
- Un autre exemple : les *bras des galaxies spirales*, qui sont des ondes où la densité d'étoiles est la plus grande. Les étoiles ne font que passer par les bras, où leurs trajectoires elliptiques décalées les unes par rapport aux autres les concentrent plus qu'à l'extérieur.

Les molécules d'eau, d'air, comme les électrons ou les étoiles, opèrent ainsi de fantastiques mouvements d'ensembles. Un grand nombre d'unités parviennent à propager des variations d'une taille considérable par rapport à leur échelle individuelle. Le mouvement transmis change constamment d'éléments porteurs.



De la même façon, un corps se déplace par une succession d'assemblages de ses particules relatives constitutives, immédiatement suivies de séparations et de reconstitutions de sa forme avec d'autres particules relatives. Les particules relatives décrivent elles aussi de fantastiques mouvements d'ensembles. Voyons cela de plus près.

L'ÉTAT INFORME

> **Pour qu'un objet quelconque existe à l'état « informe », il suffit qu'existent ses éléments constitutifs. Ces derniers peuvent être assemblés ou désassemblés, en totalité ou en partie.**
>
> Les particules relatives sont elles aussi des éléments constitutifs.

L'état « formé » n'est ainsi qu'une particularité de l'état informe.

Par exemple, tel réveille-matin existe formé. Démonté, il continue d'exister à l'état informe. Même réduit en poussière dispersée au vent au-dessus de l'océan, il continuera indéfiniment d'exister à l'état informe.

Par contre, le texte d'un roman n'existe pas à l'état informe dans un dictionnaire.

Ou alors il s'agit d'une œuvre très particulière qui n'utilise pas deux fois le même mot.

Nous avons déjà abordé sans la nommer cette notion d'informité, lorsqu'il a été question des univers parallèles, dans l'introduction. Chaque univers était formé par rapport à lui-même et informe par rapport aux autres univers. Chaque univers, en tant qu'univers relativement formé, contenait tous les autres, mais à l'état informe.

La matière noire, vue comme une poussière noire, est une informité dédoublée de la matière formée. Dans la même logique, les ondes négatives, qui interfèrent avec les ondes positives et créent les particules, proviennent de dédoublements informes des particules.

TOUT OBJET SE DÉDOUBLE 2# – 1 FOIS : IL POSSÈDE DONC 2# – 1 INFORMITÉS

Chaque boucle spatiale est une sorte d'environnement local à elle seule. Elle « voit » la dimension absolue selon son « point de vue » unique. Or, les # boucles spatiales se prolongent mutuellement, elles se combinent entre elles de multiples façons différentes. Ce qui, en définitive, donne des myriades et des myriades d'environnements locaux différents, à toutes les échelles. Tout se dédouble partout, mais s'assemble partout différemment. Et les mêmes ingrédients mêlés différemment peuvent donner localement des choses très différentes. Par exemple, le passage de l'eau de l'état formé à l'état informe par électrolyse provoque un changement important de ses caractéristiques.

Plus un objet compte de particules relatives constitutives, plus il compte de configurations possibles. Le nombre de *permutations* possibles d'un nombre n d'éléments est en effet égal à la factorielle de n, soit n ! = 1 × 2 × 3 × … × n : il augmente de façon exponentielle avec l'augmentation du nombre n d'éléments.

Tout objet formé dans un environnement quelconque se dédouble 2# – 2 fois en 2# – 2 informités partout ailleurs dans l'univers. Il semble ainsi plus probable que les 2# – 1 dédoublements de tout objet soient plutôt informes que formés. Par exemple, il est évidemment probable que les 2# – 2 dédoublements d'une locomotive à vapeur formée sont informes, plus ou moins finement mêlés aux

autres particules relatives de l'ensemble de l'univers.

L'univers « voit » chaque objet sous 2# – 1 angles différents : les 2# – 1 informités d'un objet sont toutes différentes les unes des autres. Une nuance : plus un objet possède une structure simple, moins ses états formés et informes se différencient. Des structures comptant un nombre de particules relatives constitutives assez petit peuvent exister plus ou moins formées dans au moins deux endroits à la fois. C'est pourquoi le monde des particules élémentaires est beaucoup plus homogène, avec plus d'objets semblables ou identiques, que l'est notre monde usuel.

Imaginons par exemple que l'un des 2# – 1 dédoublements informes d'un ballon de football soit disséminé dans le sol lunaire. En tombant sur la Lune, une météorite n'écrase que quelques-unes des particules relatives dédoublées du ballon, dont la version terrestre ne bronche pas. Par contre, il est possible que l'un des électrons du ballon terrestre s'agite subitement quand tombe la météorite sur la Lune. Cet électron possède en effet une structure relativement simple, il est possible qu'il existe à l'état plus ou moins formé à la fois sur la Lune et sur la Terre. Un lien spatial dont la longueur varie sur la Lune, c'est en effet 2# – 2 autres liens dont la longueur varie de façon identique partout ailleurs dans l'univers, puisque 2# – 1 liens dédoublent une même boucle spatiale. Rien que de très banal ici : l'électron du ballon terrestre ne fait que subir une fluctuation quantique, dont la cause est non locale.

Remarquons aussi que le ballon terrestre, comme les pincées de sol lunaire correspondant à un dédoublement de ses particules relatives, existent localement à l'état formé. Les pincées sont une informité non locale du ballon et réciproquement, le ballon est une informité non locale des pincées. Toute informité est relative. Elle dépend d'un référentiel local, du « point de vue » de son environnement. Un objet quelconque possède ainsi une forme « complète » qui est la superposition de ses 2# – 1 informités. Ce qui correspond à la superposition de chacun des « points de vue » de 2# – 1 environnements différents. Dans l'absolu, seules existent des boucles spatiales et des particules relatives : rien ne distingue les dédoublements formés et informes.

LES VAGUES DE PARTICULES RELATIVES

> Les ondulations du vent sur un champ de blé franchissent de grandes distances, alors que les plantes restent enracinées. De la même façon, un même ensemble de particules relatives au faible degré de liberté forme brièvement les parties successives de mouvements dont l'échelle le dépasse plus ou moins. Un objet en mouvement existe pour un même ensemble de particules relatives à l'état informe avant son passage par cet ensemble ; il existe à l'état formé pendant son passage, puis il retourne à l'état informe après son passage. Ce n'est pas tant l'objet lui-même qui se déplace, que son état formé. Un tel déplacement constitue une vague de particules relatives. Plus ce mouvement se propage rapidement, plus le déplacement du corps est rapide.

Se retrouve ici la « *récurrence très rapide de forme similaire se changeant d'une façon simple et régulière* » de David Bohm, voir la citation située en haut de la présente page. Par exemple, un même ensemble de particules relatives peut constituer successivement des fragments de locomotive, puis des fragments de chacun des wagons. Lorsque le train est passé, cet ensemble de particules relatives reconstitue de l'air.

Un autre exemple : apparaissent « spontanément » dans le *vide quantique* des myriades de paires de particules subatomiques « virtuelles », aux charges de signes contraires. Elles s'annihilent très vite, il s'agit d'une sorte d'écume qui contribue à la conservation de l'énergie dans les interactions entre les particules. Sous l'action d'un évènement local ou non local, ces particules très fugaces passent d'informes à formées dans le vide quantique, avant de redevenir informes.

Il en va ainsi de tout ce qui existe à une échelle supérieure ou égale à celle des particules relatives. Tout mouvement est une succession d'informités qui se font et se défont. Bien sûr, plus l'échelle considérée est grande, plus en comparaison, les « saccades » des informités successives sont petites. Il arrive un moment où le caractère discontinu du mouvement, de l'énergie devient imperceptible, ce qui pour autant ne veut pas dire indétectable : émerge alors le monde

macroscopique.

À toutes les échelles, des myriades de vagues de particules relatives transmettent les mouvements les plus divers. Une même vague peut ainsi porter fugacement tout ou partie du mouvement de multiples particules subatomiques à la fois. Un peu comme une membrane de hautparleur peut reproduire les sons simultanés de multiples instruments de musique.

L'EFFET TUNNEL

L'effet tunnel est un exemple de non-localité. L'énergie d'un *quanton* (terme générique pour désigner un objet microscopique aux propriétés résultant de la *dualité onde-corpuscule*) est fluctuante. En vertu du *principe d'indétermination*, son énergie varie selon une plage de grandeurs possibles d'autant plus large que le laps de temps considéré est court. Il peut arriver un moment où ses fluctuations quantiques lui permettent de franchir la barrière de potentiel qui le confine, même si à priori il ne dispose pas de l'énergie nécessaire. C'est-à-dire que sa probabilité de présence est non nulle dans et hors de son puits de potentiel, même si cette probabilité décroit de façon exponentielle avec la hauteur du puits à franchir, ou avec l'épaisseur, s'il s'agit d'une barrière.

Alors, d'où proviennent ces fluctuations ? Chacun des liens spatiaux constitutifs du quanton échange aussi des mouvements avec 2# – 2 environnements non locaux. Des fluctuations plus ou moins chaotiques s'ensuivent, qui ballotent les particules relatives en un mouvement microscopique plus ou moins aléatoire. Les particules élémentaires ont ainsi une probabilité non nulle de passer de formées à informes au fond de leur puits de potentiel et d'informes à formées hors de ce puits. Cette double transformation peut être instantanée, puisqu'il n'y a pas de déplacement, il n'y a que des mêmes liens spatiaux dédoublés. C'est ce qui explique *l'effet Hartman*, le franchissement d'une barrière de potentiel par effet tunnel semble s'opérer à une vitesse supérieure à celle de la lumière.

Par exemple, dans le Soleil, la seule énergie cinétique des protons ne leur permet pas de surmonter leur répulsion électrostatique. Mais l'effet tunnel s'ajoute aux énormes température et pression ambiantes, ce qui déclenche une chaine de fusions successives *proton-proton*.

15 | Les quatre interactions élémentaires : généralités

Dernière modification de cette page en novembre 2025

> **Dans l'espace en général quadridimensionnel « extérieurement ratatiné » en un point « dans » le néant, seules des structures de liens spatiaux comptant en général au plus trois dimensions spatiales peuvent s'étendre. Résultent de cette restriction la *gravitation*, *l'interaction faible*, *l'interaction électromagnétique* et *l'interaction forte*.**

« Tout ce qui n'est pas interdit est obligatoire. »

(Murray Gell-Mann)

Il faut s'attendre à tout, ou presque.

La gravitation se calcule dans l'espace-temps réel : la *relativité* donne un aspect de l'univers tel qu'il est réellement, encore que l'abstrait *continuum espace-temps* ne correspond pas à ce que nous vivons tous les jours. Mais les trois autres *interactions élémentaires* ne se calculent que dans des *espaces mathématiques* : la *mécanique quantique* prédit avec beaucoup de précision l'évolution d'un grand nombre de phénomènes microscopiques, mais sans vraiment comprendre quelle réalité objective se cache derrière ses prédictions. Frustrant. La Description de la Cohérence Universelle transpose ce que nous apprennent ces espaces abstraits dans des espaces réels, ce qui crée des images réalistes. Nous pouvons ainsi nous représenter mentalement l'univers dans lequel nous vivons. Ce qui facilite notre recherche de réponses à nos interrogations métaphysiques.

UN ESPACE DE PLUS EN PLUS COMPLEXE

Un point de plus se crée à chaque instant de plus depuis le Big Bang. Cette accumulation générale de points, d'instants et de boucles spatiales complexifie progressivement la géométrie unidimensionnelle. Le mouvement combiné des boucles spatiales unidimensionnelles donne des objets pourvus d'une surface, d'un volume, d'un hypervolume… Toutefois, plus l'espace compte de dimensions, plus il se complexifie et plus il requiert de points. C'est pourquoi l'univers ne crée qu'un nombre limité de dimensions. Il y a actuellement assez de points, de boucles spatiales aux mouvements synchronisés, pour produire dans le relatif des espaces structurés en 3D, composantes d'un espace 4D ratatiné.

Des espaces fugaces à cinq dimensions ou plus apparaissent cependant dans les fluctuations actuelles du mouvement des boucles spatiales, mais plus le nombre de dimensions est grand, plus ils sont improbables, rares et brefs. Un espace **en général** tridimensionnel bouillonne dans un espace **en général** quadridimensionnel ratatiné « dans » le néant.

> Une 3D « floue », apparemment homogène, émerge aux échelles macroscopiques. Tandis qu'aux échelles microscopiques, le paysage est très différent. Les particules se déplacent dans un mélange hétérogène de 1D, de 2D, de 3D et de fluctuations en nD.

LA PRÉSENCE D'ESPACES PONCTUELS À PLUS DE TROIS DIMENSIONS, DANS LE RELATIF, EXPLIQUE PEUT-ÊTRE LE DÉFICIT D'ANTIMATIÈRE PAR RAPPORT À LA MATIÈRE

> Imaginons que des habitants plats vivent dans un espace en 2D. L'un d'eux regarde un chemin enroulé en spirale, dont l'entrée tourne à gauche. Un expérimentateur tridimensionnel facétieux retourne cette spirale d'un demi-tour dans son propre espace 3D : l'habitant plat voit alors l'entrée du chemin tourner à droite.
>
> Imaginons maintenant deux particules 3D aux ondes semblables. Leurs ondes sont plus ou moins en phase, elles se renforcent mutuellement et les particules sont au repos.

> Survient une main qui retourne l'une des particules dans un espace 4D. Les deux particules sont maintenant en opposition de phase : leurs mouvements respectifs se compensent de telle sorte qu'elles s'annihilent plus ou moins brutalement. Leur disparition provoque des perturbations dans les vagues de particules relatives locales, dont un jaillissement de photons.

L'antimatière est de la *matière* avec des charges inversées, par exemple, un positon est un électron avec une charge positive. Elle ne semble exister qu'en quantité infime dans l'univers : pourquoi antimatière et matière n'existent-elles pas en quantités égales ? Pourquoi ne se sont-elles pas annihilées mutuellement dès le Big Bang, pour se transformer en énergie ?

La réponse à ces questions réside peut-être dans le fait que la géométrie fluctue aux échelles microscopiques. La structure de particules de matière se retourne parfois dans des espaces en 4D locaux et fluctuants, eux-mêmes plongés dans des espaces en 5D locaux, fluctuants et ratatinés, ce qui transforme ces particules en antiparticules. Il y a alors inversion de la parité (la rotation d'une particule apparait comme vue réfléchie dans un miroir). La charge s'inverse elle aussi, quand il y en a une. Nous verrons plus loin qu'elle correspond à des transformations d'espaces 2D. Ces retournements demandent une énergie supplémentaire, ce qui les rend moins probables qu'une absence de retournements. Il s'agit plus d'exceptions que de la règle, alors il y a plus de matière que d'antimatière.

Les particules dont la charge est neutre peuvent cependant être leur propre antiparticule. C'est le cas du photon, particule porteuse de l'interaction électromagnétique, du boson Z^0, l'une des trois particules porteuses de l'interaction faible, comme des huit gluons, médiateurs de l'interaction forte. Mais pas du neutron, dont les trois quarks constitutifs sont chargés. Cette absence d'antiparticule distincte est particulièrement logique pour le photon, qui se déplace constamment à la vitesse indépassable de la lumière : aucun mouvement de retournement ne peut s'ajouter à sa vitesse limite.

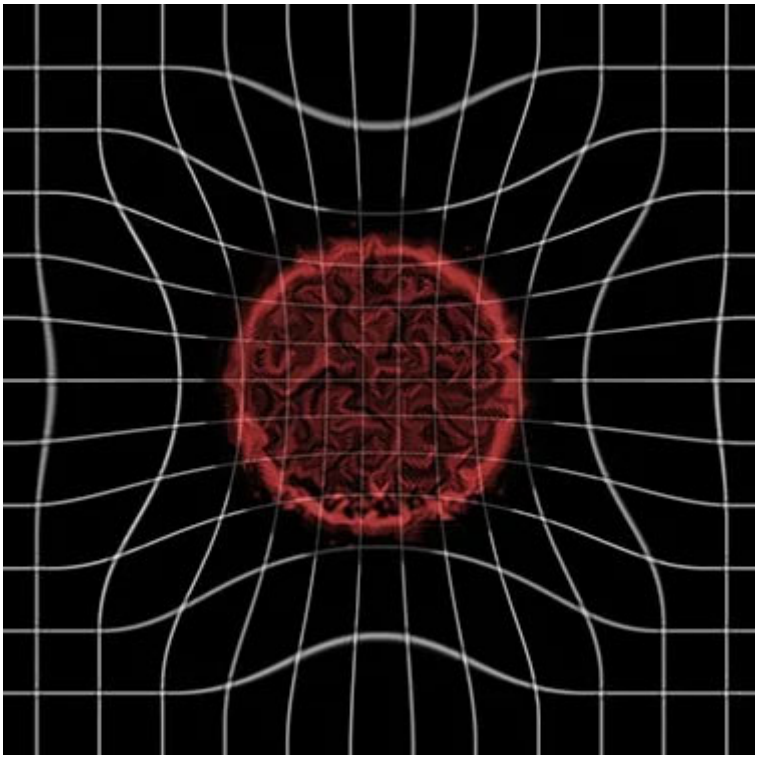
L'antimatière résulte ici d'une inversion spatiale, alors que, d'après les

diagrammes de Feynman, elle résulte d'une inversion temporelle. Ces deux interprétations sont équivalentes dans le cadre du continuum relativiste d'espace-temps.

UNE MULTIPLICATION DE CHEMINS

Un point de plus se crée à chaque instant de plus. Cette complexification spatiale augmente le nombre des variations de longueur de boucles spatiales, synchronisées ou non, consécutives ou non. Elle augmente du même coup, dans le relatif, le nombre de chemins de propagation du mouvement. Ce qui permet au mouvement des particules relatives de suivre simultanément au moins autant de chemins différents qu'il existe de dimensions différentes. Or, l'énergie des particules relatives, donc leur masse ($E = mc^2$), dépend de la fréquence de leur mouvement et de leur vitesse relative. La masse suit donc elle aussi des chemins différents. De la masse se déplace en 1D, en 2D, en 3D… mais pas en 4D plongée « dans » le néant, où tout se ratatine « extérieurement » en un point. En fait si, dans la 4D aussi, mais de façon fugitive, ponctuelle, quand la complexité spatiale de l'univers crée brièvement des « bulles de 4D ou plus » dans une 5D ou plus ratatinée.

À toutes les échelles, des mouvements plus ou moins synchrones de particules relatives créent dans l'espace-temps des chemins plus ou moins sinueux : des « géodésiques », c'est-à-dire des géométries particulières, d'où résultent les quatre interactions fondamentales.



Le champ gravitationnel d'une étoile dévie les géodésiques de l'espace-temps local, conformément à la *relativité générale*.

Les propriétés intrinsèques de l'espace-temps se modifient au voisinage d'une masse : l'espace-temps se courbe, ce qui dévie localement les trajectoires. En quelque sorte, l'objet va tout droit dans un espace courbe, où il suit le chemin de moindre résistance. De telles variations géométriques existent dans tous les sous-espaces possibles en 4D. Elles créent la gravitation et les trois autres interactions fondamentales.

THEODOR KALUZA ÉTAIT SUR LA BONNE VOIE

Les coordonnées nécessaires pour repérer un point indiquent le nombre de dimensions d'un espace. Par exemple, il en faut deux pour repérer un point sur une surface : une surface est donc un espace à deux dimensions.

La relativité ajoute une coordonnée temporelle à une géométrie tridimensionnelle d'espaces courbes (riemannienne). Elle homogénéise ainsi abstraitement l'espace et le temps en un continuum espace-temps quadridimensionnel. Même si l'espace et le temps sont de natures différentes : il est possible d'opérer un

demi-tour dans l’espace, mais ce n’est pas possible dans le temps.



Theodor Kaluza, enseignant à Kiel, en Allemagne, en 1929

En 1919 le physicien et mathématicien allemand Theodor Kaluza recalcule les équations de la relativité générale dans une métrique riemannienne à cinq dimensions (quatre dimensions spatiales et une temporelle). À l’espace-temps classique à quatre dimensions s’ajoute une cinquième dimension spatiale invisible, interne, qui se situe à part des trois dimensions spatiales classiques pour simplifier les calculs. La gravitation dans cet espace-temps en cinq dimensions, projetée dans notre espace-temps en quatre dimensions, redonne la gravitation plus l’électromagnétisme, ainsi que le champ scalaire d’une particule hypothétique, le radion. Soit la gravitation décrite par la relativité dans un espace-temps à quatre dimensions, à laquelle s’ajoute l’électromagnétisme décrit par les équations de Maxwell. Les équations de la relativité générale concernant la gravitation, d’une part, et les équations de Maxwell concernant l’électromagnétisme, d’autre part, apparaissent ainsi comme des expressions symétriques dans le cadre d’une même géométrie fondamentale à cinq dimensions d’espace-temps. Les propriétés quantiques (discrètes) de la matière aux échelles microscopiques ne sont malheureusement pas au rendez-vous de cette unification, qui préfigure pourtant la théorie des cordes. En outre, il n’existe

pas seulement deux interactions fondamentales, mais quatre : l'interaction faible et l'interaction forte ont été découvertes depuis. Ces résultats étaient néanmoins assez étonnants pour justifier des recherches supplémentaires, pour savoir où ils menaient.

Puis la *théorie de Kaluza-Klein* reprend cette idée d'une dimension d'espace supplémentaire. Elle l'enroule à la longueur de Planck, c'est-à-dire 10^{-33} cm, pour la dissimuler, puisque notre espace usuel ne compte que quatre dimensions d'espace-temps. Mais cette *réduction dimensionnelle* apporte des rigidités incompatibles avec les courbures gravitationnelles de l'espace-temps de la relativité générale. La *théorie des supercordes* va plus loin : elle fait vibrer des particules filiformes dans un espace-temps à dix ou onze dimensions. Mais les supercordes ne sont pas des liens spatiaux, puisqu'elles vibrent *dans* l'espace-temps, où leurs mouvements décrivent des « surfaces d'univers ». Alors que les liens spatiaux *sont* l'espace-temps. Dans la théorie des supercordes, les phénomènes se produisent dans une sorte d'espace-temps newtonien, quasi statique. Alors qu'ici, ils émergent d'un espace-temps dynamique. De plus, la longueur des supercordes se limite aux échelles microscopiques (10^{-33} cm), alors que celle des boucles spatiales s'étend à toutes les échelles. La logique des supercordes et celle des boucles spatiales sont différentes.

> **Nous verrons dans les pages suivantes que seule une « hyperdimension » supplémentaire est nécessaire pour qu'apparaisse une symétrie entre les quatre interactions fondamentales. À nos trois dimensions spatiales usuelles hauteur / largeur / profondeur, qui avec l'adjonction du temps, expliquent la gravitation, s'ajoute une quatrième dimension spatiale cachée, qui permet la coexistence des quatre interactions fondamentales. Il s'agit en quelque sorte d'une esquisse actualisée des idées de base de Theodor Kaluza.**

« DANS » LE NÉANT

Rappelons-nous l'axiome trivial de la géométrie « dans » le néant, vu dans la section consacrée au *Big Bang*. *« Quand il n'y a pas d'espace entre deux*

objets, ces objets sont en contact ». Puisqu'il n'y a pas d'espace à l'extérieur d'une boule de billard plongée « dans » le néant, tous les points de sa surface se rejoignent en un même point. La boule est alors on ne peut plus ratatinée.

> Seul un système « situé dans » le néant subit l'effet « géométrie dans le néant ». Si au moins une dimension supplémentaire l'habille, alors l'effet « géométrie dans le néant » disparait. Dans ce cas, les boules de billard 3D redeviennent sphériques, pourvu qu'un espace 4D les sépare du néant. C'est ce qui justifie la restriction selon laquelle, dans l'espace en général quadridimensionnel « extérieurement ratatiné » en un point « dans » le néant, seules des structures de liens spatiaux comptant en général au plus trois dimensions spatiales peuvent s'étendre.

Avec ses ensembles dédoublés de liens spatiaux, l'espace-temps constitue un tissu qui se transforme de façon hétérogène à chaque instant. Des myriades de configurations géométriques s'imbriquent les unes dans les autres. Mais « dans » le néant, tout n'est pas pour autant possible. Toute géométrie comptant un nombre n de dimensions ne peut comporter des structures qui s'étendent et évoluent que si elle est elle-même plongée dans une autre géométrie, qui comporte un nombre de dimensions supérieur à n.

Or l'espace que nous observons autour de nous, d'une part, est tridimensionnel, d'autre part, est fluide. Si notre espace tridimensionnel n'est pas solidement ratatiné, plus effondré sur lui-même que le centre d'un trou noir, c'est qu'il se situe ailleurs que « dans » le néant. Donc dans un espace plus vaste que lui-même, ce qui lui épargne l'effet « géométrie dans le néant ». Cet espace plus vaste, c'est un espace à quatre dimensions spatiales, composante d'un espace-temps à cinq dimensions.

QUATRE DIMENSIONS ET QUATRE ESPACES 3D

Combien de sous-ensembles 3D un ensemble 4D comporte-t-il ? La formule très simple qui permet de calculer le nombre tri de triplets possibles pour n éléments distincts est :

$$tri_n = [n(n - 1)(n - 2)]1/6$$

Il existe donc pour 4 dimensions :

$$tri_4 = [4(4 - 1)(4 - 2)]1/6$$

Soit 4 sous-ensembles 3D pour 4 dimensions spatiales.

Il existe en effet :

- hauteur / largeur / profondeur
- hauteur / largeur / hyperdimension
- largeur / profondeur / hyperdimension
- profondeur / hauteur / hyperdimension

Il suffit d'ajouter une seule dimension spatiale à nos trois dimensions classiques hauteur / largeur / profondeur, pour obtenir trois univers tridimensionnels supplémentaires équivalents au nôtre ! Une quatrième dimension spatiale est indispensable à l'habillage de l'effet « géométrie dans le néant ».

Ces quatre univers 3D ne sont pas aussi « parallèles » qu'ils le paraissent. Chacun d'eux partage deux dimensions spatiales et la vitesse limite d'un point par instant avec chacun des trois autres. Ils sont imbriqués les uns dans les autres. Une forte interdépendance unit ainsi les quatre grandes divisions géométriques de l'espace 4D ratatiné.

Les espaces bidimensionnels qui appartiennent en commun à deux univers sont des espaces 2D plongés dans des univers 3D. Ce qui se traduit par les distorsions 2D de l'interaction faible et de l'électromagnétisme : cette question sera abordée plus loin.

> **Dans notre espace 3D usuel, l'espace se subdivise en espaces 1D, 2D et 3D. Ce qui provoque des distorsions géométriques, d'où résultent en 1D l'espace tel qu'il est dans l'absolu, en 2D les interactions faible, électromagnétique, forte et en 3D la gravitation. Ces**

> **espaces hétérogènes et imbriqués guident le comportement des particules.**

Remarquons en outre qu'une sphère existe en 3D, mais que sa surface est en 2D. De la même façon, une hypersphère en 4D possède une « hypersurface » – qui est en fait un volume – en 3D. Les quatre univers 3D partagent ainsi la « surface » 3D de l'univers 4D ratatiné. Mais ils n'en partagent pas l'hypervolume, ce qui les « isole » du néant.

CHACUN DES QUATRE UNIVERS INTERFÈRE AVEC CHACUN DES TROIS AUTRES

Chacun des quatre univers peut se relier à l'un des trois autres par un espace 2D autorisé. Cette liaison spatiale s'opère à toutes les échelles, elle est très diffuse, très homogène, mais dans un espace fini, cette uniformité n'est pas infinie. Des distorsions spatiales se font ressentir partout, sous de multiples formes, elles entrainent des perturbations locales qui s'accumulent. Des inhomogénéités, telles que les *oscillations acoustiques baryoniques* sont ainsi apparues très tôt dans l'histoire de l'univers, dont le *fond diffus cosmologique* garde l'empreinte. La matière s'est concentrée dans les zones denses sous l'effet de la gravitation, ce qui a donné une distribution particulière des galaxies, avec une distance caractéristique actuelle *d'environ 150 mégaparsecs*. La *matière noire*, comme la matière ordinaire, ne se répartit pas uniformément dans le cosmos, elle contribue à former la *toile cosmique*.

ET LE MULTIVERS, DANS TOUT ÇA ?

La notion *d'univers parallèle* apparait très tôt dans l'histoire, avec de multiples *au-delà*, qui coexistent avec notre monde habituel. Elle se rapproche aujourd'hui de la science, sans quitter le domaine de la métaphysique, puisqu'aucune preuve expérimentale ne l'étaye. Notre Soleil est une étoile banale parmi un grand nombre d'autres, notre galaxie est un ilot banal parmi un grand nombre d'autres, peut-être que notre univers est un macrocosme banal parmi un *grand nombre d'autres*, ce qui fonde différentes hypothèses coperniciennes, comme *l'inflation éternelle*, où de nouveaux univers engendrent à l'infini de nouveaux univers…

Il n’y a ici que quatre modestes univers imbriqués. Quoique… La création d’un point de plus à chaque instant de plus ne s’arrête jamais. L’augmentation de l’espace-temps tend vers l’infini. Alors qu’est-ce que la nature va faire de cet espace-temps qui tend vers l’infini ? Augmenter la complexité des quatre univers déjà existants ? Créer de nouveaux univers ? Les deux ? Un foisonnement d’univers luxuriants formerait une belle négation dialectique du néant…

16 | La gravitation et la masse

Dernière modification de cette page en novembre 2025

Dans l'espace en général quadridimensionnel « extérieurement ratatiné » en un point « dans » le néant, seules des structures de liens spatiaux comptant en général au plus trois dimensions spatiales peuvent s'étendre. Résultent de cette restriction la *gravitation*, *l'interaction faible*, *l'interaction électromagnétique* et *l'interaction forte*.

« Une nouvelle idée de gravitation quantique, apparue ces six dernières années, est la théorie des boucles : Abhay Ashtekar et ses collègues de l'université de Syracuse ont trouvé une réécriture des équations de la relativité générale qui rapproche ces équations des équations de l'électrodynamique quantique. Cette réécriture leur permet de traiter la gravitation comme un phénomène de mécanique quantique, sans rencontrer les problèmes mathématiques qui ont bloqué d'autres tentatives. Selon cette théorie, l'espace n'est plus une entité continue, mais une sorte de cotte de mailles, composée de boucles minuscules et enchevêtrées. » (Magazine Pour la Science, numéro 198 d'avril 1994)

Il s'agit ici des « boucles spatiales » de la *gravitation quantique à boucles*. La gravitation relativiste « classique » est un espace-temps courbe, mais continu, ce qui la rend divisible à l'infini et *« singulière »* aux plus petites échelles. Une reformulation quantique du champ gravitationnel

> relativiste donne des quanta d'espace contigus, dont la géométrie est celle de « réseaux de spins », dans des états quantiques superposés. De la gravitation ainsi quantifiée aux petites échelles émerge l'espace-temps des grandes échelles.

INERTIE, MASSE ET GRAVITATION SONT TROIS EFFETS DE LA LIMITE D'UN POINT PAR INSTANT

Des interférences locales synchronisent le mouvement de boucles spatiales. L'unité de ce mouvement crée dans le relatif un assemblage de particules. **Plus le mouvement de ces interférences est important, plus les particules relatives constitutives de cet assemblage plafonnent en nombre croissant à la vitesse limite d'un point par instant.** Il s'ensuit dans le relatif une résistance croissante de l'assemblage à son accélération. Plus il y a d'accélération de mouvement, plus il y a de résistance à cette accélération.

Et plus le nombre de particules relatives en mouvement est important, plus, là encore, il y a de résistance au mouvement.

> Apparaissent ainsi deux causes à la résistance au mouvement : la quantité de mouvement et la quantité de particules relatives. Un objet qui accélère à une certaine vitesse oppose plus de résistance à cette accélération qu'un objet semblable, qui accélère moins vite ; un objet massif oppose plus de résistance à son accélération qu'un objet moins massif.

UN RALENTISSEMENT RELATIF DES HORLOGES

Un objet possède des particules relatives qui interagissent avec l'espace-temps constitué de points et d'instants qui l'environne. Plus cet objet compte de boucles spatiales dont le mouvement est « freiné » par la limite d'un point par instant, plus il « freine » aussi ses échanges de mouvements avec les boucles spatiales de l'espace-temps qui l'environne : *son temps propre ralentit*. Par exemple, la fréquence des rayons lumineux baisse au voisinage d'une masse, c'est-à-dire que les durées ralentissent localement. Comme le tictac d'une horloge est plus

lent au niveau de la mer qu'en altitude, où la gravité est plus faible. Il baisse aussi quand la latitude se rapproche de 0°, puisque la vitesse de rotation de la Terre est plus élevée à l'équateur qu'aux pôles. En pratique, ces décalages sont infinitésimaux. Mais le fait demeure : un temps unique, absolu, universel n'existe pas.

Si nous pouvions observer depuis l'extérieur, depuis un référentiel non accéléré, une fusée s'approcher de la vitesse de la lumière, nous la verrions progressivement se « figer » dans le temps, puisque toutes ses évolutions tendraient à se « bloquer » à la vitesse indépassable d'un point par instant. Son déplacement consommerait en outre une énergie qui tendrait vers l'infini, puisque son inertie tendrait elle aussi vers l'infini. C'est pourquoi les corps massifs ne peuvent pas atteindre la vitesse de la lumière.

Les particules relatives aux mouvements plus ou moins « plafonnés » entrainent une dilatation gravitationnelle locale du temps, en comparaison avec le temps propre d'un *référentiel galiléen*. Il s'ensuit que deux masses dont les mouvements respectifs sont différents, par rapport à un référentiel galiléen, ont des temps propres différents, qui dépendent de la vitesse de leur mouvement relatif, du nombre de leurs particules relatives constitutives (de leur masse) et de leur densité respective en particules relatives.

LA DENSITÉ CONTRAIGNANTE DES ENSEMBLES DE PARTICULES RELATIVES

Plus des particules relatives s'assemblent avec une densité élevée, plus les liens spatiaux qui les relient sont courts. Donc, plus ces liens oscillent à des fréquences élevées pour transmettre du mouvement et plus la limite d'un point par instant freine leurs mouvements. Plus le mouvement d'un fort pourcentage de particules relatives atteint la limite infranchissable d'un point par instant. Une concentration de particules relatives augmente ainsi les contraintes spatiotemporelles locales.

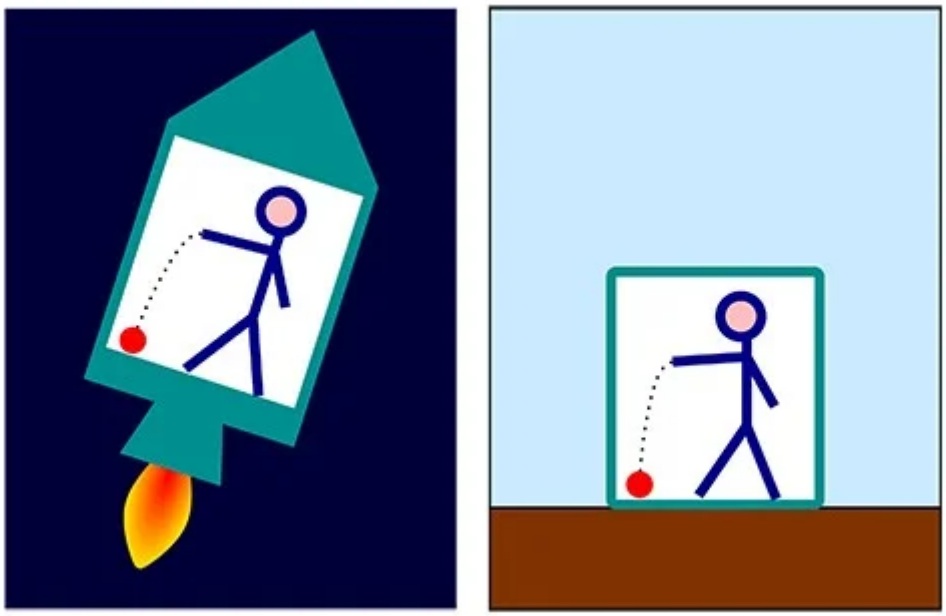
> La soupe constitutive extraordinairement dense des *étoiles à neutrons* restreint la liberté de mouvement de tout ce qui s'y compresse. Le ralentissement des particules relatives pèse lourdement sur les échanges de points, d'espace, tant à

> l'intérieur de l'étoile, qu'avec son environnement proche. Les masses y sont considérables, de l'ordre du milliard de tonnes pour une lampée. Et la dilatation gravitationnelle locale du temps est elle aussi considérable.

Plus il y a de fixations microscopiques dans la vitesse de la lumière, plus il y a de contraintes. Plus le mouvement d'une vague de particules relatives se heurte à la limite d'un point par instant et plus la vague se comporte comme une entrave dans ses échanges de mouvements avec les vagues environnantes. Elle s'entoure en quelque sorte d'une « mélasse ». Elle ralentit d'autant plus le mouvement des vagues environnantes qu'elles sont proches d'elle. Les échanges de mouvements entre deux objets sont ainsi doublement ralentis par les vagues les plus locales et par les vagues environnantes. Mais les échanges de mouvements de chacun de ces deux objets avec le reste de l'univers sont plus diversifiés, plus libres que localement et plutôt moins ralentis. Autrement dit, la quantité de mouvement, la « pression », qui s'exerce entre les deux objets, est plus faible que celle qui s'exerce entre chacun d'eux et le reste de l'univers. Le résultat, c'est que le reste de l'univers « pousse » les deux objets l'un vers l'autre. C'est pourquoi la gravitation est toujours attractive, elle n'est jamais répulsive. C'est aussi la plus faible des quatre *interactions élémentaires*, parce que la « poussée extérieure » s'exerce dans toutes les directions ; une différence locale n'est qu'une composante de mouvement parmi beaucoup d'autres.

> D'après la *relativité générale*, toute *masse* ralentit son temps propre, ce qui courbe les géodésiques du continuum espace-temps local. L'espace-temps s'évase progressivement jusqu'au centre de la masse, ce qui donne une géométrie riemannienne 3D+temps en « entonnoir ». Cet espace-temps dévie les trajectoires de telle sorte que la matière tend à s'y concentrer : il y a attraction gravitationnelle. Les corps suivent des géodésiques dans l'espace-temps, qui se resserrent plus ou moins ; l'existence d'une « force » à l'origine de leur « attirance » gravitationnelle n'est qu'apparente. Ce qui existe, c'est une géométrie spatiotemporelle déformée.

LE PRINCIPE D'ÉQUIVALENCE ACCÉLÉRATION – GRAVITATION



Une accélération est *équivalente* à une gravité. C'est l'un des principes de base de la relativité d'Albert Einstein.
(Image : Wikipédia)

Le mouvement des particules relatives constitutives d'une fusée au repos est très complexe : le mouvement de certaines particules relatives est proche de, ou atteint, la limite d'un point par instant. Lorsque la fusée en mouvement accélère, un nombre croissant de ses liens spatiaux atteignent la limite d'un point par instant, ses contraintes spatiales, sa résistance inertielle augmentent. Dans la fusée, la résistance inertielle des corps augmente aussi, ce qui crée l'équivalent d'une gravité locale d'autant plus écrasante qu'il y a d'accélération. À cette nuance près que les vecteurs représentant cette gravité artificielle sont parallèles, alors que ceux représentant la gravité terrestre convergent vers le centre de la Terre.

Même phénomène sur Terre, ou sur une autre planète, où la concentration locale de liens spatiaux contraint les mouvements, ce qui là aussi crée une résistance spatiotemporelle. Un nombre énorme de liens spatiaux forment la Terre et ils échangent intensément du mouvement. Dans ce chaos, beaucoup atteignent la limite d'un point par instant, ce qui est à l'origine de la masse et de l'inertie terrestres. Les interactions ralenties de ces mouvements contraints ne se limitent

pas à la planète, ils créent le champ gravitationnel terrestre, qui se dilue progressivement dans le système solaire.

Plus un corps en chute libre dans le champ gravitationnel terrestre accroit son accélération et plus la limite d'un point par instant bloque la vitesse d'un nombre croissant de ses liens spatiaux, ce qui augmente son inertie, sa résistance à sa propre accélération. Cette résistance compense l'effet du champ gravitationnel terrestre, parce que les deux effets s'exercent sur un même corps, avec les mêmes « paliers » d'un point par instant, mais dans des directions opposées. Le corps en chute libre est alors en apesanteur. En quelque sorte, les corps en chute libre se « raccrochent » à la vitesse limite d'un point par instant, ce qui les empêche de tomber à une vitesse infinie vers leur point de chute.

La vitesse limite d'un point par instant s'exerce de la même façon sur tous les corps, indépendamment de leur masse au repos ou de leur composition chimique : une petite bille en verre et une grosse boule métallique de pétanque tombent toutes les deux à la même vitesse dans une fusée en accélération, comme dans un champ gravitationnel.

> Qu'il s'agisse d'une accélération ou d'un champ gravitationnel, c'est toujours la même limite indépassable d'un point par instant qui est à l'œuvre.

17 | L’interaction faible

Dernière modification de cette page en mars 2026

Dans l’espace en général quadridimensionnel « extérieurement ratatiné » en un point « dans » le néant, seules des structures de liens spatiaux comptant en général au plus trois dimensions spatiales peuvent s’étendre. Résultent de cette restriction la *gravitation*, *l’interaction faible*, *l’interaction électromagnétique* et *l’interaction forte*.



Les *bosons* sont des particules – les *quanta* d'un *champ* – qui transmettent une interaction – faible, électromagnétique ou forte. Ils peuvent être chargés, comme les gluons de l'interaction forte, dans ce cas, ils interagissent entre eux. Ou non chargés, comme les photons de l'interaction électromagnétique, dans ce cas, ils n'interagissent pas entre eux. Ils ont une masse – ou pas. Le graviton, l'hypothétique boson de la gravitation, reste pour l'heure indétectable.

QU'EST-CE QUE L'INTERACTION FAIBLE ?

Les bosons W^+, W^- et Z^0 sont les médiateurs de la charge faible, qui s'exerce sur les particules subatomiques, les bosons exceptés. Ils possèdent une masse très élevée, ce qui correspond à une fluctuation quantique très brève, leur champ d'action est très court. Ils ne transmettent pas d'attraction ou de répulsion. Mais ils changent l'état des particules de telle sorte qu'elles se désintègrent en d'autres particules et/ou antiparticules. Par exemple, l'échange d'un boson W entre un neutron et un proton convertit un neutron (udd) en proton (uud) en

changeant un *quark* down d en quark up u (un électron et un antineutrino sont alors émis). Réciproquement, un proton se transforme en neutron en changeant l'un de ses deux quarks up en un quark down (un positon et un neutrino sont émis). Il s'agit là de la *radioactivité* $\beta^{\pm}$. Lorsque deux protons fusionnent au cœur d'une étoile, sous l'effet de la gravité et de la température, l'interaction faible les transforme en un neutron, ce qui, après la capture d'un nouveau proton, donne un noyau de deutérium, un isotope de l'hydrogène – un noyau de tritium se crée avec un proton et deux neutrons. Puis *d'autres fusions* se déclenchent. Elles donnent de l'hélium, avec un puissant dégagement d'énergie, pendant la *séquence principale* de la vie de l'étoile. Les fusions successives créent des atomes de plus en plus lourds, par différents chemins, dans les étoiles d'au moins 1,5 masse solaire, où leur énergie contribue à compenser la gravité. Elles parviennent jusqu'au fer dans les étoiles d'au moins *huit masses solaires*, qui sont aussi les plus chaudes. Mais un cœur en fer est inerte, il se contracte sous l'effet de la gravité sans libérer d'énergie. À ce stade, les couches supérieures de l'étoile s'effondrent et elles rebondissent sur le cœur effondré, ce qui donne une *supernova*. Les éléments plus lourds que le fer se créent lors d'évènements cataclysmiques, comme *l'explosion d'une supernova* ou la *fusion d'étoiles à neutrons*. Des combinaisons complexes de particules se produisent alors plus vite qu'elles se désintègrent. Un paisible objet en or par exemple, cache la violente origine de ses atomes. Dans ces évènements successifs, l'interaction faible agit en arrière-plan.

L'interaction faible change la *saveur* des quarks, c'est-à-dire leur type, tandis que ses effets diffèrent selon *l'hélicité* gauche ou droite des particules. Les neutrinos ne connaissent qu'une hélicité négative (leur spin pointe dans le sens opposé à la direction du déplacement) : leur projection dans un miroir (avec une inversion supplémentaire entre le haut et le bas) n'existe pas dans la nature. L'hélicité des antineutrinos est positive. Les neutrinos ne sont sensibles qu'à l'interaction faible et à la gravitation. Quant aux électrons, ils ne voient que l'interaction électromagnétique si leur hélicité est droite, mais ils voient conjointement les interactions électromagnétiques et faibles si leur hélicité est gauche.

L'interaction faible ne possède qu'une portée restreinte aux échelles subatomiques, du fait de ses bosons massifs. Elle s'inscrit néanmoins dans le cadre théorique de *l'interaction électrofaible*, qui l'unifie à l'interaction

électromagnétique, dont la portée est infinie, du fait de l'absence de masse du photon. Les bosons W^+ et W^- sont chargés électriquement.

Le champ de l'interaction faible est des milliers de fois plus faible que celui de l'interaction électromagnétique, un million de fois plus faible que celui de l'interaction forte. Mais plus l'énergie des particules augmente, plus ce champ faible s'intensifie, jusqu'à rejoindre celui de l'interaction électromagnétique. Ce phénomène était peut-être à l'œuvre pendant la première seconde qui a suivi le Big Bang.

TROIS DIMENSIONS DONNENT TROIS BOSONS

Il y a interaction faible lorsqu'il y a un espace 3D comportant de l'hyperdimension. Une particularité importante : l'existence d'une incompatibilité géométrique avec notre espace 3D ne comportant pas d'hyperdimension. Trois espaces 3D comportant de l'hyperdimension se projettent donc en 2D autorisés dans notre 3D dimensionnelle :

- hauteur + largeur + hyperdimension cachée
- largeur + profondeur + hyperdimension cachée
- profondeur + hauteur + hyperdimension cachée

Par « hyperdimension cachée », entendons des basculements permanents de l'hyperdimension dans notre espace 3D, en hauteur, en largeur, ou en profondeur.

Un hyperobjet 3D peut exister conjointement dans un hyperespace 3D n'appartenant pas à notre espace usuel et dans un espace 2D sans hyperdimension appartenant à notre univers usuel.

Ces transformations incessantes de la géométrie 3D hyperdimensionnelle, dans notre espace usuel, aux échelles microscopiques, créent des perturbations spatiales particulières : les vagues de particules relatives constitutives des bosons W^+, W^- et Z^0, médiateurs de la charge faible. Ces trois particules nous apparaissent donc comme des objets 2D ne comportant que les deux dimensions autorisées, unissant notre espace usuel aux espaces 3D comportant de l'hyperdimension. Elles se présentent à nous sous des angles tels que nous

ne voyons pas leur hyperdimension. C'est-à-dire sous la forme de combinaisons d'espaces 2D hauteur + largeur, largeur + profondeur, profondeur + hauteur. Un même hyperobjet 3D se voit dans notre univers comme la combinaison de trois objets 2D.

Aux échelles microscopiques, l'espace « jongle » ainsi en permanence avec les dimensions. Ce qui provoque des compositions et des décompositions géométriques. Une « mousse » spatiale 3D résulte ainsi des transformations incessantes d'espaces « interdits » dans notre 3D usuelle, elle crée des vagues plus ou moins hétérogènes de particules relatives, avec des contraintes spatiotemporelles liées à la vitesse limite d'un point par instant. Deux cas de figure opposés peuvent se produire :

- Ou bien la limite d'un point par instant freine localement l'énergie de la « mousse » spatiale 3D, ce qui produit des particules 2D avec une masse, une courte portée et une durée de vie courte.
- Ou bien la limite d'un point par instant reste sans effet supplémentaire sur des particules 2D qui ne connaissent que la vitesse d'un point par instant, en suivant les géodésiques plus ou moins chaotiques d'espaces 2D. De telles particules sont alors sans masse, de portée infinie et elles peuvent subsister indéfiniment si aucune particule n'absorbe leur énergie.

Cette symétrie *« brisée »* unifie ainsi les deux interactions faible et électromagnétique en une interaction électrofaible. Dans le premier cas, elle donne l'interaction faible, dont les bosons W^+, W^- et Z^0 sont les particules médiatrices. Dans le second cas, elle donne l'interaction électromagnétique, dont le photon est la particule médiatrice.

Les espaces 2D peuvent être « compliqués » puisqu'associés à un hyperespace 3D. Ils peuvent aussi être « simples » lorsqu'une particule n'a besoin que d'espaces 2D « ordinaires » pour se propager, ce qui est le cas du photon, le boson de l'interaction électromagnétique. À l'opposé des bosons W^+, W^- et Z^0, cette particule est une interférence à ce point minimaliste qu'elle n'a pas de masse, ce qui lui permet de glisser sans retenue dans les espaces 2D à la vitesse de la lumière et de posséder une portée infinie. Le fait de se retourner dans un espace 3D ne change rien pour elle : elle est sa propre antiparticule.

Les espaces 2D subissent ainsi une brisure spontanée de symétrie.

Les bosons W^+, W^- sont la projection dans notre 3D usuelle d'une même hyperparticule 3D. Nous les voyons en quelque sorte comme les deux faces d'une même pièce. C'est-à-dire que nous voyons une onde 2D et sa projection 2D inverse : l'une de ces deux particules nous apparait comme l'antiparticule de l'autre. Mais les combinaisons 2D permettent à l'hyperparticule 3D de se projeter d'une troisième façon dans notre espace usuel 3D, ce qui donne le boson Z^0, électriquement neutre. Cette hyperparticule se case alors comme elle peut, là où il lui reste localement de la place, là où elle ne se projette pas déjà comme paire W^+, W^-. Elle possède ainsi un comportement plus ou moins erratique : *« il existe en tout 24 modes de désintégration du boson Z »* *(Wikipédia)*.

Cette triple projection 2D dans notre univers est combinée, puisqu'elle provient d'une même hyperparticule. Il en résulte des contraintes spatiales et des limitations d'un point par instant dans ses mouvements, ce qui contribue à donner une masse aux bosons W^+, W^- et Z^0. Il en résulte aussi un champ aux mouvements combinés, le *champ de Higgs électrofaible*, qui oppose une résistance à l'accélération des particules. Ces mouvements produisent les interférences typiques du *boson de Higgs*.

SYMÉTRIES CACHÉES

Il semble facile pour chaque dimension de notre espace 3D de se changer en une autre dimension : par exemple, quand un morceau de sucre posé verticalement bascule, sa hauteur se transforme en largeur. Mais l'interaction faible complique cette simplicité parce qu'elle met en jeu des particules plongées dans des espaces qui comportent une hyperdimension interdite dans notre espace 3D. Entre les trois espaces 3D hyperdimensionnels et notre espace 3D usuel, tout se joue en 2D, dans les trois espaces 2D autorisés, dont la polarisation reste localement plus ou moins localement synchronisée, du fait qu'ils reflètent une même hypermatière. Le mouvement 3D résultant, en trois fois 2D, est *polarisé*. Cette polarisation du mouvement d'un hyperobjet 3D projeté trois fois en 2D autorisée n'existe intégralement que dans quatre espaces, où elle se répartit : un espace hyperdimensionnel 3D et trois espaces dimensionnels 2D dans notre espace usuel. La symétrie de cette polarisation se répartit elle

aussi entre un espace hyperdimensionnel 3D et trois espaces dimensionnels 2D. Ce qui signifie qu'il en manque un bout dans notre seul espace dimensionnel. Des symétries existent dans la nature, dont une partie se cache dans les espaces hyperdimensionnels.

> **Une illustration imagée de symétrie cachée**
> Une horloge 2D à cadran repose à plat dans un espace 2D horizontal, plongé dans un espace 3D. Vue depuis le 6 en 2D, la pointe de l'aiguille de l'horloge tourne vers la gauche avec un cadran tourné vers le haut, ou vers la droite avec un cadran orienté vers le bas. Du strict point de vue de l'espace 2D, la situation est donc binaire. Quand l'aiguille se déplace vers la gauche, elle n'a pas de symétrie « rotation vers la droite » et quand elle se déplace vers la droite, elle n'a pas de symétrie « rotation vers la gauche ». Mais vue depuis un espace 3D, les deux déplacements « vers la gauche » et « vers la droite » existent symétriquement, puisqu'il est possible de les voir conjointement sous une infinité d'angles. Il est notamment possible de retourner l'observation et d'inverser le haut et le bas, ce qui n'est pas possible en 2D, où il n'y a pas d'épaisseur.

C'est pourquoi l'interaction faible contribue à briser la symétrie entre la matière et l'antimatière. Par exemple, le neutrino, dont l'hélicité est toujours gauche, ne possède pas d'antiparticule dont l'hélicité tournerait elle aussi à gauche. Et réciproquement, à l'antineutrino, dont l'hélicité est toujours droite, ne correspond pas un neutrino droit. Ces deux (anti)particules ne sont sensibles qu'à l'interaction faible, origine de la radioactivité β qui les émet.

Les antineutrinos ne seraient-ils pas des neutrinos qui remontent le cours du temps ? Leur hélicité resterait ainsi elle aussi gauche, mais dans le sens futur – passé. Nous retrouverions ainsi leur symétrie matière-antimatière perdue. Hé bien non, c'est impossible, parce qu'un point de plus à chaque instant de plus, cela ne donne pas un passé et un futur symétriques. L'écoulement du temps ne peut aller que de moins de points vers plus de points. Remonter le cours du temps est impossible. Les antineutrinos suivent donc le cours du temps.

TRANSFORMATIONS DE PARTICULES ET DÉSINTÉGRATIONS

Lorsqu'un hyperobjet 3D se retourne conjointement dans son espace hyperdimensionnel et en 2D dans notre espace usuel, de notre point de vue, ses deux ou trois faces complémentaires 2D se transforment l'une en l'autre. C'est un peu comme un chou-fleur situé entre deux miroirs, dans lesquels il se reflète. Que les deux miroirs opèrent une demi-révolution autour du chou et il nous semble qu'ils se changent l'un en l'autre. (La métaphysique n'est plus ce qu'elle était.) Les particules qui reflètent dans notre espace une même hyperparticule se changent ainsi plus facilement entre elles qu'avec les autres particules. Par exemple, le kaon neutre et l'antikaon neutre sont des particules instables qui ont le temps de se changer l'une en l'autre, *d'osciller*, avant de se désintégrer. Quant aux neutrinos solaires, une partie d'entre eux se change en *neutrinos d'une autre espèce* avant d'atteindre la Terre.

L'un des effets de ces transformations est de désagréger un certain nombre de structures et d'en former de nouvelles. Lorsque les bosons de l'interaction faible interagissent avec leur environnement, ils transforment du même coup la géométrie des particules avec lesquelles ils sont en contact. Ce qui se traduit par la désintégration des leptons et des quarks les plus lourds en plus légers (l'électron en neutrino électronique, le quark u en quark d par exemple), par la désintégration du neutron libre en un proton, un électron et un antineutrino (et inversement, du proton en un neutron), ou par celle d'un pion en un muon ou par celle d'un muon en un électron. L'émission d'un neutrino accompagne ces désintégrations.

18 | L’interaction électromagnétique

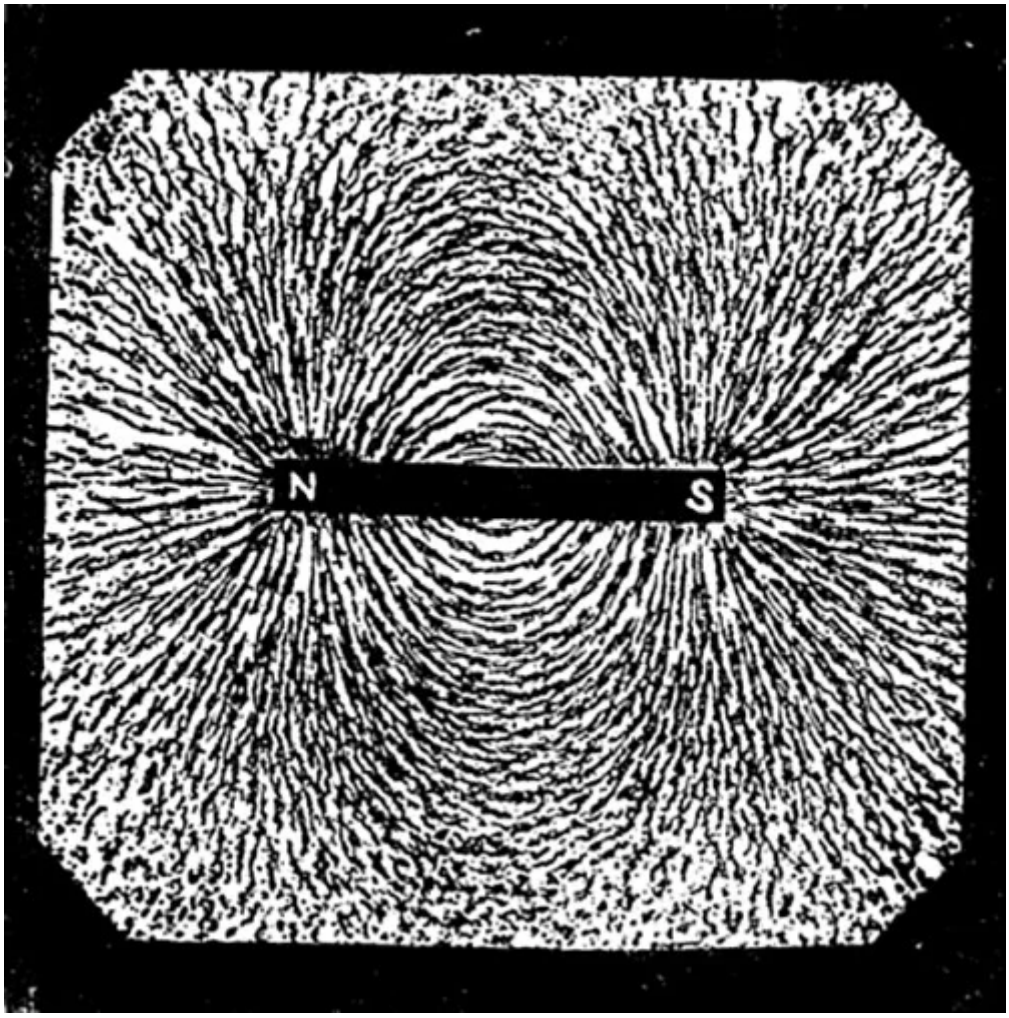
Dernière modification de cette page en janvier 2026

> **Dans l’espace en général quadridimensionnel « extérieurement ratatiné » en un point « dans » le néant, seules des structures de liens spatiaux comptant en général au plus trois dimensions spatiales peuvent s’étendre. Résultent de cette restriction la *gravitation*, *l’interaction faible*, *l’interaction électromagnétique* et *l’interaction forte*.**

LES ESPACES 2D OÙ VOYAGENT DES PHOTONS

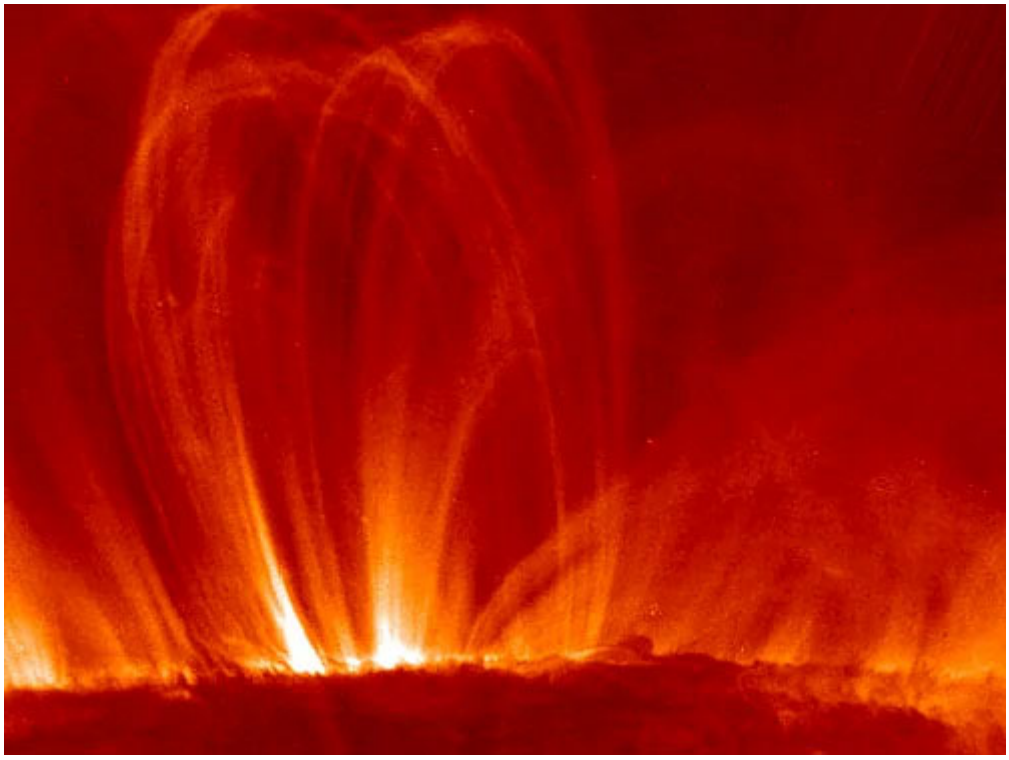
Les croisements 2D autorisés entre les 3D hyperdimensionnelles et la 3D dimensionnelle créent un ensemble de phénomènes à la fois microscopiques et macroscopiques : l’électromagnétisme.

Des espaces 2D plus ou moins feuilletés, plus ou moins superposés en « pelures d’ognon » s’entrecroisent à toutes les échelles dans notre espace 3D. Ils forment ainsi des pseudo-espaces 3D. Il s’agit d’espaces 2D, qui ne possèdent pas de volume « interne », seulement des surfaces de « l’épaisseur » d’un point. Se retrouvent là les *polarisations*, les *fronts d’onde*, voire les abstraites *« lignes »* du champ électromagnétique. Et le fait que le champ électromagnétique « préexiste » partout, même en l’absence de charges. Quand apparaissent des charges, elles exitent ce champ préexistant, qui révèle alors sa présence. Les charges ne créent pas les espaces 2D, elles les déforment dans la 3D.



Figures magnétiques
(Scientific American no 324 du 18 mars 1882)
(Image : Project Gutenberg)

Par exemple, les protubérances solaires proviennent d'ondes électromagnétiques longitudinales en forme de boucles, qui suivent les lignes de force de la 2D entrecroisée dans notre espace 3D. Elles canalisent un plasma, un mélange de particules neutres, d'ions positifs et d'électrons.



Protubérances solaires, le 9 aout 1999
(Image : NASA Transition Region And Coronal Explorer)

Par leur aspect souvent drapé, les aurores polaires constituent un autre exemple macroscopique de l'aspect 2D des phénomènes électromagnétiques. Il s'agit d'interactions entre un vent de particules solaires et le champ magnétique terrestre, qui produisent des excitations et des ionisations d'atomes.

LES PHOTONS

Puisqu'il y a deux dimensions, un minimum de deux liens spatiaux synchronisés est nécessaire, ce qui correspond à quatre particules relatives : voilà la structure du *photon*, à la fois onde et particule. Le mouvement d'un photon voyage de paire de boucles spatiales en paire de boucles spatiales, sous la forme de « paquets » d'énergie, de quanta. Sa fréquence est celle d'un mouvement alternatif d'éloignement / rapprochement de ses particules relatives et sa longueur d'onde est celle de l'amplitude de ce mouvement. Plus la fréquence est intense, plus la longueur d'onde est faible, du fait de la limite d'un point par instant, qui fait plafonner la quantité de mouvement.

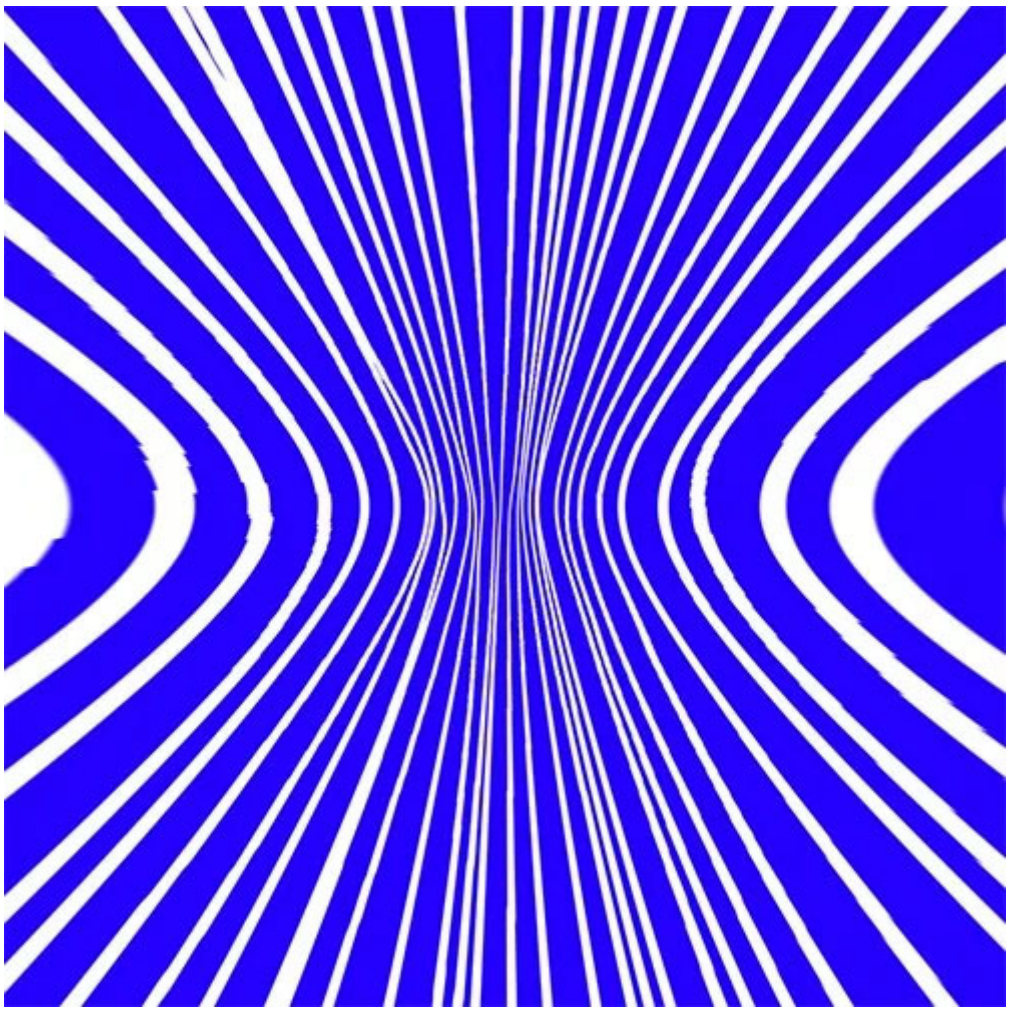
Plus la fréquence est élevée, plus l'amplitude est faible, donc plus le mouvement local est concentré : plus l'énergie locale est elle aussi élevée. Par exemple, un photon ne parvient à arracher un électron à un atome qu'au delà d'une certaine fréquence, d'une certaine « énergie concentrée ». C'est la fréquence, la longueur d'onde, qui comptent, pas le nombre de photons.

Le principe de base des particules médiatrices est le même pour les quatre interactions élémentaires, mais il est particulièrement simple en ce qui concerne l'électromagnétisme. Un paquet P de mouvements de particules relatives (un photon) se détache d'un paquet de mouvements A (une particule), ce qui modifie l'état de A, pour fusionner avec un autre paquet de mouvements B de particules relatives (une autre particule), ce qui modifie l'état de B. Le photon P crée ainsi une interaction électromagnétique entre les particules A et B. Une petite complication cependant : ce photon se dédouble. L'un de ses dédoublements se forme et il interagit avec l'une des particules de son milieu, sans que l'on puisse prévoir précisément quel dédoublement et quelle particule interagiront.

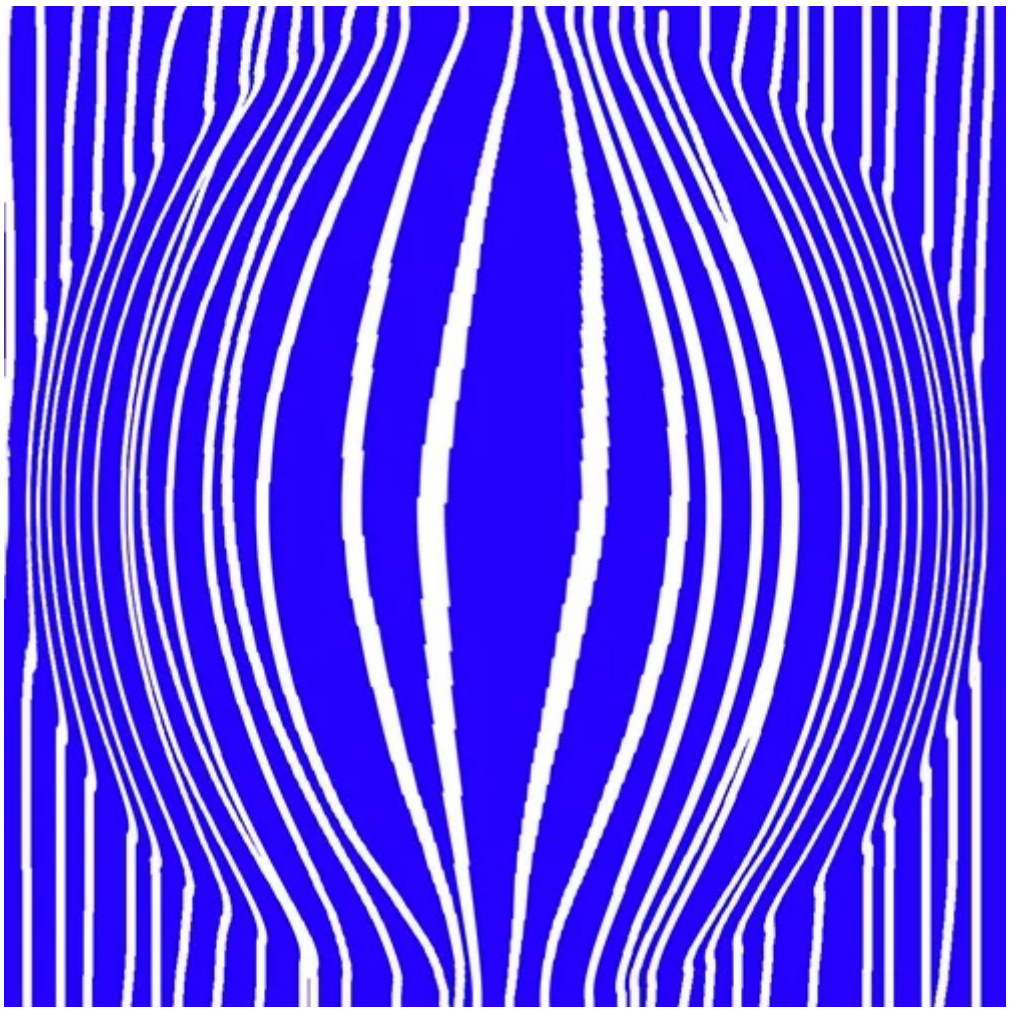
Le chemin suivi par le paquet P de mouvements forme une *géodésique*.

Par exemple, dans un circuit électrique, des photons transmettent plus ou moins d'énergie à des électrons, ce qui crée une différence de potentiel, qui met en mouvement les électrons libres d'un métal conducteur, ce qui allume une ampoule électrique.

ATTRACTION ET RÉPULSION ÉLECTROMAGNÉTIQUES



Principe d’un pôle attractif : les trajectoires des photons se resserrent localement les unes vers les autres, du fait d’une déformation locale d’un espace 2D.



Principe d’un pôle répulsif : les trajectoires des photons s’éloignent localement les unes des autres, du fait, là aussi, d’une déformation locale d’un espace 2D.

- Quand les deux boucles spatiales d’un photon se scindent en quatre boucles, un photon se désintègre en deux photons, tout en conservant une même quantité globale de mouvement. Deux liens « longs » deviennent quatre liens « courts », ce qui crée une contraction locale de l’espace 2D. Les géodésiques locales se rapprochent les unes des autres, ce qui produit un pôle attractif.
- Comme on peut s’y attendre, quand les quatre boucles spatiales de deux photons fusionnent en deux boucles, deux photons fusionnent en un photon, tout en conservant une même quantité globale de mouvement. Quatre liens « courts » deviennent deux liens « longs », ce qui crée une dilatation locale de l’espace 2D. Les géodésiques locales s’éloignent les

unes des autres, ce qui produit un pôle répulsif.

Ces fusions et ces scissions ne se limitent pas aux photons entre eux, elles s'exercent aussi sur d'autres particules. Par exemple, lorsqu'un électron absorbe un photon, il absorbe du même coup la quantité de mouvement dont le photon est porteur : les fluctuations de son mouvement s'intensifient, ce qui peut lui permettre d'occuper une couche supérieure, autour du noyau d'un atome, ou de s'extraire de l'atome.

Dans l'espace 2D de l'électromagnétisme, les particules suivent des trajectoires plus ou moins courbes, qui résultent de leurs échanges locaux et non locaux de mouvements. Leurs géodésiques, leurs trajectoires actuelles ou potentielles, suivent en moyenne le chemin le plus court d'un point à un autre de leur espace courbe. Elles constituent ainsi un « maillage » irrégulier, localement plus ou moins serré. Lorsqu'un maillage se resserre quelque part, il « tire » sur les géodésiques environnantes, ce qui constitue un « attracteur ». Il dévie localement les trajectoires des particules, qui s'en trouvent défléchies. À l'inverse, quand un maillage s'étire, il « repousse » localement les trajectoires, ce qui entraine là encore des déflexions et est à l'origine d'une « répulsion ». Lorsque les trajectoires de particules sensibles à un champ électromagnétique s'infléchissent, c'est qu'un espace 2D les attire ou les repousse – typiquement, les pôles de deux aimants qui s'attirent ou se repoussent.

Si des particules « flottent » dans ce maillage irrégulier en suivant les géodésiques locales, alors certaines se concentrent dans les zones de contraction et d'autres s'espacent dans les zones de dilatation. Si des photons, pourtant dépourvus de charges, interagissent avec ces particules, alors il y a attraction ou répulsion électromagnétiques. Par exemple, un noyau atomique se meut dans un espace contracté, ce qui lui permet de retenir ses nucléons et ses électrons. Mais les électrons se meuvent dans un espace dilaté, ce qui leur permet d'écarter leurs orbitales, ou de se détacher du noyau atomique. Puisque le neutron n'est pas chargé, son espace se situe sans doute entre celui des protons et celui des électrons.

> **Une contraction spatiale 2D de « chemins », de géodésiques, forme une attraction électromagnétique et**

une dilatation forme une répulsion.

LA RÉPULSION ET L'ATTRACTION ÉLECTROMAGNÉTIQUES SONT INSÉPARABLES

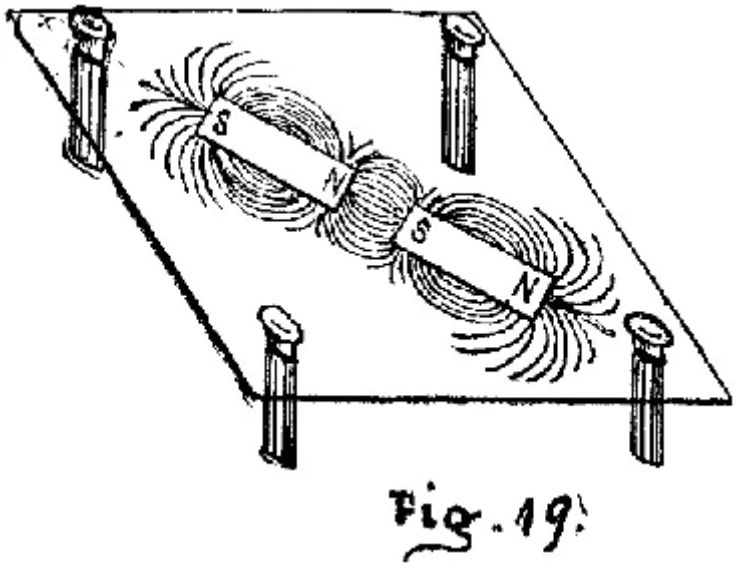


Fig. 19.

Les pôles de signes contraires s'attirent.

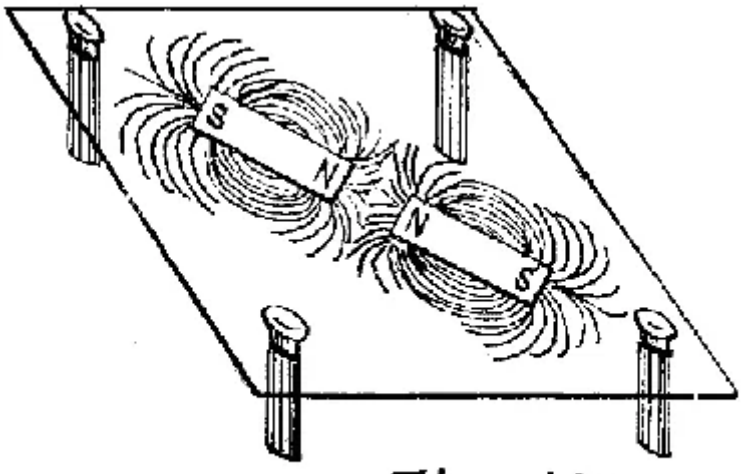


Fig. 19a.

Les pôles de même signe se repoussent.

(Scientific American no 643 du 28 avril 1888)

(Images : Project Gutenberg)

Les photons sont des paquets de mouvements 2D qui n'ont besoin pour exister que de deux boucles spatiales synchronisées. Autant dire qu'il y a bien peu de différences entre un photon et l'une de ses informités. Cette particule n'est donc jamais isolée, elle s'entoure de beaucoup de semblables, vivant dans un état quasi identique au sien. Quand un photon suit une géodésique, c'est en réalité une armée de photons semblables qui suivent des géodésiques elles aussi semblables. Ce qui crée un champ électromagnétique, avec des zones plus ou moins attractives ou répulsives.

Le mouvement des particules de la 2D électromagnétique résulte d'un enchevêtrement de zones plus ou moins resserrées ou étirées. Il existe des zones qui tendent plutôt à attirer la trajectoire des particules de l'espace 2D entrecroisé local, comme il en existe d'autres qui tendent plutôt à repousser cette trajectoire.

Imaginons un filet 2D de géodésiques, en partie divisé en deux zones A et B contigües :

- Les mailles de la zone A se contractent, pendant que celles de la zone B se dilatent symétriquement : la zone B glisse vers la zone A. La zone A attire la zone B. Les pôles de signes contraires s'attirent.
- Les mailles de la zone A se contractent, pendant que celles de la zone B se contractent symétriquement. L'espace intermédiaire entre les zones A et B se dilate, les zones A et B s'éloignent l'une vers l'autre. Les pôles de même signe se repoussent.
- Les mailles de la zone A se dilatent, pendant que celles de la zone B se dilatent symétriquement. L'espace intermédiaire entre les zones A et B se contracte, mais plus il se contracte, moins il dispose d'espace pour se contracter davantage. Il oppose plus de résistance au mouvement des deux autres zones que partout ailleurs : chaque zone glisse préférentiellement dans la direction qui lui offre le moins de résistance, celle opposée à l'autre zone. Ces deux zones s'éloignent l'une de l'autre. Là aussi, les pôles de même signe se repoussent.

> **Un champ magnétique 3D est un enchevêtrement de trois**

> **espaces 2D, plongé dans notre espace 3D, où les photons suivent de multiples géodésiques.**

Quand un aimant est coupé en deux, les deux pôles se reconstituent : impossible de créer deux monopôles. Et pour cause, les zones de contraction s'accompagnent forcément de zones de dilatation, sur lesquelles elles « tirent », impossible de les séparer. Cette symétrie explique aussi pourquoi la charge électrique du proton et celle de l'électron sont exactement opposées.

LA LOI DE COULOMB

> D'après la *loi de Coulomb*, deux charges électriques ponctuelles exercent l'une sur l'autre une force proportionnelle à leur produit et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare. La force est attractive si les charges sont de signes contraires et elle est répulsive si les charges sont de même signe.

Cette loi en $1/r^2$ pose un problème : que se passe-t-il au cœur d'une charge électrique, là où r=0 ? Il semble à première vue que la charge soit infinie. Ce qui est impossible, puisque le quantum électromagnétique est de deux liens spatiaux, pas d'une infinité de liens spatiaux. La combinaison du mouvement d'au moins deux liens spatiaux est en effet nécessaire à la création d'une « surface », la 2D de l'espace électromagnétique.

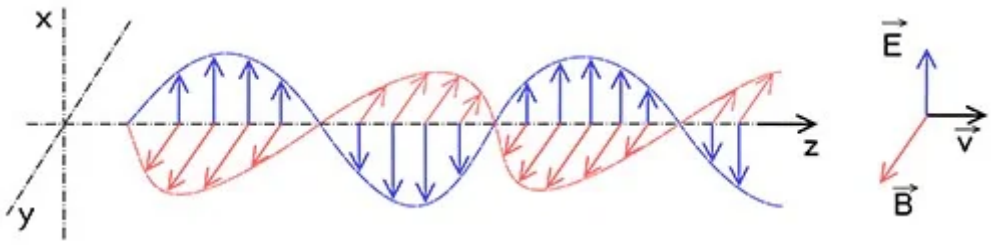
Au cœur d'une charge électrique, r est donc différent de zéro. Il y a deux liens spatiaux, avec pour chacun :

- Une longueur minimale de deux points, puisque chaque boucle spatiale possède deux extrémités
- Une variation de longueur, une quantité de mouvement, au plus égale à un point par instant

LE DOUBLE ESPACE 2D ET 3D DE L'ÉLECTROMAGNÉTISME

L'électromagnétisme se forme dans des espaces 2D. Ces espaces 2D se déplacent aussi dans notre 3D usuelle, jusqu'à la vitesse limite d'un point par

instant. Donc, les distorsions des espaces 2D agitent les photons, ces espaces 2D se déplacent en plus dans la 3D, ce qui propage le mouvement 2D des photons dans la 3D. L'attraction/répulsion en 2D est un champ magnétique et le mouvement des espaces 2D dans un espace 3D produit le déplacement des particules d'un champ électrique. Ces deux composantes s'induisent mutuellement. Lorsque les distorsions spatiales en 2D des géodésiques se multiplient, les espaces 2D s'excitent, ce qui met en mouvement les particules dans la 3D, ce qui renforce les distorsions spatiales des géodésiques en 2D. La répétition de cette boucle crée les ondes électromagnétiques, qui accompagnent tout courant électrique. D'une part, les photons se déplacent dans leurs feuillets 2D, d'autre part, ces feuillets 2D se déplacent eux aussi, mais dans la 3D, ce qui apporte un surcroit de mouvement aux photons dans leur 2D.



Onde lumineuse avec champ magnétique $\vec{B}$ et champ électrique $\vec{E}$ à angle droit l'un de l'autre (dans le cas d'une polarisation rectiligne)
(Image et légende : Wikipédia)

À angle droit, parce qu'une boussole située à proximité d'un fil conducteur, où circule un courant électrique, s'oriente perpendiculairement à la direction du courant.

> **Les champs électromagnétiques sont des espaces 2D polarisés par leurs géodésiques, en mouvement dans la 3D.**

POURQUOI LES ÉLECTRONS NE S'ÉCRASENT-ILS PAS SUR LE NOYAU DES ATOMES ?

Les liens spatiaux qui relient les électrons au noyau raccourcissent lorsqu'ils s'approchent du noyau. Leur mouvement accélère, parce que leur énergie se

conserve, mais ce mouvement ne peut augmenter que jusqu'à la limite d'un point par instant. Il rencontre alors un seuil infranchissable autour du noyau. Ce mouvement défléchi apporte une distorsion aux géodésiques électromagnétiques de l'électron, qui entourent le noyau sans l'atteindre.

DEUX POINTS DE VUE

Un même électron induit un champ magnétique pour un référentiel en mouvement par rapport à lui. Mais dans le même temps, il n'en induit pas pour un autre référentiel, *immobile* par rapport à lui. Ces deux référentiels « voient » en effet chacun deux informités différentes (deux des 2# – 1 dédoublements) d'une même réalité. (Dans l'absolu, ils « voient » une même réalité sous des angles différents.) À chacune de ces informités correspond un espace 2D particulier. Ce qui crée des vagues 2D particulières pour le référentiel relativement en mouvement et des vagues 2D particulières pour le référentiel relativement immobile. Il y a ainsi superposition d'induction 2D et de non-induction 2D. Selon son état, c'est le référentiel qui sélectionne tel ou tel point de vue, telle ou telle informité.

Dans l'absolu, il n'y a pas de différence entre ce qui est formé et ce qui informe. Un champ électrique, comme un champ électromagnétique, sont des potentialités « informes », indéterminées, qui ne deviennent déterminées que vues depuis un référentiel précis. C'est ce qui explique le *paradoxe de Faraday*.

> Dans l'album de bandes dessinées publié en 1971 *« Une carotte pour Iznogoud »*, par René Goscinny et Jean Tabary (page 113 de la réédition de 2023), des personnages traversent une rue. Puis l'un d'entre eux assure qu'il est *« un peu magicien sur les bords »* : le trottoir d'où ils viennent est devenu celui d'en face. De chaque côté de la rue, le trottoir est conjointement « celui où je marche » et « celui d'en face ». Tout dépend du point de vue adopté. La même logique se retrouve dans l'électromagnétisme. Les électrons en mouvement créent et conjointement ne créent pas de champ électrique : tout dépend du point de vue.

19 | L’interaction forte

Dernière modification de cette page en mars 2026

Dans l’espace en général quadridimensionnel « extérieurement ratatiné » en un point « dans » le néant, seules des structures de liens spatiaux comptant en général au plus trois dimensions spatiales peuvent s’étendre. Résultent de cette restriction la *gravitation*, *l’interaction faible*, *l’interaction électromagnétique* et *l’interaction forte*.

> Cette borne n’a l’air de rien, mais elle fourmille d’étranges phénomènes microscopiques.



À l’échelle des particules, la géométrie des liens spatiaux est plus hétérogène qu’à notre échelle humaine. L’espace tridimensionnel n’y existe pas de façon continue, pure. Des espaces unidimensionnels, bidimensionnels et tridimensionnels se mélangent avec d’autant plus d’hétérogénéité que l’échelle est petite. Pour ne rien arranger, l’hyperdimension est interdite dans notre 3D usuelle et ses basculements compliquent la géométrie des petites échelles.

LES ESPACES BIDIMENSIONNELS

Pour quatre dimensions spatiales, les espaces bidimensionnels sont au nombre de $(4^2 – 4) / 2$, soit six :

- hauteur + largeur
- largeur + profondeur
- profondeur + hauteur
- hyperdimension + hauteur
- hyperdimension + largeur

- hyperdimension + profondeur

Les trois espaces bidimensionnels comportant de l'hyperdimension sont « interdits », puisqu'avec les trois dimensions de notre espace 3D, ils constitueraient des espaces 4D ratatinés. Notre espace 3D dimensionnel les « voit » donc sous des angles tels qu'ils lui apparaissent comme des espaces ne comportant pas d'hyperdimension. Les objets situés dans une géométrie comportant de l'hyperdimension basculent dans notre univers direct de telle sorte que leur hyperdimension se transforme en hauteur, ou en largeur, ou en profondeur – comme un crayon plus haut que large peut basculer et devenir plus large que haut par rapport à la verticale. Ce qui, de notre point de vue « terrestre », donne trois sources de mouvements possibles :

- hauteur + largeur
- largeur + profondeur
- profondeur + hauteur

Dans l'absolu, chacun de ces espaces se dédouble localement deux fois, puisqu'il est vu des points les plus anciens vers les plus récents et des plus récents vers les plus anciens. Ce qui donne en fait six espaces 2D locaux :

- hauteur + largeur
- largeur + profondeur
- profondeur + hauteur
- antihauteur + antilargeur
- antilargeur + antiprofondeur
- antiprofondeur + antihauteur

Ne pas confondre hyperespace, qui comporte de l'hyperdimension, et antiespace, qui n'en comporte pas.

LES QUARKS

Les six (anti)espaces 2D autorisés donnent six types de *quarks* (u et d, c et s, t et b).

L'espace des quarks va des points les plus anciens vers les plus récents et celui

des antiquarks des plus récents vers les plus anciens. Nous pourrions admettre l'inverse, ce qui ne changerait rien sur le fond.

- Soit un nombre pair de quarks et d'antiquarks se combinent pour constituer un *méson* instable.
- Soit trois quarks s'assemblent pour constituer un *baryon*, tel que le *proton*, le *neutron* ou *l'hypéron*.
- Quatre quarks ou plus formeraient des *hadrons exotiques*, mais leur existence est controversée.

Les quarks sont très fortement liés entre eux, ils sont « *confinés dans les hadrons* », dans les particules sensibles à l'interaction forte. La force de ce confinement augmente avec la distance. Il n'a ainsi jamais été possible d'isoler un quark. L'énergie nécessaire à l'extraction d'un quark de son espace de confinement est en effet telle qu'elle finit par se transformer en une paire quark-antiquark, du fait de l'équivalence masse-énergie *($E = mc^2$)*.

La 2D résulte dans l'absolu de combinaisons synchronisées de mouvements de paires de boucles spatiales, dans le relatif de paires de liens spatiaux. Les quarks émergent des trois espaces 2D autorisés, plongés dans notre 3D usuelle. Ils tendent à combiner leurs mouvements respectifs, à basculer leur 2D, pour en quelque sorte « remplir » la 3D. Ils trouvent autour d'eux des « vides » dans telle ou telle 2D appartenant à la 3D dimensionnelle, où ils peuvent s'empiler en 3D. Ce qui explique le fort confinement des quarks à l'intérieur des *nucléons*, qui eux, émergent en 3D.

Les liens spatiaux se comportent comme des cordes de guitare : à quantité constante de mouvement, plus ils raccourcissent, plus ils vibrent rapidement. Il arrive donc un moment où leur mouvement atteint la vitesse limite d'un point par instant. Ils ne peuvent alors plus raccourcir, même s'il leur reste un nombre de points supérieur à deux, ou alors leur quantité de mouvement doit baisser. Un équilibre s'installe ainsi entre les quantités de mouvement et les distances des quarks entre eux. Ce qui entraine aussi un équilibre entre les nucléons entre eux et l'existence d'un point de saturation de la *matière nucléaire*.

Cette propension des quarks à matérialiser l'espace local les rend aussi

pérennes que l'est l'espace lui-même. C'est pourquoi le *nombre baryonique* se conserve dans les interactions nucléaires, sauf lorsqu'un quark et un antiquark s'annihilent, avec un jaillissement d'énergie emportée par deux photons. Inversement, une concentration suffisante d'énergie peut créer une paire quark/antiquark.

LES GLUONS

Les *gluons*, vecteurs de l'interaction forte, possèdent une masse nulle et ils se déplacent à la vitesse de la lumière. Ils devraient à priori posséder une portée infinie, comme celle des photons. Mais ces objets 2D s'adaptent en permanence à la 2D créée par les quarks, dont ils sont en quelque sorte l'écume, ce qui les fait changer en permanence d'espace 2D. Un gluon a à peine le temps d'exercer un effet très limité dans un espace 2D qu'il bascule dans un autre espace 2D, ce qui restreint son champ d'action à des échelles de l'ordre de la taille du noyau atomique. Cette particule suit des géodésiques très entortillées, alors que les photons suivent des lignes beaucoup plus droites. Les gluons s'agitent avec une telle frénésie d'un quark à l'autre – ils se déplacent à la vitesse de la lumière sur des distances très courtes – qu'ils contribuent à créer une « mer », dont une partie de l'énergie se transforme en particules virtuelles, en masse. Cette masse dépasse de loin la somme des masses des quarks constitutifs du *proton*, par exemple. Il en va de même de la *masse* de tous les *hadrons*, particules composées de quarks et de gluons.

Les lignes de force, c'est-à-dire les géodésiques, de l'interaction forte restent ainsi confinées aux quarks, à des mouvements subatomiques en 2D, sans s'étendre autour des particules en 3D. Par exemple, les protons tous positifs d'un même noyau atomique surmontent leur répulsion électrostatique en 3D par les limitations bidimensionnelles du mouvement de leurs quarks constitutifs : les géodésiques se croisent en trois fois 2D autorisée, sans forcément s'opposer mutuellement.

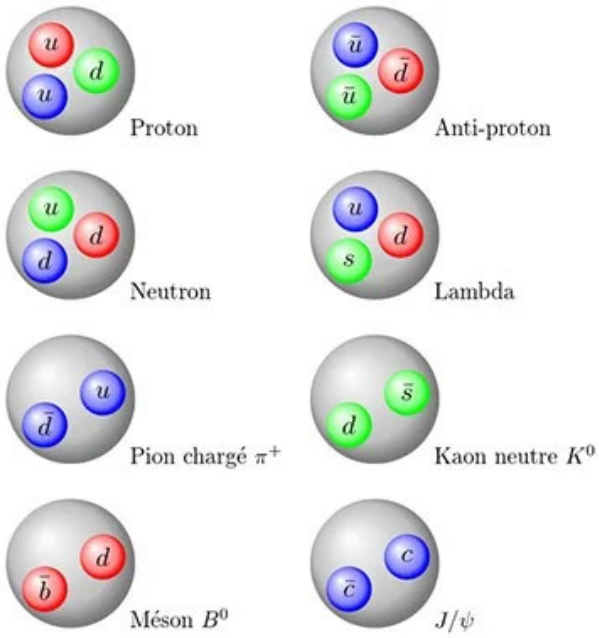
LES CHARGES DE COULEUR ET D'ANTICOULEUR DES QUARKS

- hauteur + largeur
- largeur + profondeur
- profondeur + hauteur

Ces trois espaces bidimensionnels des quarks correspondent aux trois charges dites par analogie de *« couleur »* (le rouge, le vert et le bleu) de base de la *chromodynamique quantique*.

En fait, les choses sont un peu plus compliquées, parce qu'existent aussi des charges d'anticouleur. Disons arbitrairement qu'il y a couleur lorsqu'une dimension en 2D combine deux espaces 1D dont les boucles spatiales constitutives se déplacent dans l'ordre de création des points, et il y a anticouleur lorsqu'une dimension en 2D combine deux espaces 1D dont les boucles spatiales constitutives se déplacent dans l'ordre inverse de création des points. Là aussi, nous pourrions admettre l'inverse, ce qui ne changerait rien sur le fond. Nous nous retrouvons ainsi avec six espaces bidimensionnels dont les mouvements sont orientés, ne comportant pas d'hyperdimension. Ce qui correspond respectivement aux trois charges de couleur des quarks et aux trois charges d'anticouleur des antiquarks.

Lorsque les quarks unissent leurs trois espaces bidimensionnels autorisés dans notre 3D dimensionnelle, ils constituent des particules subatomiques « blanches » dans l'ordre de création des points, ou dans l'ordre inverse : hauteur / largeur / profondeur donne du « blanc », comme antihauteur / antilargeur / antiprofondeur donne aussi du « blanc ». Une autre configuration « blanche » est celle des mésons, constitués de paires quark-antiquark. Hauteur / antihauteur donne du « blanc », comme largeur / antilargeur et profondeur / antiprofondeur. Dans ce cas, les mouvements 2D respectifs de deux quarks sont plus ou moins en opposition de phase, puisque l'un est vu dans l'ordre de création des points et l'autre est vu dans l'ordre inverse. Ces dédoublements opposés interfèrent les uns avec les autres et ils s'annulent plus ou moins vite avant de se disperser. Les mésons possèdent une durée de vie très courte.



Contenu en quarks de quelques hadrons
(Image et légende : Wikipédia)

LES CHARGES DE COULEUR ET D'ANTICOULEUR DES GLUONS

Les quarks sont sensibles à la couleur, ils interagissent entre eux en échangeant des gluons, porteurs d'une double charge colorée, une couleur plus une anticouleur (par exemple rouge + antivert). Ce qui les distingue notablement des photons, qui eux, transmettent les charges électromagnétiques sans être eux-mêmes chargés positivement ou négativement – même s'ils sont chargés d'énergie.

> *« Un gluon bleu-antirouge absorbé par un quark rouge va le transformer en quark bleu ; ou encore un quark vert pourra émettre un gluon vert-antirouge en devenant rouge. »*
> *(Wikipédia)*

Rappelons qu'il y a couleur lorsqu'une dimension en 2D combine deux espaces 1D dont les boucles spatiales constitutives se déplacent dans l'ordre de création des points, et il y a anticouleur lorsqu'une dimension en 2D combine deux espaces 1D dont les boucles spatiales constitutives se déplacent dans l'ordre inverse de création des points. Chaque gluon porte une couleur et une anticouleur, chacun unit donc deux déplacements dans des directions contraires, ce qui maintient sa position moyenne dans leur nucléon, malgré sa vitesse égale à celle de la lumière.

Huit types de gluons existent dans la nature, chacun avec une combinaison particulière de couleur et d'anticouleur. Alors à quelles combinaisons d'espaces correspondent ces huit gluons ? Aux combinaisons 1D et 2D de six espaces 1D plongés dans notre espace 3D :

- hauteur, largeur et profondeur vues dans l'ordre de création des points donnent les couleurs
- antihauteur, antilargeur et antiprofondeur vues dans l'ordre inverse de création des points donnent les anticouleurs

Ce qui donne neuf combinaisons d'espaces 1D et 2D, soit neuf combinaisons de couleurs et d'anticouleurs :

- hauteur + antihauteur / hauteur + antilargeur / hauteur + antiprofondeur
- largeur + antihauteur / largeur + antilargeur / largeur + antiprofondeur
- profondeur + antihauteur / profondeur + antilargeur / profondeur + antiprofondeur

Sur ces neuf combinaisons, trois espaces sont en 1D : [hauteur + antihauteur], [largeur + antilargeur] et [profondeur + antiprofondeur].

La combinaison de trois espaces 1D+2D différents donne un espace 3D hétérogène, « feuilleté ». Cependant, la combinaison entre eux des trois espaces 1D reconstitue un banal espace 3D, qui ajoute une goutte 3D dans l'océan 3D environnant, où elle se dissout. Quand il y a de l'interaction forte, il y a donc neuf combinaisons d'espaces 1D+2D possibles, moins une : moins [hauteur + antihauteur], ou moins [largeur + antilargeur], ou moins [profondeur + antiprofondeur], selon la configuration locale. Ces neuf combinaisons, moins trois fois une, donnent trois fois huit combinaisons d'espaces 1D+2D possibles pour huit gluons. Soit, en trois lignes de tableau :

○ hauteur + antilargeur / hauteur + antiprofondeur
○ largeur + antihauteur / largeur + antilargeur / largeur + antiprofondeur
○ profondeur + antihauteur / profondeur + antilargeur / profondeur + antiprofondeur

• **hauteur + antihauteur est ici exclu :** huit charges de couleur interagissent dans des géométries autres que la 3D.

○ hauteur + antihauteur / hauteur + antilargeur / hauteur + antiprofondeur
○ largeur + antihauteur / largeur + antiprofondeur
○ profondeur + antihauteur / profondeur + antilargeur / profondeur + antiprofondeur
• **largeur + antilargeur est ici exclu :** huit charges de couleur interagissent dans des géométries autres que la 3D.

○ hauteur + antihauteur / hauteur + antilargeur / hauteur + antiprofondeur
○ largeur + antihauteur / largeur + antilargeur / largeur + antiprofondeur
○ profondeur + antihauteur / profondeur + antilargeur
• **profondeur + antiprofondeur est ici exclu :** huit charges de couleur interagissent dans des géométries autres que la 3D.

Trois états différencient donc huit combinaisons d'espaces 2D possibles pour huit gluons. Ces différences correspondent sans doute à quelque chose. À quoi ? Mystère.

SIX TYPES DE QUARKS : SIX SAVEURS

Les quarks se distinguent aussi par leur sensibilité à l'interaction faible, qui les fait changer de type. À six espèces de quarks (u et d, c et s, t et b) correspondent six *saveurs*. Par exemple, un quark u se transforme en quark d lors d'une *désintégration β^+*.

Il y a interaction faible lorsqu'au moins un espace 3D comportant de l'hyperdimension se transforme en espace 2D ne comportant pas d'hyperdimension :

- hauteur + largeur + hyperdimension cachée
- largeur + profondeur + hyperdimension cachée
- profondeur + hauteur + hyperdimension cachée

L'espace d'une hyperparticule 3D se transforme en permanence en 2D autorisée. Lorsque ce basculement interagit avec la 2D des quarks, il transforme

l'espace – la saveur – des quarks.

De plus, « l'interchangeabilité » des dimensions rend la « saveur » des quarks elle aussi plus ou moins « interchangeable ». Chaque quark n'est pas « pur », c'est un « mélange » d'états superposés, qui à un temps t favorise plus ou moins tel ou tel type. Les angles de Cabibbo décrivent ainsi les mélanges de probabilités de changement de saveur d'un quark lors d'une interaction faible. Ils évoquent les secteurs d'une représentation graphique en « camembert » : un même quark comporte telle ou telle probabilité de mélange de deux types de quarks. *(Source : The Cabibbo angle, 60 years later, CERN Courier, 2023)*.

CHARGES ÉLECTROMAGNÉTIQUES FRACTIONNAIRES

> *« La charge électromagnétique des quarks est fractionnaire, c'est-à-dire +2/3 ou -1/3 pour les quarks et -2/3 ou +1/3 pour les antiquarks, dans une unité où la charge du proton est +1 » (Wikipédia).*

Soit les six espaces 2D des quarks:

- hauteur + largeur
- largeur + profondeur
- profondeur + hauteur
- antihauteur + antilargeur
- antilargeur + antiprofondeur
- antiprofondeur + antihauteur

Chacun de ces espaces 2D se prolonge par d'autres espaces 2D. En particulier trois chemins correspondent à trois géodésiques 1D plongées dans la 2D : largeur-largeur / profondeur-profondeur / hauteur-hauteur. Les géodésiques de l'électromagnétisme peuvent à priori suivre des chemins qui passent par ces trois espaces 1D, donc des chemins dans la 3D. Sauf que les géodésiques de l'électromagnétisme sont limitées à deux dimensions. Ces géodésiques suivent donc des chemins dans des quasi-espaces 3D : pour les quarks, deux espaces 2D (+2/3) + un antiespace 1D (-1/3) et pour les antiquarks, deux antiespaces 2D (-2/3) + un espace 1D (+1/3). Soit des charges de ±1/3 et ±2/3. Les quarks, en effet, ne peuvent pas ajouter +1/3 à +2/3 pour rester dans la 2D, comme les

antiquarks ne peuvent pas ajouter -1/3 à -2/3 pour rester dans la 2D. Il en résulte des espaces et des charges fractionnaires.

Les zones électromagnétiques de contraction ou de dilatation de chaque quark en présence dans chaque nucléon se compensent de telle sorte qu'elles donnent une charge globale égale à 1. Cette neutralité permet aux atomes d'avoir leur propre espace, avec leurs propres contraintes.

TROIS GÉNÉRATIONS DE PARTICULES

> Il existe *trois générations* semblables, mais pas identiques, de particules.
>
> - Aux quarks de saveur u et d de la première génération correspondent les quarks c et s de la deuxième génération, et t et b de la troisième génération.
> - À l'électron de la première génération correspond dans la deuxième génération un électron plus massif, le muon, et dans la troisième génération, un électron encore plus massif, le tau.
> - Au neutrino électronique correspond le neutrino muonique, puis le neutrino tauique.
>
> La première génération rassemble la matière ordinaire et les deux autres une matière plus massive, instable, qui se désintègre rapidement en matière de la première génération.

Lorsqu'un objet hyperdimensionnel en 3D, mais pour nous dimensionnel en 2D, se présente à nous, nous ne pouvons pas l'observer dans une hyperdimension qui nous est interdite. Mais nous pouvons quand même le voir sous différents angles dans notre espace dimensionnel, parce que sa réalité physique se conserve, même si elle se transforme. Sa composante hyperdimensionnelle peut en effet basculer dans notre espace, de telle sorte que l'hyperobjet 3D se présente à nous conjointement sous trois angles 2D complémentaires :

- hauteur + largeur
- largeur + profondeur

- profondeur + hauteur

L'hyperobjet 3D présente alors conjointement sa face « visible » (autorisée) et deux faces « cachées » plus ou moins disjointes, basculées dans des espaces autorisés. D'où l'existence de trois générations de particules. Plus son espace basculé dans notre espace usuel est contraint, plus sa masse est grande.

> Les espaces autorisés et interdits appartiennent dans l'absolu au même espace 1D. Ils peuvent donc posséder, sous des formes adaptées, des structures communes de part et d'autre de leurs limites dimensionnelles et hyperdimensionnelles. Certaines particules situées dans notre espace usuel ont des « doubles » dans les espaces hyperdimensionnels, dont nous voyons les projections plus ou moins stables.

De plus, une contraction spatiale des géodésiques de la 2D de l'électromagnétisme à un endroit compense une dilatation ailleurs, ce qui explique pourquoi la somme des charges électriques dans chacune des trois générations est égale à zéro. Ce qui explique aussi pourquoi la *charge électrique se conserve* dans toutes les réactions, de l'état initial à l'état final.

LES ESPACES DES QUATRE INTERACTIONS FONDAMENTALES, EN BREF

La gravitation :	hauteur + largeur + profondeur
L'interaction faible :	hauteur + largeur + hyperdimension cachée largeur + profondeur + hyperdimension cachée profondeur + hauteur + hyperdimension cachée
L'interaction électromagnétique :	hauteur + largeur

	largeur + profondeur
	profondeur + hauteur
L’interaction forte :	hauteur + largeur largeur + profondeur profondeur + hauteur antihauteur + antilargeur antilargeur + antiprofondeur antiprofondeur + antihauteur

Les particules relatives interagissent dans toutes les géométries possibles

> L’univers est dans l’absolu un espace-temps ponctuel ratatiné « dans » le néant.
> Mais dans le relatif, c’est un espace-temps complexe et foisonnant, en expansion perpétuelle.

Peut-être qu’au fil de son histoire future l’univers disposera d’assez de points pour compter un nombre croissant de dimensions. Des fluctuations 4D dans des espaces ratatinés 5D deviendront peut-être de plus en plus fréquentes, jusqu’à devenir omniprésentes. De nouvelles interactions élémentaires apparaitront peut-être et le comportement de la matière deviendra de plus en plus étrange…

20 | Les fermions, les bosons et le spin

Dernière modification de cette page en novembre 2025

> **Lorsque des liens spatiaux ne dédoublent pas une même boucle spatiale, les particules relatives correspondantes sont distinctes. Ces particules possèdent, les unes par rapport aux autres, un comportement « individualiste ».**
>
> **Par contre, lorsque des liens spatiaux dédoublent une même boucle spatiale, les particules relatives correspondantes sont des dédoublements les unes des autres. Ces particules possèdent, les unes par rapport aux autres, un comportement synchrone, « grégaire ».**

- **Au moins deux paires de particules relatives, dont les boucles spatiales sont différentes, constituent un ensemble de *fermions*.**
- **Au moins deux paires de particules relatives, dont les liens spatiaux respectifs dédoublent une même boucle spatiale, constituent un champ de *bosons*.**



Image générée par *l'IA Craiyon* en 2025, avec le prompt *« a lot of bosons vs a lot of fermions »* (beaucoup de bosons vs beaucoup de fermions). C'est joli, à défaut d'être scientifique.

LES FERMIONS

> **Ils résultent de boucles spatiales différentes, dont les caractéristiques respectives diffèrent, ne serait-ce que par l'âge de leurs points constitutifs.**

Rien ne ressemble plus à un électron qu'un autre électron, un photon à un autre photon : dans un univers où tout se dédouble 2# – 1 fois, les particules d'un même type sont indiscernables. Elles contiennent peu de liens spatiaux, de particules relatives et leurs informités sont quasi identiques.

Les particules de différents types se distinguent néanmoins les unes des autres. L'une des différences réside dans des *ondes abstraites de probabilité*, qui permettent de calculer certaines de leurs propriétés. Les particules ont soit des fonctions d'ondes symétriques, dont les probabilités de présence se renforcent ; soit des fonctions d'ondes antisymétriques. Dans ce dernier cas, une fonction d'onde et son opposé s'additionnent, ce qui donne une probabilité de présence localement nulle.

Deux particules identiques ne peuvent ainsi occuper le même emplacement que si leurs fonctions d'ondes sont symétriques, si leurs probabilités de présence se renforcent. Si leurs fonctions d'ondes sont antisymétriques, elles obéissent au *principe d'exclusion de Pauli* et ce sont des fermions. Les états respectifs de deux fermions en présence se différencient obligatoirement par au moins un de leurs *nombres quantiques*. Leurs fonctions d'onde respectives ne sont alors pas totalement antisymétriques, elles peuvent s'additionner sans donner une probabilité de présence nulle.

Par exemple, les électrons, qui sont des fermions, « s'empilent » autour du noyau des atomes, sur des niveaux d'énergie vite saturés. Cette saturation repousse les électrons des atomes voisins, ce qui entraine la consistance de la matière. Par contre, des atomes peuvent partager des électrons communs et constituer des molécules.

Le principe d'exclusion de Pauli s'applique aux forces électrostatiques et un équilibre plus ou moins stable s'installe entre répulsion et attraction, d'où résultent les quatre *états* classiques de la matière : solide, liquide, gazeux ou plasma.

Autre effet du principe d'exclusion : lorsque les étoiles ont épuisé leur combustible, lorsque leurs réactions thermonucléaires se tarissent, la pression radiative faiblit et s'oppose de moins en moins à leur effondrement gravitationnel sur elles-mêmes. Tout dépend alors de la masse de l'étoile. Jusqu'à une certaine masse, les électrons restent sur leurs orbites, ils peuvent limiter l'effondrement de l'étoile, qui devient alors une *naine blanche*. Au-delà de cette masse, les électrons et les protons fusionnent pour donner une *étoile à neutrons*. Les neutrons sont des fermions, dont la répulsion due au principe d'exclusion résiste

ou pas à l'effondrement gravitationnel. Si la masse de l'étoile dépasse un certain seuil, un *trou noir* se crée.

L'ensemble des fermions regroupe six quarks et six leptons. Les quarks sont sensibles aux quatre interactions nucléaires, mais pas les leptons, qui ignorent l'interaction forte.

LES BOSONS

> **Particules relatives dont les liens dédoublent une même boucle spatiale, les bosons apparaissent et disparaissent toujours en nombre pair. Ce qui correspond à l'apparition ou à la disparition d'au moins un lien spatial, c'est-à-dire à l'apparition ou à la disparition d'au moins une paire de particules relatives. Ils possèdent un comportement synchrone typiquement « grégaire ». Ils constituent des champs de particules plus ou moins dans un même état de mouvement, d'énergie. Par exemple, le photon est un boson et un champ de photons dans un même état de fréquence et de directivité constitue un rayon laser.**

Un ensemble de particules aux mouvements synchronisés possède plus de force que ce même ensemble avec des mouvements erratiques, dont les forces s'opposent plus ou moins. Les bosons, dont les mouvements sont synchronisés, sont les particules médiatrices des interactions élémentaires. Comment, par exemple, un échange de photons maintient-il la cohésion électrostatique des atomes ? Comment un échange de gluons maintient-il la cohésion chromodynamique des nucléons ? Le synchronisme « massif », dont photons et gluons sont porteurs, possède une étendue. La moindre perturbation ponctuelle se transmet à tout le champ, puisque ce champ dédouble au moins une même boucle spatiale. Perturbation dédoublée de ce champ, un boson peut ainsi transmettre un mouvement aux particules constitutives d'un objet distant parce qu'il appartient à un champ étendu, qui relie les objets en interaction. Une telle communication transmet du mouvement, de l'énergie, entre deux particules distantes.

Dans certaines conditions particulières, les propriétés « grégaires » des bosons

constituent des phénomènes macroscopiques. Lorsque des bosons sont suffisamment refroidis, leur agitation thermique se réduit de telle sorte qu'ils tombent dans un même état minimal d'énergie. Il n'y a alors plus un grand nombre de bosons distincts, mais « un seul » boson dédoublé à l'identique, multiplié à une échelle macroscopique et se comportant comme une onde cohérente. Ces bosons ne sont pas distinguables les uns des autres et leurs mouvements se synchronisent mutuellement. Cet état contribue à créer un *« condensat de Bose-Einstein »*, dans lequel une partie des atomes constitue une sorte d'entité unique. Par exemple, 10 % des atomes d'hélium 4 portés à une température d'environ 2,18 kelvins (environ -270 °C) forment un tel condensat, c'est-à-dire un liquide *superfluide*, dépourvu de viscosité, dans lequel la chaleur s'homogénéise instantanément. Les prolongements mutuels des boucles spatiales créent ainsi des ensembles de dédoublements qui deviennent parfois macroscopiques.

LES ANYONS

Rien n'est simple en ce bas monde : des *particules 2D* peuvent glisser de façon continue de l'état de fermions à l'état de bosons et réciproquement. Comment s'y prennent-elles pour résulter à la fois des boucles spatiales différentes des fermions et des mêmes boucles spatiales des bosons ? La subtilité, c'est qu'il s'agit de particules 2D plongées dans un espace 3D. Elles peuvent se propager de l'un des trois espaces 2D vers un autre espace 2D :

- hauteur + largeur
- largeur + profondeur
- profondeur + hauteur

Les mouvements synchrones de liens spatiaux localement dédoublés forment un boson 2D dans un espace 2D. Ils se propagent vers un autre espace 2D en traversant divers liens spatiaux. Ils s'ajoutent donc aux mouvements particuliers de ces divers liens spatiaux intermédiaires, dont ils deviennent des composantes supplémentaires, ce qui les désynchronise transitoirement. Le mouvement décomposé résultant n'est alors plus celui d'un boson, mais d'un fermion. Puis les composantes séparées se recombinent en un boson, dans un espace 2D d'arrivée.

Dans sa propagation, un boson 2D devient ainsi un fermion 2D, avant de redevenir un boson 2D.

LE SPIN

Certaines particules reviennent à leur état initial après une rotation de 2π radians (360 degrés) : elles ont un *spin* de 1, comme le photon. D'autres reviennent à leur état initial après une rotation de π radian : elles ont un spin de 2, comme l'hypothétique graviton. D'autres encore, après une rotation de 4π radians : elles ont un spin de 1/2, ce sont des spineurs, comme l'électron. Mais certaines reviennent à leur état initial après une rotation quelconque : elles ont un spin de 0, comme les noyaux composés d'un nombre pair de protons et de neutrons.

- Le spin des fermions est demi-entier, tandis que celui des bosons est entier ou nul. « Spin » signifie « rotation », mais cet état quantique n'a qu'un lointain rapport avec son équivalent classique. En particulier, les composantes de spin ne peuvent prendre que des valeurs discrètes, sans intermédiaires. Par exemple, l'orientation du spin de l'électron n'a que deux valeurs opposées possibles, par rapport à un axe orienté quelconque.
- Le spin contribue à la conservation du moment cinétique orbital des particules.
- Le moment cinétique du spin des particules chargées s'accompagne d'un moment magnétique.

À l'échelle des particules, tout se déplace en 1D dédoublée, il n'est fondamentalement possible que d'avancer ou de reculer. Tous les mouvements « pointent » dans l'ordre de création des points, ou dans la direction inverse, le seul état intermédiaire possible est un mouvement nul, qui n'existe que pour les particules massives. D'où le comportement discret du spin des particules, qui « tourne » d'une façon fondamentalement binaire vers les points plus anciens, ou vers les points plus récents. Mais la synchronisation d'un grand nombre de segments 1D crée dans le relatif des espaces comportant plus d'une dimension, qui restent cependant constitués de « briques » unidimensionnelles. Ce qui entraine l'existence de spins différenciés dans le relatif. La « rotation » va du spin 0 du boson de Higgs au spin 2 de l'hypothétique graviton en passant par le spin 1/2 des fermions et par le spin 1 des bosons.

Le spin des fermions résulte de celui de boucles spatiales différentes. Une partie de ce mouvement glisse des points les plus anciens vers les plus récents, l'autre partie glisse des points les plus récents vers les plus anciens. Il résulte donc de deux groupes de demi-mouvements, il est demi-entier. Ce qui produit les états *« up »* ou *« down »* des fermions, comme dans *l'expérience de Stern et Gerlach*. Pour chaque particule, c'est soit le point de vue des points les plus anciens vers les plus récents qui l'emporte, soit le point de vue inverse : il n'y a pas de point de vue intermédiaire. Même si, avant d'être détectés, les deux états *« up »* et *« down »* coexistent, puisqu'il y a autant de points de vue qu'il y a de boucles spatiales.

Par contre, le spin des bosons résulte du dédoublement d'une même boucle spatiale. Un mouvement unique glisse intégralement dans une direction, ou dans l'autre, de la suite de points, il est toujours entier.

POUR RETROUVER SON ÉTAT INITIAL, UN FERMION DOIT TOURNER DEUX FOIS SUR LUI-MÊME

> Les *spineurs* sont une bizarrerie mathématique. Après un tour horizontal, ils opèrent un demi-tour vertical, ils se transforment en leur opposé. Pour les remettre sur pied, un deuxième tour horizontal est nécessaire. Par exemple, la très complexe *équation de Dirac* décrit le mouvement d'un électron en utilisant un spineur. Un tour et la charge est négative, au tour suivant la charge est inversée et ainsi de suite. La formule fait apparaitre alternativement un électron et un positon, un électron d'antimatière.

Les fermions sont des particules spinorielles : leur spin s'inverse après une rotation d'un tour, puis revient à sa direction initiale après un deuxième tour. Qu'est-ce que la rotation d'une particule ?

Quand la Terre tourne, elle « échange » sa face éclairée contre sa face nocturne.

- Soit deux boucles spatiales qui échangent leurs mouvements respectifs : ces deux boucles spatiales opèrent une « rotation » en 1D.

- Ces deux boucles spatiales sont en plus synchronisées avec deux autres boucles spatiales, qui elles aussi échangent leurs mouvements respectifs : ces deux fois deux boucles spatiales opèrent une « rotation » en 2D.
- Ces quatre boucles spatiales sont en plus synchronisées avec deux autres boucles spatiales, qui elles aussi échangent leurs mouvements respectifs : ces six boucles spatiales opèrent une « rotation » en 3D.

Où se produit donc dans l'espace réel la double rotation des spineurs dans leur espace abstrait ? Dans le fait que les points se créent l'un après l'autre. Les points restent tous présents, mais ils conservent un ordre de création : ils « voient » la « rotation » des particules depuis les points les plus « anciens » ou depuis les plus « récents », ce qui crée deux points de vue coexistants, deux « angles » différents. D'où le « double tour » calculé par les spineurs.

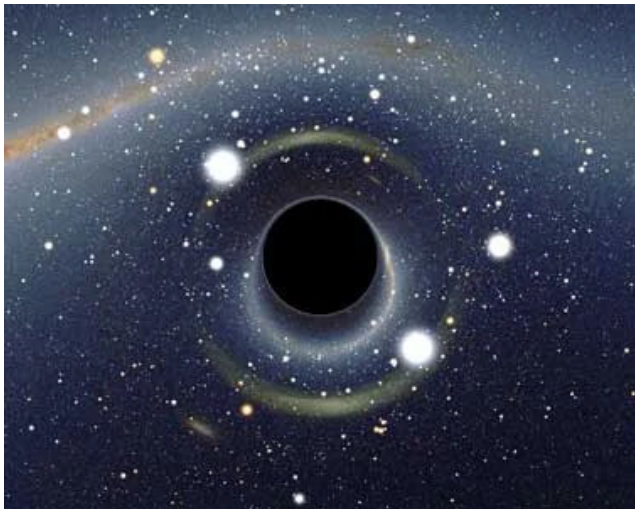
Pourquoi certaines particules sont-elles spinorielles, alors que d'autres ne le sont pas ? Parce que toutes les configurations existent conjointement. Certaines résultent de dédoublements vus dans la direction des points anciens vers les points récents, d'autres sont vus dans la direction inverse et d'autres encore sont vus dans les deux directions.

21 | Les trous noirs

Dernière modification de cette page en février 2026

Nous connaissons tous l'univers comme notre poche, puisque nous y avons toujours vécu 🙄 En particulier, nous savons qu'il conserve son unicité jusqu'au plus profond des trous noirs.

> Seuls *trois paramètres* caractériseraient un trou noir : sa masse, son moment cinétique (sa rotation, qui peut être nulle) et sa charge électrique (qui, elle aussi, peut être nulle). Ces trois paramètres paraissent simples, mais les trous noirs sont peut-être les objets cosmiques les plus difficiles à comprendre. Comme l'écrit le physicien Martin Bojowald dans *L'univers en rebond : « Si la force d'attraction [des trous noirs] est si forte que les photons ne peuvent s'en échapper, pourquoi les gravitons y parviennent-ils ? » (Éditions Albin Michel, 2011, page 202)*. Les gravitons sont des bosons hypothétiques, médiateurs de l'interaction gravitationnelle.



Simulation d'un trou noir vu à une dizaine de kilomètres, devant le Grand Nuage de Magellan
(Image : Wikipédia)

LES TROUS NOIRS EN BREF

Lorsqu'une étoile a épuisé sa capacité à produire des fusions nucléaires, la pression interne de radiation ne compense plus la gravité, l'étoile se contracte.

Trois évolutions sont alors possibles, qui dépendent de sa masse initiale.

Lorsqu'une masse d'environ *0,6 fois la masse du Soleil* se concentre dans un volume équivalent à celui de la Terre, la densité est telle qu'elle atteint un ordre de grandeur d'une tonne par centimètre cube. Mais le *principe d'exclusion de Pauli* interdit aux fermions, tels que les électrons, de se trouver dans un même état quantique. Ces particules *résistent* à leur compression gravitationnelle, elles retiennent l'effondrement de l'étoile. Ce qui donne une *naine blanche*.

Lorsque la masse de l'étoile se situe initialement entre *8 et 40 masses solaires*, des fusions nucléaires successives vont jusqu'au fer, mais *elles ne peuvent pas aller plus loin*. Le cœur de l'étoile ne produit plus assez de pression radiative et il s'effondre. Les couches externes s'effondrent elles aussi, elles rebondissent sur le cœur et elles explosent en une *supernova*. La masse de l'étoile se réduit alors entre *1,4 et 3,2 masses solaires, pour un diamètre de 30 à 40 kilomètres*. Ce qui reste de l'astre tourne sur lui-même de *plusieurs dizaines de tours par seconde*, en raison de la conservation de son moment cinétique initial. La densité, de quelque *mille milliards de tonnes par litre*, pousse les électrons et les protons centraux à *fusionner* pour donner des neutrons, qui se désagrègent peut-être en un plasma de quarks et de gluons, ce qui donne une *étoile à neutrons*, maintenue en équilibre interne par la gravité et les limites de l'interaction forte. Rappelons en outre que les liens spatiaux se comportent comme des cordes de guitare : à quantité constante de mouvement, plus ils raccourcissent, plus ils vibrent rapidement. Un certain pourcentage de liens spatiaux atteint la vitesse limite d'un point par instant, ils ne peuvent plus raccourcir. L'étoile à neutrons rencontre donc une limite à son effondrement, dans une configuration où elle n'est pas assez massive pour devenir un trou noir.

Mais au-delà de ces masses, le cœur résiduel s'enfonce dans l'espace-temps jusqu'à s'y engloutir. Il subit une pression gravitationnelle telle que les distances entre ses particules relatives tendent toutes vers deux points, ses mouvements internes tendent vers zéro et la dilatation du temps s'étend indéfiniment. Ce qui fut une étoile se transforme en un trou noir. Un champ gravitationnel intense capture et précipite vers une singularité – dont la physique est actuellement inconnue – tout ce qui franchit le « bord », l'horizon des évènements du trou noir, au delà duquel tout retour est impossible. Une vitesse de libération supérieure à

celle de la lumière serait en effet nécessaire pour s'arracher à la gravité qui règne à l'intérieur de cet horizon – d'où la métaphore « trou noir ».

Les trous noirs sont prévus par la *relativité générale*, plus précisément par le rayon de Schwarzschild, qui définit une limite sphérique critique, dépendant de la masse d'un corps. Si un objet se concentre à l'intérieur de cette sphère, alors il constitue un trou noir. D'après *Wikipédia* *« Le rayon d'un trou noir est proportionnel à sa masse : environ 3 km par masse solaire pour un trou noir de Schwarzschild »*. Ce même article de Wikipédia *ajoute un peu plus loin* qu' *« Étant donné que la densité moyenne d'un trou noir à l'intérieur de son rayon de Schwarzschild est inversement proportionnelle au carré de sa masse, les trous noirs supermassifs sont beaucoup moins denses que les trous noirs stellaires (la masse volumique d'un trou noir de 10^8 masses solaires est comparable à celle de l'eau ; un trou noir de dix-milliards (10^{10}) de masses solaires serait moins dense que l'air) »*. Ce qui n'enlève rien au fait que la densité de la singularité centrale semble tendre vers l'infini.

Avec ou sans moment cinétique, avec ou sans charge électrique, quatre types de trous noirs existent :

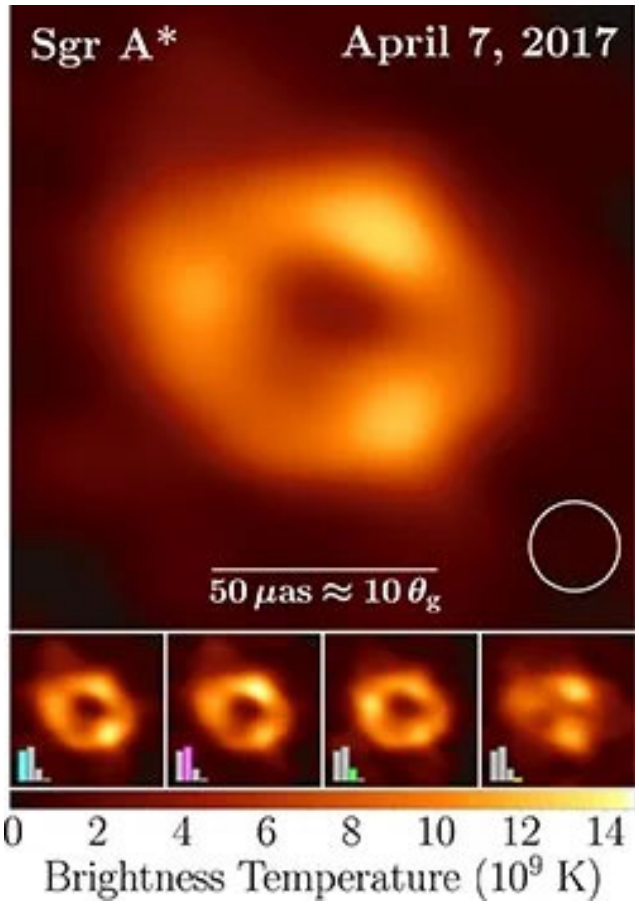
- Le *trou noir de Schwarzschild* n'est pas en rotation, son horizon des évènements est sphérique et la singularité vers laquelle la matière tombe est ponctuelle. Couplé à un champ électromagnétique, c'est un *trou noir de Reissner-Nordström*.
- Le *trou noir de Kerr*, est en rotation, son horizon des évènements est un ellipsoïde et sa singularité est un tore. Un trou noir en rotation déforme et entraine l'espace-temps qui l'entoure, ce qui crée dans son voisinage une *ergosphère*, elle aussi aplatie. Couplé à un champ électromagnétique, c'est un *trou noir de Kerr-Newman*.

Le trou noir de Kerr-Newman accrète, échauffe et ionise de la matière. Sa rotation enroule les lignes du champ magnétique de son disque d'accrétion, de telle sorte qu'un *plasma principalement constitué d'électrons et de positons* est éjecté à des vitesses proches de celle de la lumière, des deux côtés de l'axe de rotation : ce sont les jets relativistes caractéristiques des trous noirs.

Vue de loin, une chute vers un trou noir semble ralentir et se figer, parce que l'énorme gravité environnante dilate localement le temps.

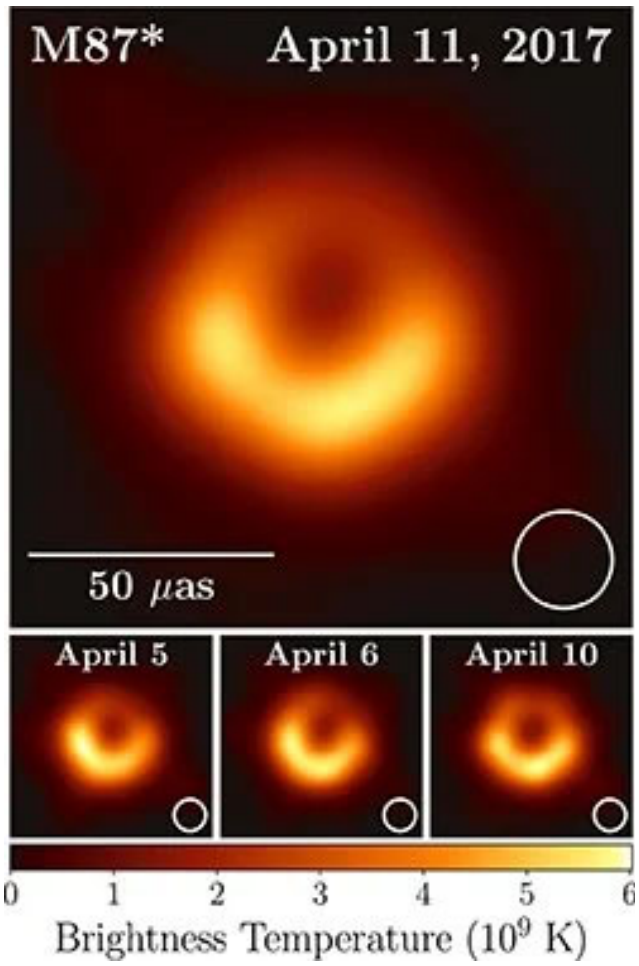
Par ailleurs, *l'indétermination* règne dans le monde microscopique, où des *particules-antiparticules virtuelles* se créent et s'annihilent très rapidement. D'après l'astrophysicien Stephen Hawking, les forces de marée peuvent séparer ces paires lorsqu'elles apparaissent sur l'horizon du trou noir. L'une des deux particules est absorbée, tandis que l'autre rayonne. Cette séparation coute une faible énergie thermique – donc une faible masse – au trou noir, qui *s'évapore* peu à peu. Elle est proportionnelle à la force de marée, qui est inversement proportionnelle à la taille, donc à la masse du trou noir. Plus le trou noir est petit en effet et plus le gradient est important : les petits trous noirs s'évaporent plus vite, avec un rayonnement d'une plus petite longueur d'onde, que les plus massifs.

> Qu'advient-il de l'information que contenait un trou noir évaporé ? Si elle est *perdue*, l'histoire de certaines régions de l'univers mène-t-elle donc à des impasses ?



Le disque d’accrétion du trou noir géant Sagittarius A*, situé au centre de notre galaxie, à 26 000 années-lumière du système solaire. Sa masse est de 4,3 millions de masses solaires, concentrée dans un volume dont le rayon est d’environ 12 millions de kilomètres, soit 18 fois le rayon du Soleil.

(Image et source : Wikipédia)



Le trou noir supermassif M87*, qui est situé au centre de la galaxie elliptique supergéante Messier 87. Sa masse est de 6,5 milliards de masses solaires, concentrée dans un volume dont le rayon est de 19 milliards de kilomètres.

(Image : Wikipédia)
(Source : Wikipédia)

Les trous noirs les plus massifs se situent au centre des galaxies.

AU CŒUR DES TROUS NOIRS

> Les possibilités de variation de longueur d'une petite boucle de quelques points sont plus restreintes que celles d'une grande boucle constituée de milliards de points. Les mouvements des particules relatives d'une petite boucle de quelques points sont plus contraints que ceux d'une grande boucle constituée de milliards de points.

Soit une gigantesque accumulation de particules relatives, quelque part dans le cosmos, disons arbitrairement que sa densité moyenne est égale à celle de l'eau, ce qui correspond à celle d'un *trou noir supermassif*. Les mouvements s'y

contraignent mutuellement, d'autant plus qu'ils s'approchent de la singularité. Lors d'une chute dans un trou noir, les possibilités de variations de la longueur des boucles spatiales se réduisent de telle sorte que l'inertie, la masse s'accroissent. En échange de quoi, les structures de particules relatives se font et se défont avec une lenteur croissante : leur temps propre subit du même coup une dilatation. Pourtant, vus depuis le centre de l'accumulation, les évènements locaux semblent se succéder à un rythme régulier. Tandis que la succession des évènements du reste de l'univers semble accélérer, ce qui s'accompagne d'un dégagement croissant de toutes les formes d'énergie.

Vues depuis l'extérieur, les synchronisations des boucles spatiales sont extrêmement ralenties au centre du trou noir. Or, pour qu'un espace 2D existe, au moins deux boucles spatiales synchronisées sont nécessaires, pour qu'un espace 3D existe, au moins trois boucles spatiales synchronisées sont nécessaires. Et plus on s'enfonce dans l'accumulation, plus les contraintes spatiales augmentent : plus les synchronisations locales de boucles spatiales, donc les espaces 2D et 3D, se raréfient. La « singularité » tapie au fond des trous noirs est un espace 1D, c'est au moins une boucle spatiale dépourvue, ou quasi dépourvue, de synchronisation avec au moins une autre boucle spatiale.

Plus un trou noir possède une masse importante, plus ses espaces 2D et 3D se décomposent en espaces 1D « isolés », qui broient tout ce qui s'aventure jusqu'à elles. L'entropie augmente aussi dans les trous noirs.

LE CŒUR DES TROUS NOIRS N'EST PAS UN INFINI ISOLÉ DU RESTE DE L'UNIVERS

> Les particules relatives d'un objet absorbé par un trou noir continuent de se dédoubler partout dans le reste de l'univers. Aussi ralentis soient-ils, du mouvement, des informations s'échangent entre l'intérieur du trou noir et de multiples dédoublements non locaux. Le cœur d'un trou noir n'est jamais totalement isolé du reste de l'univers.

Chaque lien spatial interne au trou noir se dédouble dans 2# – 2 environnements non locaux, auxquels il communique du mouvement, des informations sur ce qui se passe dans le trou noir. L'information cachée par le trou noir ne se néantise

donc pas. Et réciproquement : les environnements respectifs des 2# – 2 dédoublements externes de la matière engloutie exercent une action sur ce qui se passe dans le trou noir. Même les états les plus effondrés de la matière subissent donc des fluctuations non locales.

L'état de l'énergie, de la matière, de l'espace, du temps au centre des trous noirs ne dépend donc pas seulement de ce qui s'y passe localement. Une sorte de mousse fluctuante singulière s'agite au fond des trous noirs. Elle surmonte toutes les énergies possibles, pendant des temps relatifs considérablement dilatés. Cette mousse exerce une pression qui empêche la singularité centrale de s'effondrer infiniment.

> Les trous noirs ont des *cheveux*. C'est-à-dire que leur masse, leur moment cinétique et leur charge électrique ne les caractérisent pas totalement. À ces trois paramètres s'ajoutent les interactions non locales, qui relient les mouvements de leurs particules relatives au reste de l'univers. Ce quatrième paramètre résout le problème du *paradoxe de l'information*. Même si les trous noirs *s'évaporent*, l'information qu'ils contiennent se dédouble, elle ne se perd donc pas totalement.

« Si la force d'attraction [des trous noirs] est si forte que les photons ne peuvent s'en échapper, pourquoi les gravitons y parviennent-ils ? » se demande Martin Bojowald. Parce que les gravitons qui proviennent des trous noirs sont peut-être des dédoublements informes des mouvements microscopiques situés à l'intérieur du trou noir, des sortes d'échos de ce qui se passe dans le trou noir. Ils se présentent peut-être comme une matière noire particulièrement froide, du fait de la dilatation temporelle qui règne à l'intérieur du trou noir. Ces quanta des champs gravitationnels ne sont qu'hypothétiques. S'ils existent, leur provenance « anormale » des trous noirs est à priori explicable.

22 | Paradoxes quantiques

Dernière modification de cette page en avril 2026

Une interprétation réaliste des paradoxes de la mécanique quantique.

> (À propos du physicien *Ernst Mach*) *« Son action a été particulièrement bienfaisante lorsqu'il a montré clairement que les problèmes de physique les plus importants ne sont pas de nature mathématico-déductive ; les plus importants sont ceux qui se rapportent aux principes de base. »*
>
> *(Albert Einstein, lettre à Michele Besso, Correspondance 1903-1955, Hermann, 1979, page 231)*

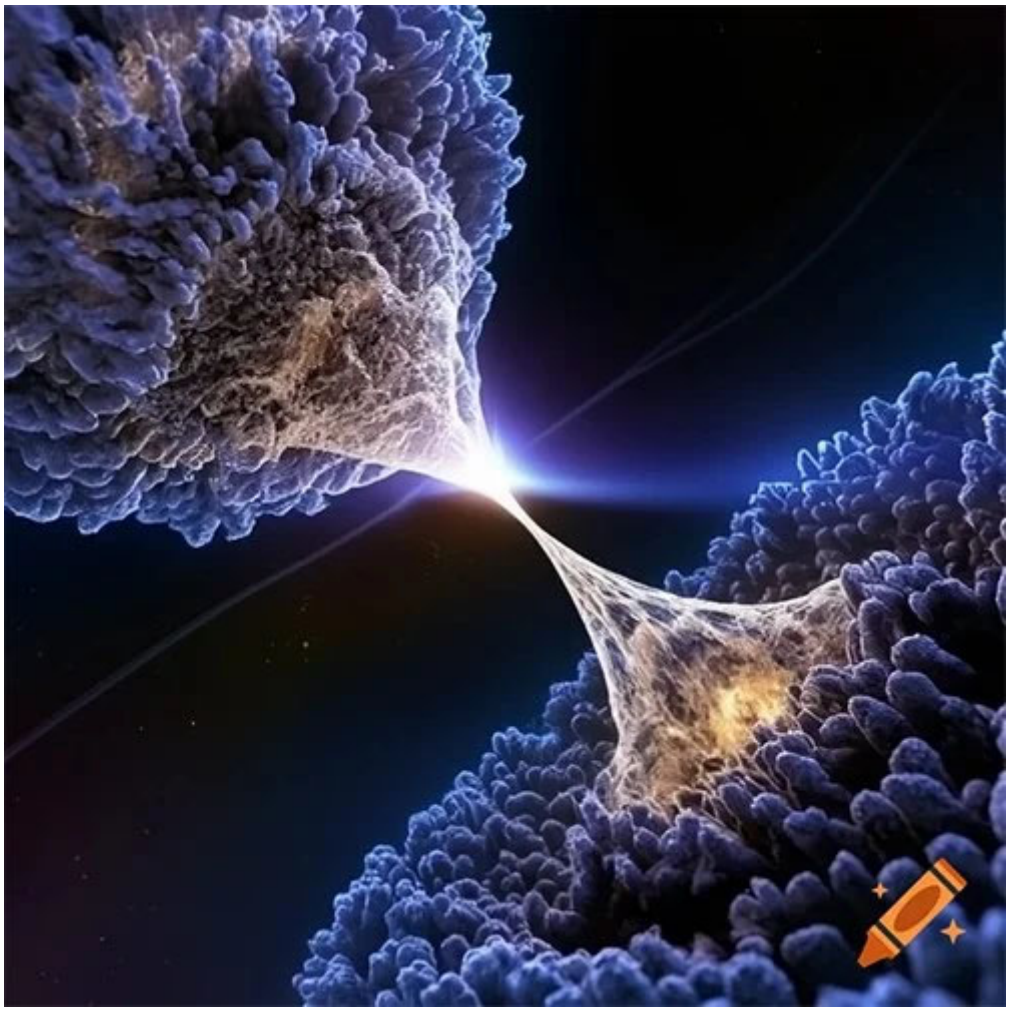


Image générée par *l'IA Craiyon* en 2025, avec le prompt *« quantum of action entangled with large particles of matter »* (quantum d'action intriqué avec de grandes particules de matière). L'imagination artificielle est parfois surprenante, mais le réel dépasse la fiction.

LE QUANTUM D'ACTION

La longueur d'une boucle spatiale varie au minimum de plus ou moins un point dans l'absolu, soit 2# – 1 points dans le relatif, puisque chaque boucle spatiale se dédouble 2# – 1 fois. Cette variation s'opère donc de façon discrète, par paliers, par unités spatiotemporelles entières, c'est-à-dire par quanta. Admettons qu'elle est égale au *quantum d'action h*.

- Avec h, *constante de proportionnalité de Planck*, qui relie l'énergie E et la fréquence v d'une onde : E = hv
- Tandis que h barre, ħ = h/2π, correspond à une fréquence angulaire exprimée en radians par seconde, soit une variation d'un angle par unité de temps, ce qui est pratique pour calculer des ondes

> *« La physique quantique peut découler du principe suivant : il n'existe pas de système physique présentant un changement inférieur à ħ entre deux observations. » (Wikipédia)*

Le quantum d'action a la dimension du produit d'une énergie par une durée, il est infinitésimal : h = 6,626 070 15 × 10^{-34} Joules par seconde. Nos échelles habituelles mettent des énergies colossales en jeu, en regard d'h.

Elle a aussi la dimension du produit d'une quantité de mouvement multipliée par une longueur :

- La plus petite action possible est un mouvement de zéro point par instant.
- Tandis que la plus grande action possible est un mouvement de boucles spatiales, de particules relatives, d'un point par instant, dédoublé 2# – 1 fois, ce qui correspond à la vitesse de la lumière dans le vide.

Entre ces deux extrêmes (entre zéro point par instant et un point par instant) une infinité de variations intermédiaires discrètes se suivent, comme un point en deux instants, un point en trois instants… un point en n instants. Ces valeurs sont entières, ce qui implique que seuls des *niveaux d'énergie* sont possibles.

Par exemple, si un flux lumineux baisse progressivement, il arrive un moment où il se réduit à quelques quanta individuels de lumière, à des photons plus ou moins espacés dans le temps. L'énergie de chaque photon ne baisse pas, la seule chose qui varie, c'est le nombre entier de photons. Le variateur d'une lampe fait ainsi baisser de façon discrète le nombre de photons émis par seconde, il ne fait pas baisser l'énergie individuelle des photons de façon continue.

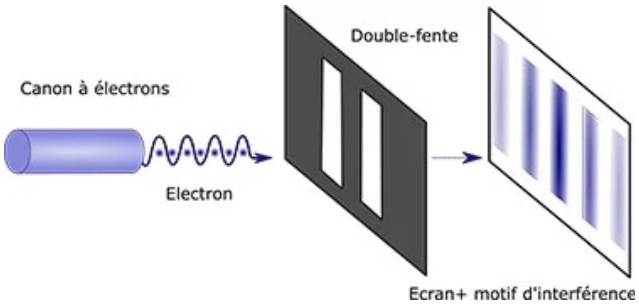
Dans notre expérience quotidienne, ces « sauts » de point en point sont microscopiques et en grand nombre. Ils se fondent en un flou qui apporte une certaine continuité apparente aux mouvements. Mais fondamentalement, seule existe la quantification du mouvement des particules relatives.

La limite d'un point par instant freine plus ou moins tout mouvement. Ses effets varient selon les différents chemins possibles. Chaque mouvement suit donc un chemin de moindre résistance, en équilibre instable entre une longueur et une durée minimales. Ce chemin de *« moindre action »* se détermine « en temps réel » point après point, il ne forme pas nécessairement une courbe régulière aux petites échelles, d'où *l'indétermination* des trajectoires des particules. Aux échelles macroscopiques, un grand nombre de trajectoires microscopiques et chaotiques se fondent en un flou moyen, tel que les trajectoires apparaissent lisses.

Le chemin parcouru d'un mouvement est une *énergie cinétique* et le chemin à parcourir est une *énergie potentielle*.

L'EXPÉRIENCE DES FENTES DE YOUNG

Principe de l'expérience des *fentes de Young* :



1. Un faisceau de particules ponctuelles se diffracte sur les bords de deux fentes du premier écran, ce qui crée un front d'onde, qui se courbe.
2. Les ondes de particules interfèrent entre elles sur le deuxième écran,
3. où elles produisent des franges d'interférences.

(Image : Wikipédia)

Lorsque le faisceau de particules diminue, d'électrons, par exemple, et que son intensité se réduit à la projection de particules individuelles successives, la distribution de taches ponctuelles obtenues une à une semble dans un premier temps aléatoire. Pourtant, cette succession de particules individuelles dessine progressivement des interférences alternativement constructives et destructives. Dans un univers où les particules se dédoublent 2# – 1 fois, chaque particule baigne en effet dans ses dédoublements plus ou moins informes, aux mouvements plus ou moins synchrones, d'où la création d'interférences « caléidoscopiques ».

Cet effet ondulatoire cesse néanmoins lorsque l'une des deux fentes est obstruée, ou lorsque l'on détecte la fente par laquelle passe une particule. Les impacts créent alors une tache dépourvue d'interférences sur le deuxième écran, comme le feraient des billes de peinture. Si une particule est détectée d'une façon ou d'une autre avant qu'elle atteigne le deuxième écran, elle devient en

effet formée pour le détecteur. Cette détection la différencie de ses 2# – 2 autres dédoublements informes. Ses vagues deviennent ainsi détectées, mais les effets des vagues de ses 2# – 2 autres dédoublements informes ne sont pas détectés, puisque la détection ne les sélectionne pas. La détection opère alors une distinction entre les vagues porteuses de la particule formée et les vagues porteuses des particules informes. La particule détectée semble donc « seule ». Il s'ensuit une tache corpusculaire sur le deuxième écran, qui n'interfère avec rien. Si elle n'avait pas été détectée en amont, le capteur aurait réagi à tous les dédoublements formés et informes de la particule, portés par toutes les vagues locales de particules relatives, ce qui aurait donné une figure ondulatoire.

Pour autant, lorsqu'elles créent des franges d'interférences, les particules ne se dédoublent pas pour passer simultanément par les deux fentes et pour interférer avec elles-mêmes. À une particule formée ne correspondent que des dédoublements informes : si elle passe par une fente, alors ce sont des dédoublements informes qui passent aussi par la même fente ou par l'autre fente. Elle n'interfère donc pas avec elle-même, puisqu'il n'y a qu'elle-même qui est formée. Elle interfère avec son bain de dédoublements informes, ce qui se traduit par le caractère probabiliste des interférences résultantes. Une observation du deuxième écran montre en effet des dégradés alternatifs de taches toutes identiques, mais plus ou moins espacées, ce qui crée des alternances ondulatoires de densité. D'après le physicien Max Born, en 1926, les franges d'interférences sur le deuxième écran résultent, non pas d'ondes physiques, qui sont continues, mais *d'ondes de probabilité de présence*. Ces probabilités de détection des particules donnent un résultat « pointilliste ». Les franges d'interférences sont des zones où les probabilités d'impacts sont plus ou moins fortes.

LES RELATIONS D'INDÉTERMINATION D'HEISENBERG

Pour localiser un objet, il est évidemment nécessaire de le détecter, c'est-à-dire d'interpréter une perturbation. Par exemple, pour localiser la Lune, il est nécessaire de percevoir une réflexion de lumière.

Mais que se passe-t-il lorsqu'on éclaire une particule microscopique ?

- Avec une lumière de forte énergie, dont la longueur d'onde est étroite, il est

possible de localiser assez précisément la particule. En revanche, cet éclairage puissant modifie l'énergie cinétique de la particule. La mesure de la vitesse est peu précise.

- Avec une lumière de faible énergie, dont la longueur d'onde est grande, il n'est pas possible de localiser précisément la particule. En revanche, ce faible éclairage ne modifie guère l'énergie cinétique de la particule. La mesure de la vitesse est assez précise.

Une particule possède en outre des propriétés à la fois ondulatoires et corpusculaires, qui apparaissent selon le mode de détection de ses propriétés. Par exemple les franges d'interférences de la lumière indiquent des propriétés ondulatoires et les taches ponctuelles indiquent des propriétés corpusculaires. Ces propriétés font apparaitre une *dualité onde-corpuscule*.

Une onde possède une énergie qui peut se mesurer précisément par sa fréquence, mais elle est plus ou moins étalée, sa position est donc imprécise. Par exemple, un caillou jeté dans un bassin produit des vagulettes qui s'étalent. Inversement, un corpuscule peut se localiser précisément, mais cette position fixe entrave la mesure de son énergie, de sa quantité de mouvement, qui ne peuvent donc pas se déterminer précisément. La précision de la mesure de la position et celle de la quantité de mouvement d'une particule *s'excluent donc mutuellement*.

Position et quantité de mouvement (ou orientation angulaire et moment cinétique) d'une particule ne peuvent pas se détecter simultanément avec précision, il s'agit de *variables conjuguées*. Un choix est nécessaire entre la mesure précise d'une position et la mesure précise d'une quantité de mouvement : commencer par la mesure de la position pour ensuite mesurer la quantité de mouvement ne donne pas le même résultat que ces deux mesures effectuées dans l'ordre inverse. Des matrices représentent mathématiquement les transformations T d'où résultent position et quantité de mouvement et leur produit ne commute pas. $T_1 \times T_2$ est différent de $T_2 \times T_1$. De tels calculs permettent des statistiques d'une grande précision, prédisant les évolutions probabilistes des particules. Ils sont par exemple utilisés dans la conception des processeurs.

> Le produit de la position par la quantité de mouvement doit être supérieur ou égal à ħ/2. Il en va de même du produit de l'orientation angulaire par le moment cinétique, comme du produit de l'énergie par le temps – de *« tout couple de grandeurs physiques dont le produit a la dimension d'une action »* *(Wikipédia)*

Ce qui s'explique dans le cadre d'un univers fondamentalement unidimensionnel. Une boucle spatiale possède un mouvement propre d'allongement / réduction de sa longueur. Elle peut aussi se déplacer des points les plus anciens vers les plus récents ou des plus récents vers les plus anciens. La position de ses deux particules relatives est propre à cette boucle. Mais son mouvement propre n'est que l'une des composantes des multiples mouvements qui la traversent et dont elle est plus ou moins temporairement porteuse. Sa longueur, comme la position de ses particules relatives, sont d'autant plus indéterminées que sa quantité de mouvement, sa longueur et la position de ses deux particules relatives sont mesurées sur un laps de temps court, ce qui prend en compte des mouvements fugaces et élargit l'indétermination. La mesure précise de l'énergie résultant de ses multiples composantes de mouvement et la mesure précise de la position de ses particules relatives s'excluent mutuellement.



C'est comme prendre une photo en basse lumière : plus de précision dans l'exposition entraine moins de précision dans la netteté et réciproquement.

23 | La matière au cœur des paradoxes de l'univers

Dernière modification de cette page en avril 2026

Des compléments à la page précédente.



Image générée par *l'IA Craiyon* en 2026, avec le prompt *« a lot of particles among the universe's paradoxes »* (une multitude de particules parmi les paradoxes de l'univers).

LES PARTICULES VIRTUELLES

> Il y a $2\#^2 - \#$ liens spatiaux dans le relatif. Chaque lien spatial se relie à $2\# - 2$ autres liens spatiaux et il se dédouble $2\# - 1$ fois.

Chaque boucle spatiale se prolonge par $2\# - 2$ autres boucles dans le relatif. Elle interagit donc plus ou moins avec le mouvement de ces $2\# - 2$ autres

boucles. Ces interactions non locales impriment aux particules relatives des mouvements plus ou moins chaotiques. Mais, comme 2# – 2 est un très grand nombre d'interactions non locales, les multiples composantes se compensent globalement plus ou moins et le mouvement local résultant est minime, ce qui contribue à la stabilité générale de la matière.

Mais d'importantes fluctuations peuvent se produire sur des laps de temps très courts, lorsque les conditions locales et non locales le permettent. Même là où apparemment il ne se passe rien, il est possible qu'une particule devienne informe quelque part pour apparaitre « spontanément » ailleurs. Cette particule passe de formée à informe localement et d'informe à formée dans l'un de ses environnements non locaux. Un *« faux vide » quantique* « grésille » ainsi en permanence. Des myriades de *particules et d'antiparticules virtuelles* se créent « spontanément » en permanence. La *conservation de l'énergie* impose qu'elles se créent par paires particules / antiparticules, puis particules et antiparticules s'annihilent rapidement entre elles, c'est-à-dire qu'elles passent de formées à informes. Leur création spontanée semble brièvement violer la conservation de l'énergie, dans les limites des indéterminations quantiques, mais il n'en est rien : deux dédoublements ne font que se transformer l'un en l'autre. Une version future de la physique quantique verra peut-être les particules virtuelles comme conservant toujours l'énergie.

Les particules virtuelles sont des objets abstraits utilisés dans les diagrammes de Feynman. Elles correspondent aussi à des objets concrets dans le monde réel, même s'il est impossible de les observer directement. *L'effet Casimir* apporte néanmoins une preuve expérimentale à leur existence. Deux plaques parallèles conductrices et non chargées baignent dans les fluctuations quantiques d'un champ électromagnétique local, mais un défaut de fluctuations dans l'espace qui les sépare les rapproche l'une de l'autre.

Des fluctuations en tous genres forment le monde macroscopique dans lequel nous vivons, mais nous n'en avons pas directement conscience, parce qu'elles s'opèrent sur de trop petites échelles pour nos cinq sens, dans l'espace et dans le temps. Si nous pouvions directement voir les particules, la matière semblerait perdre sa consistance. Instant après instant, notre environnement se volatiliserait plus ou moins en brumes indéterminées, flottant autour de formes moyennes.

Lorsque nous regardons « normalement » une statue, nous la voyons seulement là où ses particules sont le plus probablement présentes. Sa forme est une densité de probabilité élevée, autour de laquelle fluctuent des formes éphémères moins probables. Si nos sens étaient beaucoup plus performants, peut-être que cette statue nous apparaitrait comme nimbée d'une sorte d'aura.

SUPERPOSITION D'ÉTATS

> **Fameuse recette de cuisine quantique :**
>
> Enfermez un chat de Schrödinger bien vivant et un flacon de poison volatil dans un caisson hermétique et opaque. Un dispositif aléatoire brisera ou non le flacon, laissant à l'animal 50 chances de survie sur 100. Laissez mijoter un quart d'heure.

Le bon sens nous dit qu'une seconde avant l'ouverture du caisson, le chat est soit vivant, soit mort, mais pas les deux à la fois. D'un point de vue mathématique, il en va pourtant autrement. *L'équation de Schrödinger*, qui décrit l'état d'un système quantique, est linéaire. S'il existe plus d'une solution, alors les solutions elles-mêmes, plus toutes les solutions intermédiaires, satisfont l'équation. Il n'y a, de ce point de vue mathématique, aucune contradiction à ce que la capsule de poison soit à la fois brisée et intacte, donc que le chat soit dans un état indéterminé, mélange « d'état vivant » et « d'état mort ». Il y a alors « *superposition d'états* » de la capsule et du chat, aussi longtemps que ces états ne sont pas mesurés – ou qu'ils interagissent avec quelque chose. Lorsque nous ouvrons le caisson, il se produit une *réduction du paquet d'onde* et nous n'observons que l'un des états possibles, plus ou moins probable.

> Dans le passage d'états superposés à un seul état, la réduction du paquet d'onde implique une observation, une mesure, tandis que la *décohérence quantique* implique une interaction quelconque avec l'environnement local.

Un photon qui traverse ou pas une vitre semi-réfléchissante reste dans une superposition réfraction + réflexion jusqu'à ce qu'une observation ou une interaction concrétise l'un de ses états possibles.

Une explication mathématique des superpositions d'états provient des *espaces de Hilbert*. Il s'agit d'espaces vectoriels qui possèdent autant de dimensions qu'un objet a de degrés de liberté. À chaque vecteur correspond un état. Les vecteurs peuvent s'additionner, se multiplier par des *nombres complexes* et leurs combinaisons superposent des états quantiques plus ou moins probables.

Ces mésaventures mathématiques n'arrivent pas tant aux chats qu'à leurs particules constitutives, aux échelles microscopiques. 2# – 1 informités interagissent avec 2# – 1 environnements locaux. Si l'une de ces 2# – 1 interactions locales prime sur les autres, si les contraintes de ses mouvements locaux l'emportent sur celles de ses 2# – 2 autres dédoublements non locaux, alors il y a décohérence locale. L'une des 2# – 1 informités devient formée. De ce « scintillement » apparemment aléatoire de particules formées, résultent des phénomènes émergents. Par exemple, la géométrie d'un chat crée un milieu local particulier, où les évolutions locales priment sur les évolutions non locales. L'animal est plus ou moins « vivant » et « mort » selon l'état de ses dédoublements, qui sont plus ou moins formés et informes, ce qui s'exprime mathématiquement par la linéarité de l'équation de Schrödinger. Il existe ainsi une informité particulière, qui interagit plus intensément que les autres avec son environnement : celle d'un chat vivant. Cette informité particulière se distingue des autres parce que c'est là, dans un environnement local particulier, que ses évolutions rencontrent le moins de résistance, là où il y a la plus grande synergie dans les interactions entre de multiples informités. Par exemple, un grand nombre de réactions biochimiques se renforcent mutuellement pour faire vivre un chat. Mais si cette informité particulière se transforme d'une façon telle que le chat perd sa synergie vitale, alors l'animal meurt pour la science.

> La superposition d'états d'une particule, c'est dans l'absolu la superposition de ses **2# – 1** dédoublements, dans **2# – 1** environnements locaux différents. C'est-à-dire la superposition de **1** environnement local où elle existe dans un état relativement formé, plus **2# – 2** environnements non locaux, où elle existe dans des états plus ou moins informes.

Nous allons maintenant voir que la détection d'une particule « sélectionne » l'une

de ses 2# – 1 informités.

LA DÉTECTION DE QUELQUE CHOSE, C'EST LA SÉLECTION D'UNE INFORMITÉ

Les 2# – 1 informités d'un même objet sont à rapprocher des abstraites *réduction du paquet d'onde*, ou *décohérence*, de la physique quantique :

- Avant d'être mesuré, un quanton – une particule – est dans un état « indéterminé », c'est-à-dire que tous ses états possibles se superposent, comme autant de possibilités latentes. La nature ne fait pas encore de distinction entre ses 2# – 1 informités, ses 2# – 1 superpositions.
- Pendant la mesure, il y a interaction entre le quanton et l'appareil de mesure.
- Après la mesure, le quanton n'est plus que dans un seul état : celui mesuré. Autrement dit, la détection est une cause dont l'effet est de transformer une informité en dédoublement formé. Si une interaction quelconque remplace la détection, le résultat est le même.

Tout se dédouble partout dans l'univers. Les 2# – 1 informités d'une particule quelconque sont un ensemble universellement diffus. Plus chacune d'elles est localement formée, plus elle se rapproche d'une présence « réelle » et plus sa probabilité de présence locale est grande. La fonction d'onde psi décrit ainsi les ondes de probabilité de présence des objets microscopiques et de leurs propriétés. Comme une probabilité ne peut pas être négative, ces ondes de probabilité se calculent comme des carrés, ce qui ne change rien ici.

- Tant qu'elle n'est pas détectée quelque part, une particule quelconque existe partout où existe l'un de ses 2# – 1 dédoublements relativement informe. La « fonction d'onde » qui décrit statistiquement cette probabilité de présence est « étalée », puisque les 2# – 1 informités se répartissent partout dans l'univers. Elles ont alors toutes le même statut relatif. Tant qu'elle n'est pas détectée, toute particule est ainsi dans l'état indéterminé correspondant à la superposition probabiliste de ses 2# – 1 informités relatives.
- Par contre, une détection sélectionne l'une de ces 2# – 1 informités, qui se différencie alors des autres. Elle acquiert un statut privilégié par rapport aux

autres. Elle devient en effet formée et les autres sont plus ou moins informes par rapport à elle. Lorsqu'elle est détectée, la particule se restreint localement à une seule de ses 2# – 1 informités. Il y a alors « réduction » de la fonction d'onde – ou décohérence dans le cas d'une interaction. C'est la détection ou l'interaction qui fait passer un objet de l'état « d'informité informe comme les 2# – 2 autres » à l'état « d'informité formée différente des 2# – 2 autres ». 2# – 1 particules potentielles passent ainsi à 2# – 2 particules potentielles + une réelle.

Les particules relatives constitutives d'une particule détectée continuent néanmoins de subir les interactions des 2# – 2 environnements non locaux où chacune d'elles se dédouble. Le mouvement de la particule détectée continue donc de fluctuer sous l'effet d'interactions non locales, exactement comme si la particule n'était pas détectée. Dans l'absolu, rien ne distingue objectivement une particule détectée d'une particule non détectée. Comme pour tout le reste, la détection n'est qu'une affaire de points de vue, de référentiels.

TÉLÉPORTATION QUANTIQUE

Chaque boucle spatiale a un « point de vue » unique sur les autres boucles, chacun des 2# – 1 dédoublements d'une informité possède donc une forme particulière, différente de celle des autres. Autrement dit, les informités qui ont en commun les mêmes liens spatiaux n'ont pas la même forme, puisqu'elles résultent de 2# – 1 « points de vue » différents. Puisqu'il s'agit des mêmes liens spatiaux, ces formes différentes sont « superposées », jusqu'à ce que l'une d'entre elle soit détectée, ce qui la sélectionne et la rend « unique ». Où qu'elle interagisse avec son environnement d'une façon telle qu'elle se distingue des autres plus que les autres, s'il y a décohérence, ce qui revient au même. Si deux dédoublements d'une même informité sont détectés, alors ils sont forcément dans des états différents. Cependant, une même caractéristique ne possède pas nécessairement 2# – 1 états différents. Par exemple, le spin d'une particule ne peut être que *up*, *down* ou nul. Mais les particules ont plus de trois caractéristiques et elles se situent toutes dans des environnements locaux différents, où elles apparaissent sous des « angles » différents, puisqu'elles résultent de 2# – 1 « points de vue » différents. Les dédoublements ne se distinguent pas nécessairement les uns des autres par toutes leurs propriétés.

Des « transferts instantanés » de mouvements de particules relatives sont possibles dans des environnements locaux différents, sans déplacement de matière, d'énergie, d'information, quand ils résultent des mêmes boucles spatiales dédoublées. L'une des informités appartenant aux 2# – 1 dédoublements des mêmes boucles spatiales peut ainsi échanger instantanément sa forme avec une autre informité appartenant aux mêmes 2# – 1 dédoublements qu'elle. Ce qui rend possible une pseudo « téléportation » instantanée de tout état quantique, sur des distances pouvant être très éloignées.

LES MONDES MULTIPLES DU PHYSICIEN HUGH EVERETT NE SONT PAS LOIN

Version d'Everett. Tous les états quantiques superposés (indéterminés) émergent à chaque instant, comme autant de mondes arborescents dans l'univers. Lorsqu'il y a *réduction du paquet d'onde*, il y a bifurcation de l'observateur dans la structure « effondrée » de l'un de ces états, qui devient pour lui réelle.

Version DCU. Toutes les informités superposées (indéterminés) émergent à chaque instant, comme autant de mondes arborescents dans l'univers. Lorsqu'il y a réduction du paquet d'onde, ou *décohérence*, il y a sélection de l'informité correspondant à l'un de ces états, qui devient formée.



Dans l'un des multiples mondes d'Everett, le Titanic coule, dans un autre monde, il ne coule pas.

24 | Les expériences de mort imminente

Dernière modification de cette page en avril 2026

Le titre de cette page est quelque peu réducteur parce que des personnes bienportantes peuvent elles aussi expérimenter une *expérience de mort imminente*.

> Attention : un faisceau de témoignages convergents constitue une piste de recherche, pas une preuve *reproductible*.

ACCROISSEMENT DE COMPLEXITÉ

La création d'un point de plus à chaque instant de plus modifie à chaque instant la division en segments de la suite de points et d'instants. Les limites de ces divisions évoluent en permanence et les segments glissent, se croisent, interfèrent entre eux. Or, il s'agit d'espace et les segments se « voient » les uns les autres par leur profondeur : ils se prolongent mutuellement. Des myriades de liens spatiaux plus ou moins synchrones créent ainsi des espaces fluctuants de particules relatives. De multiples systèmes s'imbriquent les uns dans les autres, se structurent, se font et se défont en permanence. La complexité de l'univers s'accroit à chaque instant. La complexité de la vie tend elle aussi à s'accroitre… Comme la complexité de la conscience. Alors, cette évolution se poursuit-elle jusqu'à permettre une vie après la vie ?

Tout est peut-être très simple : si tous les points restent présents, alors la conscience individuelle et son histoire demeurent elles aussi présentes, elles ne font que se transformer, sans disparaitre. Comment en savoir plus ?

UNE PETITE QUESTION

> **Un univers intrinsèquement cohérent n'admet pas une**

> **« petite exception à la règle », une « petite incohérence », même au moment de la mort de l'individu. Or, l'histoire d'une personne ne se construit pas toute seule, indépendamment du reste de l'univers, pour aboutir à un état parfaitement absurde de néant absolu : elle aussi est intrinsèquement cohérente. Une absurdité existentielle absolue, telle que la décrit l'existentialisme athée, est donc exclue. La première réponse qui vient à l'esprit est celle de l'existence d'un au-delà. Quelle hypothèse pouvons-nous avancer à ce sujet ?**

- **D'une part,** d'après la cohérence universelle, trois univers parallèles hyperdimensionnels s'imbriquent dans le nôtre. Imaginons que l'au-delà s'y situe.

L'hyperdimension de ces univers parallèles se traduit pour nous par les trois interactions électromagnétique, forte et faible. Donc, si je me transforme en « être électromagnétique » 2D, j'accède à l'au-delà, où je peux ensuite me « déployer » dans la 3D hyperdimensionnelle locale.

- **D'autre part,** ce passage de *Super-symétrie, par Gordon Kane, Le Pommier, 2003, page 76,* suggère que nos vies modulent en permanence une lumière invisible qui émane en permanence de chacun d'entre nous. S'il y a une interaction électromagnétique, il y a un champ magnétique et des ondes qui se propagent :

> *« Tous nos sens sont liés à des effets mécaniques et chimiques, fondés sur l'interaction électromagnétique. La vue n'est rien d'autre qu'une interaction entre des photons et les électrons de nos yeux, associée à des signaux électriques qui cheminent ensuite jusqu'à notre cerveau. Le toucher commence par une pression au niveau des cellules de notre épiderme qui engendre d'autres signaux électriques, lesquels se propagent jusqu'à notre cerveau. L'ouïe, c'est simplement le choc des molécules d'air et les molécules de nos tympans, qui interagissent par l'intermédiaire de la force*

> *électromagnétique. »*
>
> Voir aussi la page Wikipédia traitant du *bioélectromagnétisme*.

Du fait de sa chaleur, de l'activité électromagnétique du système nerveux, le corps émet en permanence de faibles ondes, que l'histoire de l'individu module plus ou moins en amplitude et en fréquence. Par exemple, si j'écoute de la musique, mes nerfs auditifs transmettent un courant, qui émet des ondes électromagnétiques porteuses de cette musique. Une bulle électromagnétique s'étend ainsi autour de chaque individu. Son rayon possède une dimension dont le nombre d'années-lumière est égal à l'âge de la personne. Lorsque le corps meurt, la bulle et l'histoire de l'individu subsistent intégralement. De la même façon, les ondes émises à un moment donné par un émetteur radio « survivent » intégralement à l'arrêt de leur générateur.



Les « ondes corporelles » possèdent une caractéristique particulière : elles sont le « je », la mémoire intégrale de l'individu. Peut-être la mort constitue-t-elle une seconde naissance, une métamorphose : le corps accoucherait de son propre « je » électromagnétique, qui deviendrait autonome. Au moment de la mort, l'individu deviendrait l'enregistrement de tout ce qu'il a vécu. Voilà pourquoi certains voient (deviennent) l'ensemble du « film de leur vie » après être « sortis de leur corps ».

Avant la mort, ces ondes électromagnétiques du « je » se diluent passivement dans le cosmos. Elles constituent une « bulle de lumière invisible » très particulière, puisqu'il s'agit de l'histoire d'une personne. Ces ondes subsistent en 2D, elles peuvent donc se propager dans les quatre univers parallèles sans se ratatiner. Au moment du trépas, la bulle subit une décohérence, elle passe d'informe à formée dans l'un des trois espaces 3D hyperdimensionnels. La bulle

devient cette personne. Peut-être adopte-t-elle alors la forme humaine 3D du corps qui l'a générée.

La personne en tant que conscience disparait de notre espace dimensionnel 3D, qui devient pour elle 2D. Dans le même temps, sa tridimensionnalité émerge dans un espace hyperdimensionnel, elle trouve dans l'hyperdimension un nouveau degré de liberté. La personne change de géométrie, elle passe d'un espace 3D à un hyperespace 3D. En pratique, elle reste en 3D et il lui semble que c'est le paysage, autour d'elle, qui change.

> Une conscience « électromagnétique » est-elle possible ? C'est en partie ce qui se trame dans le système nerveux. Elle est donc au moins en partie possible.

DES *« CHANGEMENTS DE GÉOMÉTRIE »*

> *« Une femme assise au chevet de son frère mourant dit que la chambre, carrée, donnait l'impression de "se muer" en quelque chose d'autre. Un homme, professeur de maths, a décrit une pièce qui "s'effondre et s'étire en même temps, comme [s'il voyait] se dessiner une géométrie alternative". Pour beaucoup, ce changement de géométrie se limite à une modification de la forme de la pièce. D'autres voient, en plus, la pièce s'ouvrir sur "une autre réalité" décrite de manière diverse. » (Raymond Moody & Paul Perry, Témoins de la vie après la vie, Éditions Robert Laffont, 2010, page 100)*
>
> *Ces quatre témoins avaient donc spontanément remarqué un fait curieux et particulièrement intéressant : si en temps normal nous sommes habitués à percevoir le monde depuis un point précis de l'espace, lors de leur expérience, ils se trouvaient soit à plusieurs endroits simultanément, soit – encore plus fort ! – partout à la fois (Jean-Pierre Jourdan, Deadline, Éditions Les 3 Orangers, 2010, page 421)*

> *« Malgré le masque, je voyais des scènes qui semblaient activer un nouveau « sens » visuel. Cela me rappelle les expériences rapportées par des personnes aveugles lors de mort imminente : elles décrivent « voir » dans une autre dimension. »* ajoute le neurologue Steven Laureys dans *L'expérience de mort imminente (Éditions Odile Jacob, 2025, page 232)*



Pas une lumière divine, mais celle d'un concert 🙂

Des invariants géométriques apportent une cohérence générale aux « divagations » de millions de personnes en vadrouille aux abords de la mort. Tout se passe comme si les perspectives vues lors des expériences proches de la mort se situaient dans un espace au moins en partie extérieur à notre géométrie habituelle. En particulier, beaucoup rapportent une vision autour d'eux « sans limite », à 360° sphériques, où ils voient tout sous tous les angles possibles. Ce qui semble indiquer un point de vue depuis une dimension supplémentaire. Comme les habitants plats d'un espace 2D ne voient pas au-delà des lignes qui bouchent leur horizon. Mais ils peuvent voir « par-dessus les lignes » depuis un espace 3D, dont l'une des dimensions est extérieure à leur 2D : eux aussi voient leur monde 2D sous tous les angles possibles. C'est l'un des éléments qu'explique le docteur Jean-Pierre Jourdan dans *Deadline, 2010 et*

dans Le grand secret, paru en 2021 aux éditions Michel Lafon.

Une hypersphère ou un hypercube (en 4D) possèdent une structure très complexe, mais les témoins rapportent plutôt une géométrie bien plus simple, proche d'un espace 3D. Supposons qu'il s'agit d'un hyperespace 3D, dépourvu de l'une des dimensions de notre espace 3D usuel.

Cette géométrie 3D hyperdimensionnelle implique nécessairement que les témoins ne perçoivent plus notre univers habituel en 3D, mais en 2D. Ce qui, paradoxalement, ne transforme guère l'apparence de notre monde, puisqu'il semble comme vu avec un seul œil, expérience on ne peut plus banale. Il est possible de s'immerger dans la 2D, qui environne alors le témoin de toutes parts et lui donne ainsi l'illusion de la 3D. Cette 2D sans profondeur est particulière, puisque notre profondeur « terrestre » continue d'exister dans l'absolu : ses effets se projettent en 2D, elle continue de structurer la 2D de façon familière. Sauf que, pour les témoins exclus de la profondeur, la matière 2D, pour eux en apparence 3D, devient inconsistante, insaisissable. Ils ne peuvent plus saisir d'objets, qui de leur point de vue, ne possèdent plus qu'une profondeur apparente, ces objets sont devenus « immatériels ». Leur « bouche » n'a pas prise sur l'air de la 3D ordinaire, elle ne peut moduler aucune onde sonore : il leur est impossible de se faire entendre dans notre 3D dimensionnelle. Et inversement, les témoins deviennent eux-mêmes « immatériels » pour la 3D dimensionnelle. Ils peuvent par exemple « traverser » les murs, c'est-à-dire passer par-dessus dans l'espace hyperdimensionnel, comme s'ils marchaient sur un plan. Ils passent en fait au-dessus de murs 2D dans une 3D hyperdimensionnelle.

Les témoins peuvent s’élever au-dessus d’une scène, dans une pièce, à une hauteur supérieure à celle du plafond, puisqu’ils montent non pas dans la hauteur, mais dans une hyperhauteur.



Image générée par *l’IA Craiyon* en 2025, avec le prompt *« 3D bird’s eye view of an apartment with rooms, people and furniture »* (vue aérienne en 3D d’un appartement avec des pièces, des personnes et des meubles).

Le « mort » ne prend pas forcément conscience immédiatement de son changement de géométrie. Il se sent en pleine forme dans son environnement (presque) habituel. Il peut même avoir l’impression d’être plus vivant que jamais, de disposer d’une lucidité particulièrement claire. La perte de la profondeur implique en effet une absence totale de distance entre le témoin et le reste de notre monde habituel, un contact immédiat, intime. Peut-être que « percevoir » un objet signifie à la fois « être » cet objet et « tout savoir » de lui, avec une grande précision dans la perception des détails ; de la vraie intuition, en quelque sorte. Il devient aussi possible « d’être » la pensée présente de telle ou telle personne et, là encore, de tout en savoir, pourvu que l’attention du témoin s’y focalise. De la même façon, pour se déplacer quelque part dans notre monde habituel, il suffit de concentrer son attention sur la destination, pour s’y retrouver comme par un effet de zoom, sans avoir franchi la moindre profondeur dimensionnelle. Tout est « à portée de la main », ou plutôt à portée de l’attention. Pour autant, tout ne se confond pas, personnes et objets restent distincts, mais tout est en relation directe avec tout, y compris avec soi-même, sans les limites

perceptives habituelles d'un corps. Beaucoup rapportent l'impression de « tout comprendre », pendant leur expérience.

Perçu depuis un espace 3D hyperdimensionnel, notre espace 3D usuel peut aussi conserver en totalité ou en partie sa profondeur, mais perdre en totalité ou en partie sa largeur ou sa longueur. Il devient alors un fil plus ou moins lointain. Il pivote, il s'efface, ce qui ouvre une nouvelle perspective sur un univers hyperdimensionnel. Ce basculement géométrique se ressent peut-être comme la traversée, souvent mentionnée, d'une sorte de tunnel.

NE S'AGIRAIT-IL PAS D'HALLUCINATIONS DUES À DES DYSFONCTIONNEMENTS DU CERVEAU ?

Si tel était le cas, ces dysfonctionnements provoqueraient des hallucinations comparables à celles provoquées par les drogues. C'est-à-dire des délires chaotiques sans queue ni tête, propres à chaque personne. Comment alors expliquer que les « trips » rapportés comportent des éléments récurrents, comme une dissociation entre la conscience et le corps, la possibilité de « traverser les murs », de se sentir aspiré le long d'un « tunnel », de se diriger vers une « lumière »… ? Les expériences sont très variables, elles sont souvent teintées de la culture du témoin, mais cette variabilité tourne autour des mêmes thèmes. Soulignons qu'une expérience de mort imminente est unanimement décrite comme ineffable. Les gens utilisent comme ils peuvent « leurs mots à eux », ce qui peut créer une accentuation artificielle des différences entre les récits.

Aux structures cérébrales communes chez tout le monde pourraient cependant correspondre des réflexes psychiques de défense communs. Le cerveau interprèterait sa propre mort de façon erronée, il nous mentirait avec son aplomb habituel pour combler les informations qui lui manquent, plus ou moins de la même façon dans tous les cas. Mais les expériences de mort imminente ne se produisent pas systématiquement pendant une mort imminente. Des gens bienportants peuvent eux aussi expérimenter une telle expérience et en revenir. *« Environ un tiers des témoignages d'Emistes que IANDS-France a pu recueillir rentrent dans cette catégorie totalement ignorée. Elle doit en réalité représenter une proportion bien plus importante du nombre total d'Emistes, car presque tous ceux qui nous ont contactés avaient beaucoup hésité à le faire. Bien qu'ils aient*

vécu une expérience ressemblant en tout point à une Emi, ils croyaient, à ce qu'en disaient les médias, que cela ne concernait que des personnes ayant failli mourir, donc pas eux. » (Jean-Pierre Jourdan, Le grand secret, Éditions Michel Lafon, 2021, page 115 de l'ebook converti en PDF.) Des automatismes psychiques qui se déclencheraient lors d'expériences de mort imminente n'expliquent donc pas pourquoi ils se déclencheraient aussi lors d'expériences de vie imminente. L'hypothèse de ces automatismes semble donc erronée.

Quant à d'éventuelles lésions du cerveau productrices d'hallucinations, elles ne guériraient pas toutes instantanément. Un certain pourcentage de témoins continueraient de vivre des expériences de « mort imminente » plus ou moins intenses jusqu'à leur rétablissement. Mais ce n'est pas ce qui s'observe.

UNE HYPOTHÈSE

La conscience pourrait changer de géométrie et naviguer dans un espace 3D comportant de l'hyperdimension, indépendamment de l'état du cerveau. Peut-être que la fonction d'onde de sa 2D électromagnétique s'effondre lors de certains évènements. Elle passe alors d'informe à formée en 3D hyperdimensionnelle, ce qui lui crée un « corps ». Il lui est cependant possible de « revenir dans son corps d'origine » si l'état du cerveau le permet. Mais lorsque les neurones sont trop massivement nécrosés, le cerveau ne peut plus récupérer ses facultés. La conscience ne dispose plus des leviers qui la relient à notre 3D usuelle et elle reste dans une 3D hyperdimensionnelle, dans un état qui lui permet d'y vivre.

25 | Une dernière page pour la route

Dernière modification de cette page en janvier 2026

> **La diversité du réel se ramène fondamentalement à une seule dimension spatiotemporelle : cette racine commune fait de l'univers une unité intrinsèquement cohérente.**



Image générée par *l'IA Craiyon* en 2026, avec le prompt *« many cosmic women dance in the waves of universal coherence »* (de nombreuses femmes cosmiques dansent dans les vagues de la cohérence universelle). Elle est censée représenter l'unité de la vie et des boucles spatiales.

La cohérence universelle est objective, elle existe physiquement, y compris en dehors de nos consciences. Elle est intimement liée à tous les processus de l'univers. Ses formes sont aussi complexes que l'est la nature. Elle peut notamment prendre la forme de contradictions, qui produisent des évolutions inattendues – mais qui restent objectivement cohérentes.

UNE LIBERTÉ RELATIVE DANS UNE COHÉRENCE ABSOLUE

Un point de plus se crée à chaque instant de plus. Un élément de nouveauté s'ajoute en permanence à l'univers. En quelque sorte, un nouvel engrenage s'ajoute à chaque instant à la mécanique universelle : une telle machine est changeante, pas forcément prévisible, elle laisse l'avenir ouvert, elle ne nous condamne pas à un avenir prédéterminé. La cohérence universelle nous laisse libres. Cette liberté dans la cohérence semble à priori plutôt confortable, mais ne nous y trompons pas : nous sommes y compris libres de faire de la Terre un enfer social et/ou écologique. Cette horreur restera objectivement cohérente. La cohérence intrinsèque de la nature ne nous viendra pas en aide par magie. Des chemins existent, tous aussi cohérents les uns que les autres, ils mènent au meilleur, à condition de les emprunter, comme au pire, si nous nous y égarons.