



RELATIVITÉ et VACUITÉ

Du Mouvement aux Échelles

Laurent Nottale

Extraits

Avant-Propos de Pierre Timar

Sommaire

Avant Propos	6
Introduction	8
Philosophie bouddhiste et science	13
Théories de la relativité	19
Relativité du mouvement	19
Relativité galiléenne	20
Relativité restreinte	22
Relativité généralisée d'Einstein	27
Dérivation covariante	31
Principes fondateurs	32
Covariance	36
Relativité des échelles	39
Une nouvelle extension du principe de relativité	39
Espace et état d'échelle	41
Construction de la théorie de la relativité d'échelle	45
Lois de transformation d'échelle	49
Fondation de la mécanique quantique	52
Mécanique macro-quantique	57
Potentiel quantique	61
Champs de jauge	63
Mécanique quantique dans l'espace des échelles	64
Vacuité et relativité	66
Approches multiples de la vacuité d'existence propre	66
Principes mathématiques de la philosophie bouddhiste	71
Principe d'optimisation	74
Principe géodésique en relativité du mouvement	74
Géodésiques	74

Symétries et grandeurs conservatives	75
Temps propre	76
Relativité-vacuité de la gravitation	78
Tétralemmes	80
Mouvement libre – mouvement lié	81
Le vide est forme	85
Covariance et dérivée covariante	86
Principe d'équivalence	91
Principe géodésique en relativité d'échelle	91
Sources de la gravitation et particules élémentaires	91
Continuité et non-différentiabilité	93
Espace-temps fractal	96
Expérience de pensée	97
Fractals et dépendance d'échelle	100
Géodésiques fractales	102
Bases de la mécanique quantique	104
Fonction d'onde	104
Un plus un égale quatre	105
Particules-champs-ondes	106
Quantification	109
Equations de la mécanique quantique	110
Effets quantiques	112
Fentes d'Young	112
Indiscernabilité et inséparabilité	113
Spin et statistique	114
Effets macroscopiques de la mécanique quantique standard	116
Solidité de la matière : un effet de la « lumière » !	117
Intrication : paradoxe EPR	117
Fondation de la mécanique quantique	119
Compréhension intuitive des paradoxes quantiques	119
Emergence de lois à partir du chaos	119
Particules-géodésiques	120
Mesure en relativité d'échelle	123
Aspect corpusculaire des « particules »	125
Dérivation des “axiomes” de la mécanique quantique	127
Explication des paradoxes quantiques	132

Particules d'espace	142
Relativité-vacuité des particules élémentaires	156
Relativité-vacuité de la masse	157
La masse comme énergie de repos	157
Trois formes de masses	164
Masse gravitationnelle	165
Masses en relativité d'échelle	169
La masse comme échelle des fluctuations fractales	174
L'échelle de de Broglie comme transition à la fractalité	176
Principe de Mach : relativité de l'inertie	178
Des particule élémentaires à la cosmologie	178
Principe de relativité de la masse inerte	179
Origine des forces d'inertie	182
Le baquet tournant de Newton	183
Version einsteinienne du principe de Mach	185
Amplitude des forces d'inertie et gravitation	187
Induction gravitationnelle	189
Constante cosmologique et "énergie sombre"	193
Accélération de l'expansion de l'Univers	193
Principe de Mach et constante cosmologique	195
Gigaphysique et gigaphysiciens	199
Echelle cosmique invariante	200
Constante cosmologique et horizon cosmique	201
Constante cosmologique et relation des grands nombres	204
Constante cosmologique et densité d'énergie du vide	207
Fluctuations d'énergie du vide	208
Energie du vide et relation des grands nombres	211
Valeur de la constante cosmologique	213
Isotropie de l'inertie	225
Nombres purs en relativité	228
Nature et origine de la masse des particules	230
Masses du pion et des mésons	231
Masses des hadrons et masses effectives des quarks	233
Masses des bosons de l'interaction faible	234
Masse et charge de l'électron	237
Relativité-vacuité du spin	240
Essence quantique du spin	241

Spin demi-entier	245
Spin en relativité d'échelle	246
Hyperhélice fractale et spin artificiel	248
Relativité-vacuité de la charge	250
Charge en théorie quantique des champs	251
Nature du champ électromagnétique en relativité d'échelle	256
Nature de l'invariance et des transformations de jauge	257
Nature de la charge et de sa quantification	258
Divergence des masses et des charges	260
Solution au problème des divergences en relativité d'échelle	263
Grande unification	267
Relativité-vacuité de la lumière	272
Causalité, interdépendance et "impermanence"	276
Impermanence	277
Les composés	277
Le fleuve d'Héraclite	280
Loi de l'entropie	281
Chaos dynamique	281
Mécanisme de mesure en mécanique quantique	283
Impermanence subtile	285
Transmission d'information	288
Impossibilité d'existence d'un monde permanent	289
Interdépendance et causalité	292
De l'interdépendance à la relativité	292
Equations de la physique	295
Les questions de Leibniz	298
Conclusion	304

Avant Propos

J'ai de la chance.

J'ai rencontré Laurent Nottale en 1996. Il m'a expliqué, renseigné, enseigné, questionné, montré ses équations, ses dessins, ses graphes, re-expliqué en mots, en images, avec les mains et des objets présents sur la table lors de déjeuners ou dans son bureau. Il a accepté de repartir avec mes mots, mes dessins, mes gestes, enfin bref mes représentations mentales de tous ordres. Je veux dire: mes pré-conceptions, acquis culturels, capacités perceptives et imaginatives, computations cognitives, etc...

Et de recommencer et de poursuivre. Encore et encore.

Il faut vous dire tout de même que dans le cheminement intérieur que va accompagner cette expérience de lecture (dans cet ordre) vos représentations mentales (de tous ordres pour vous aussi) vont se transformer ou apparaître.

Donc peu importe votre supposé niveau de connaissance dans un domaine ou un autre. Je vous prie de suivre ce conseil : Lisez sans crainte et sans ambition de comprendre tout de suite mot par mot, phrase par phrase, page par page, etc.. Vous avez compris le principe. Il faut accepter de laisser petit à petit la compréhension émerger comme quand vous avez appris à lire, à parler une langue étrangère. Comme quand vous lisez de la poésie ou regardez un film d'auteur, une peinture ou rencontrez un autre humain.

Facilitez vous la vie de lecteur!

Dans mon jargon professionnel cela s'appelle la "capacité négative". C'est un concept créé par le poète John Keats, repris par le psychanalyste Wilfred Bion. Ainsi dans "aux sources de l'expérience", il propose en quelque sorte au lecteur de se placer activement dans cette acceptation des effets de la suspension du système critique ordinaire qui empêche de percevoir autre chose que le déjà perçu. Il s'agit de supporter l'incertitude, d'être capable de se fier à la perception d'une

émergence d'abord floue au lieu de l'écarter pour revenir plein d'angoisse vers des formes déjà connues et faussement rassurantes. C'est la disposition interne qui favorise la découverte.

Ce que je vous suggère ici avec confiance c'est de vous laisser aller aux perceptions suscitées par la lecture car les effets indésirables sont inconstants et transitoires comme dans tout traitement (car le bouddhisme et la relativité sont des traitements de nombreuses affections).

Il y a un risque ici lié à l'angoisse du nouveau, nouvellement perçu et à l'angoisse de l'acquis, en train d'être perdu, comme dissout. Par exemple vertiges, peurs du vide sont habituellement associés aux expériences de conscientisation des repères nouvellement perçus.

Ainsi quand vous regardez le fond d'un ravin, vous prenez conscience du repère spatial vertical, ce dont vous faites l'économie habituellement. La mise en relation par vous de ces repères (le fond et votre position) crée ainsi un mouvement virtuel vertigineux.

Vous pouvez aussi vous faire peur en essayant de vous imaginer en fou du volant tournant à cent mille km/h autour du soleil. Cela passera assez vite quand vous reviendrez à la perception actuelle de votre corps bien calé dans votre fauteuil.

Le retour aux perceptions est une vraie méthode pour dissoudre les constructions angoissantes.

Je vous suggère cette disposition interne à l'expérience avec confiance car Laurent Nottale a pris soin de tresser ses chapitres avec une préoccupation d'enseignant virtuose. L'enseignement c'est la répétition disait-on. Vous ne risquerez pas de perdre une information car cela vous sera présenté à nouveau sous un autre angle un peu plus loin.

La re-présentation vous apparaîtra ainsi assez naturellement vôtre.

Vous viendrez d'apprendre dans et par l'expérience.

Vous avez de la chance.

Vous êtes en train de le rencontrer et il va vous expliquer, renseigner, enseigner, montrer...

Pierre Timar

Introduction

« La forme est vide, la vacuité est forme.

La vacuité n'est autre que la forme, la forme n'est autre que la vacuité. »

C'est ainsi qu'est exprimée la vérité suprême de la philosophie bouddhiste dans le "Soutra du Coeur de la perfection de sagesse".¹ Un tel énoncé abrupt peut paraître étrange. Que désigne ici la "forme", qu'appelle-t-on "vacuité" ?

Les enseignements bouddhistes classent l'ensemble des expériences psycho-physiques possibles en cinq "agrégats". Il s'agit des agrégats de la forme, des sensations, des perceptions, des formations mentales (ou volitions) et des six consciences (consciences des cinq sens, visuelle, auditive, etc. et conscience mentale).² Le fait de les appeler agrégats fait d'emblée référence à leur caractère fondamentalement composé. Ce qui est désigné ici par "forme" est ainsi beaucoup plus que la forme géométrique des objets et phénomènes. Il s'agit de tout ce qui est formel, ce qui inclue en particulier le monde matériel, avec toutes ses propriétés physiques.³

¹ Voir par exemple *La Perfection de sagesse*, trad. Georges Driessens, Editions du seuil, 1996, p. 147; Dakpo Tashi Namgyal, *Rayons de Lune* (Tsadra 2011), p.282.

² Cf Walpola Rahula, *L'enseignement du Bouddha* (Seuil, Sagesses, 1961), p. 40.

³ On peut faire la remarque que ces cinq agrégats forment un spectre depuis le premier, celui de la "forme", en grande partie matériel, jusqu'au cinquième, celui des "consciences duelles" (vijnana), essentiellement "esprit".

Après avoir énoncé la vacuité de l'agrégat de la forme, le soutra du coeur se poursuit en déclarant également vides les quatre autres agrégats, c'est-à-dire toutes manifestations possibles. Puis il affirme que la vacuité peut se manifester comme forme, et aussi comme sensations, perceptions, volitions et consciences.

Il ne s'agit pas là d'une négation de l'existence de la manifestation, qui relèverait d'un nihilisme contraire aux enseignements bouddhistes. Le vide dont il est question n'est clairement pas le néant. Bien au contraire, on pressent dans cet énoncé une intuition profonde sur l'origine et la nature des phénomènes, résumée de la manière la plus concise possible : il s'agit, comme nous allons le voir, de l'absence d'existence intrinsèque, du "non-soi" des phénomènes, de leur caractère relatif, non absolu.

Dans la science occidentale, cette question, en ce qui concerne la matière, relève de la physique. Celle-ci s'est organisée en science autonome apparemment séparée de la philosophie depuis Newton et ses "Principes mathématiques de la philosophie naturelle". La physique, depuis plus de trois siècles, est la philosophie de la nature mathématisée. Elle s'est principalement développée vers la compréhension de la matière sous toutes ses formes.⁴

L'énoncé "la forme est vide, le vide est forme" est-il compatible avec nos connaissances modernes en physique ? Peut-il y faire sens ? Appliqué au domaine matériel, s'agit-il d'un énoncé ou même d'un principe de physique ?

⁴ Au sens très général du terme, qui inclue matière et rayonnement, donc les champs et leurs sources, ainsi que toutes leurs propriétés (dynamique, thermodynamique, mécanique des fluides, etc...).

Pour répondre à ces questions, il nous faut comprendre ce dont, du point de vue bouddhiste, l'agrégat physique est vide. De quoi la matière est-elle dépourvue ? La réponse est claire dans les enseignements plus détaillés.⁵ Elle est vide d'existence propre. Dépourvue d'essence, de nature intrinsèque. De même que les autres agrégats, la matière et ses différentes propriétés n'existent que de manière relative, inter-dépendante. Elles n'ont aucune existence absolue, aucune existence en soi. Ce qui est appelé "vacuité" n'est pas une propriété particulière des phénomènes, mais leur mode d'être.⁶

Dans cet éclaircissement, apparaît un concept essentiel qui est plus familier au physicien, celui de relativité. S'agit-il bien de la même relativité que celle introduite en physique depuis Galilée, érigée en principe et développée en terme de théories de la relativité ? Un nouvel indice peut être trouvé dans un autre enseignement fondamental du bouddhisme, celui des deux vérités : la vérité relative et la vérité absolue. Ces deux vérités s'appuient l'une sur l'autre, puisque la vérité absolue, c'est précisément que tout phénomène, toute manifestation, toute apparence n'existe que de manière relative, jamais de manière absolue.

Dans la physique occidentale, la position, l'orientation, le mouvement, l'échelle, ne peuvent jamais être définis de manière absolue, mais seulement relativement au système de coordonnées qui

⁵ Voir par exemple Kalou Rinpoché, *La voie du Bouddha*, Seuil Sagesses, 1993.

⁶ Bien qu'on emploie de manière elliptique l'adjectif "vide" ou qu'on y parle de la "vacuité", il s'agit strictement dans les enseignements bouddhistes de "vide de...", "vacuité de...". Ainsi, dans le soutra de la perfection de connaissance en une lettre (*La perfection de sagesse*, Seuil, op. cit., p. 153), l'enseignement sur la vacuité se réduit à "A", la particule privative du sanscrit que l'on retrouve dans beaucoup de langues indo-européennes, et en particulier en français (comme par exemple dans "aphasie", "anormal", etc...).

sert de référence. De plus, de nombreuses propriétés, grandeurs et concepts physiques (énergie, impulsion, espace, temps, gravitation, etc.) sont elles mêmes uniquement relatives, en conséquence directe de la relativité de ces grandeurs fondamentales.

Relativité et vacuité, relativité-vacuité, philosophie bouddhiste et science physique relativiste, philosophie orientale et philosophie occidentale de la nature : quel rapport, quelles connections, quelles différences ? C'est là le sujet de cet ouvrage. On n'y abordera pas les nombreux autres aspects du bouddhisme, ni même la très vaste philosophie bouddhiste de manière générale. En particulier, il n'est pas question ici de religion⁷ : d'ailleurs, le point essentiel abordé et développé dans ce livre en correspondance avec ses conséquences scientifiques est précisément qu'il n'y a pas d'absolu (à part en tant que *vérité*). Ce sont seulement certains concepts de cette philosophie qui seront considérés et mis en regard des énoncés et connaissances de la physique, en particulier de la physique relativiste : spécifiquement, ceux qui peuvent être érigés en principes fondateurs, au premier rang desquels la vacuité (absence d'existence propre des phénomènes) et la relativité, mais aussi les notions qui lui sont liées d'interdépendance, de causalité, d'"impermanence" et de non-dualité.

Que la forme (le monde physique) soit vide (dépourvu d'existence intrinsèque) s'impose de manière assez directe, ne serait-ce que par le fait que les différentes grandeurs attribuées aux objets

⁷ Sur ce point, la position de Gyalwang Drukpa est claire. Il écrit page 10 de « Un chemin peu commun » (Editions Claire Lumière, 2012) : [De nombreuses personnes] « pensent que le bouddhisme est une religion [...]. De mon point de vue c'est à la fois faux en tant qu'idée et faux en tant que pratique. [...] Je crois que c'est une grande erreur, un grand manque de compréhension. [...] Il est essentiel d'envisager le bouddhisme comme une philosophie spirituelle. »

physiques résultent de mesures. Le résultat obtenu implique une relation entre l'objet et l'appareil de mesure, ce qui se traduit aussi par la nécessité d'utiliser des unités pour caractériser ce résultat. Plus généralement, tout concept est relatif, ne pouvant être défini qu'à partir d'autres concepts.

Mais ce qui est plus difficile à réaliser et à mettre en oeuvre est l'énoncé inverse : comment la vacuité peut-elle devenir forme ? Tenter de répondre à cette question est l'objet principal de cet ouvrage. Nous y montrerons que le principe de relativité-vacuité n'est pas seulement une vérité universelle, le constat de l'absence d'existence absolue de toute chose, mais que c'est également un principe fondateur qui permet de construire les lois qui régissent le monde des phénomènes multiples et variés.

Philosophie bouddhiste et science

Les relations entre science et bouddhisme sont complexes.⁸ Tous deux sont difficilement réductibles à une entreprise particulière. La science physique est ce qui était appelé auparavant philosophie de la nature. Le bouddhisme a été qualifié de science de l'esprit. Les écrits scientifiques, tout comme les écrits bouddhistes, sont si vastes et nombreux qu'il semble inenvisageable pour qui que ce soit de les lire dans leur totalité. Tous deux ne sauraient se réduire à un "isme". Dans le cas de la science, le "scientisme" est clairement condamné comme dérive. En ce qui concerne le "bouddhisme", ce mot s'est imposé, mais ne reflète pas l'expression originelle de "Bouddha-Dharma", l'enseignement du Bouddha. Ce nom donné au Bouddha historique Siddharta Gautama, appelé aussi Shakyamuni, "le sage (le "silencieux") des Shakya", est lui-même construit sur la racine "Bodh" (qui signifie "éveil", "attention").

Il n'est donc pas question ici de tenter un syncrétisme qui ne saurait être qu'artificiel. Bouddhisme et science ont de nombreuses similarités, mais aussi de nombreuses différences. Le projet du présent

⁸ Ce sujet a déjà été abordé, en particulier dans le livre pionnier de Allan Wallace, "Science et Bouddhisme", Calmann-Lévy 1998, ainsi que dans plusieurs ouvrages de Matthieu Ricard, cf. : Matthieu Ricard et Trinh Xuan Thuan, *L'infini dans la paume de la main*, Fayard 2000 ; Jean-François Revel et Matthieu Ricard, *Le moine et le philosophe*, NiL éditions, 1997.

livre ne consiste en rien à chercher ni à établir les unes ou les autres. Il se concentre sur un seul point (aussi intéressants que puissent être d'autres sujets d'étude) : la question des principes fondateurs en science et dans le bouddhisme, au tout premier rang desquels se trouvent les principes de relativité et de vacuité.

“La science, tout comme le bouddhisme, cherche à comprendre la nature de la réalité au moyen d'une investigation critique : si l'analyse scientifique devait démontrer que certaines affirmations du bouddhisme sont fausses, il nous faudrait alors accepter les conclusions de la première et abandonner les affirmations du second.”

Qui s'exprime ainsi de manière si claire sur la proximité des deux projets scientifique et bouddhiste ? Einstein ? Non, il s'agit du Dalai-Lama.⁹ L'approche non dogmatique, ouverte et rigoureuse à la fois, sont communs au bouddhisme et à la science. L'injonction du Bouddha Shakyamuni de ne pas le croire sur parole, mais de vérifier par nous-même la véracité de ses enseignements est remarquable. La reproductibilité et la mise à l'épreuve par l'expérience sont au coeur aussi bien de la méthode scientifique que de la pratique bouddhiste.

“Je détermine l'authentique valeur d'un homme d'après une seule règle : à quel degré et dans quel but l'homme s'est libéré de son Moi.”

“L'être éprouve le néant des souhaits et volontés humaines, découvre l'ordre et la perfection là où le monde de la nature correspond au monde de la pensée. L'être ressent alors son existence individuelle comme une sorte de

⁹ SS Dalai Lama, « Tout l'univers dans un atome. Science et bouddhisme, une invitation au dialogue », Robert Laffont, 2006.

prison et désire éprouver la totalité de l'Étant comme un tout parfaitement intelligible. Des exemples de cette religion cosmique se remarquent aux premiers moments de l'évolution [...]. A un degré infiniment plus élevé, le bouddhisme organise les données du cosmos [...]."

Qui écrit cela ? Est-ce encore le Dalai-Lama ? Non, il s'agit cette fois d'Einstein¹⁰ ! Il poursuit :

"Je soutiens vigoureusement que [c'est là] le mobile le plus puissant et le plus généreux de la recherche scientifique. Seul, celui qui peut évaluer les gigantesques efforts et, avant tout, la passion sans lesquels les créations intellectuelles scientifiques novatrices n'existeraient pas, peut évaluer la force du sentiment qui seul a créé un travail absolument détaché de la vie pratique. Quelle confiance profonde en l'intelligibilité de l'architecture du monde et quelle volonté de comprendre, ne serait-ce qu'une parcelle minuscule de l'intelligence se dévoilant dans le monde, devait animer Kepler et Newton pour qu'ils aient pu éclairer les rouages de la mécanique céleste dans un travail solitaire de nombreuses années. [...] Seul celui qui a voué sa vie à des buts identiques, possède une imagination compréhensive de ces hommes, de ce qui les anime, de ce qui leur insuffle la force de conserver leur idéal, malgré d'innombrables échecs."

De son côté, le Dalai-Lama poursuit :

"Nos explications et nos théories sur le monde physique dans la pensée bouddhique traditionnelle sont resté rudimentaires en comparaison de celles

¹⁰ A. Einstein, Comment je vois le monde, Champs, Flammarion, 1979

de la science moderne [...] et devront sûrement être modifiées à la lumière des nouvelles connaissances scientifiques." Il ajoute : "La spiritualité et la science sont des démarches d'investigation différentes mais complémentaires. Elles ont un même objectif, majeur : la recherche de la vérité. [...] On ne peut donc pas dire que la science et la spiritualité soient sans rapports. Nous avons besoin des deux pour soulager la souffrance aussi bien sur le plan physique que psychique."

Einstein, toujours dans "Comment je vois le monde", ne dit rien d'autre:

"Toutes les actions et toutes les imaginations humaines cherchent à apaiser les besoins des hommes et à calmer leurs douleurs. Refuser cette évidence, c'est s'interdire de comprendre la vie de l'esprit et son progrès."

"L'esprit scientifique, puissamment armé en sa méthode, n'existe pas sans la religiosité cosmique. [...] Le savant, lui, convaincu de la loi de causalité de tout événement, déchiffre l'avenir et le passé soumis aux mêmes règles de nécessité et de déterminisme. [...] Sa religiosité consiste à s'étonner, à s'extasier devant l'harmonie des lois de la nature dévoilant une intelligence si supérieure que toutes les pensées humaines et toute leur ingéniosité ne peuvent révéler, face à elle, que leur néant dérisoire. Ce sentiment développe la règle dominante de sa vie, de son courage, dans la mesure où il surmonte la servitude des désirs égoïstes."

Une convergence étonnante entre les vues d'Einstein et du Dalai-Lama se rencontre également sur le plan de l'éthique. Le Dalai Lama le dit clairement :

"Quand à la science elle-même, elle pourrait bien être enrichie par sa rencontre avec la spiritualité, en particulier à l'interface de questions humaines plus vastes, allant de l'éthique à la société."

L'éthique n'est bien sûr pas spécifique au bouddhisme. Mais certains éléments de l'éthique bouddhiste peuvent être très éclairants pour résoudre les difficiles problèmes souvent posés à la science de ce point de vue. En effet, c'est une véritable science de l'éthique que propose le bouddhisme. Celle-ci n'y est pas imposée, mais résulte logiquement d'une compréhension profonde des lois de causalité et d'interdépendance, ainsi que du développement de la "bodhicitta", l'esprit "d'éveil", d'entraide envers tous les êtres. Sur ce point aussi, Einstein ne dit pas autre chose :

"Des idéaux ont suscité mes efforts et m'ont permis de vivre. Ils s'appellent le bien, le beau, le vrai. Si je ne me ressens pas en sympathie avec d'autres sensibilités semblables à la mienne, et si je ne m'obstine pas inlassablement à poursuivre cet idéal éternellement inaccessible en art et en science, la vie n'a aucun sens pour moi."

"Je découvre clairement mon étroite dépendance intellectuelle et pratique. Je dépends intégralement de l'existence et de la vie des autres. [...] Ce que je sais et ce que je pense, je le dois à l'homme. [...] Moi, en tant qu'homme, je n'existe pas seulement en tant que créature individuelle, mais je me découvre membre d'une grande communauté humaine. Elle me dirige corps et âme depuis ma naissance jusqu'à ma mort. Ma valeur consiste à le reconnaître. Je suis réellement un homme quand mes sentiments, mes pensées

et mes actes n'ont qu'une finalité : celle de la communauté et de son progrès."

Cette convergence de vue peut sembler étonnante, mais il est bien possible qu'elle manifeste une convergence encore plus profonde entre ces deux grands êtres, celle qui porte sur leur vue philosophique en ce qui concerne la nature de la "réalité" : pour tous deux, il n'y a pas d'absolu, toute existence n'est que relative.