



Jean-François Becquaert

# **NOSTALGIE DE LA LUMIÈRE**

PARADIGMES  
ET FONDEMENTS  
DE LA SCIENCE  
CONTEMPORAINE

**edp** sciences

**Nostalgie de la lumière**  
*Paradigmes et fondements  
de la science contemporaine*

---

# **Nostalgie de la lumière**

## ***Paradigmes et fondements de la science contemporaine***

---

**JEAN-FRANÇOIS BECQUAERT**



17, avenue du Hoggar – P.A. de Courtabœuf  
BP 112, 91944 Les Ulis Cedex A

Composition et mise en pages : Patrick Leleux PAO  
Couverture : conception graphique de Yuna Salavert

Imprimé en France  
ISBN (papier) : 978-2-7598-2334-5  
ISBN (ebook) : 978-2-7598-2345-1

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1<sup>er</sup> de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

« Il dit : "Tu as plumes et ailes,  
je ne te donne aile ni plume."  
Désirant ses plumes, ses ailes,  
Sans aile et plumes, me voici. »

(Djalâl ad-Dîn Rûmî, *Le Livre de Chams de Tabriz*)



## SOMMAIRE

---

<i>Prologue</i> .....	11
<i>Plan de l'ouvrage</i> .....	15
<b>Introduction à l'espace et au temps</b> .....	19
Espace.....	19
Temps .....	22
Unifications.....	25
Continuum et différentiabilité.....	27
Diagrammatique des fondements .....	29
<b>Philosophie de la cosmologie</b> .....	33
Introduction.....	33
Fondements.....	43
Paradigmes.....	52
Conclusion .....	56
<b>Philosophie de la relativité</b> .....	57
Introduction.....	57
Fondements de la relativité .....	58
Paradigmes.....	68
Conclusion .....	73
<b>Philosophie quantique</b> .....	75
Introduction.....	76
Fondements.....	81

---

Fondement du principe de Heisenberg.....	93
Fondement de l'équation de Schrödinger.....	95
Paradigmes.....	98
Conclusion .....	105
<b>Philosophie des champs .....</b>	<b>113</b>
Introduction.....	113
Fondements.....	114
Paradigmes.....	122
Conclusion .....	130
<b>Philosophie des cordes .....</b>	<b>133</b>
Introduction.....	133
Fondements.....	134
Paradigme.....	140
Conclusion .....	143
<b>Philosophie des boucles .....</b>	<b>147</b>
Introduction.....	147
Fondements.....	149
Paradigme.....	152
Conclusion .....	156
<b>Philosophie des trous noirs .....</b>	<b>159</b>
Introduction.....	159
Fondements.....	160
Paradigme.....	165
Conclusion .....	168
<b>Philosophie des multivers .....</b>	<b>169</b>
Introduction.....	169
Fondements.....	175
Paradigme.....	179
Conclusion .....	182
<b>Philosophie des principes de la physique .....</b>	<b>185</b>
Introduction.....	185
Fondements.....	186



---

Paradigme .....	194
Conclusion .....	195
<b>Philosophie de la centralité des mathématiques .....</b>	<b>197</b>
Introduction.....	197
Fondements .....	205
Paradigme.....	209
Conclusion .....	215
<i>Épilogue .....</i>	<i>217</i>
<i>Remerciements.....</i>	<i>223</i>
<i>Bibliographie .....</i>	<i>225</i>
Bibliographie ciblée .....	225
Bibliographie générale .....	226
<i>Glossaire .....</i>	<i>229</i>
<i>Notes de fin d'ouvrage.....</i>	<i>245</i>



## PROLOGUE

---

« Si ma conception de la philosophie est correcte, cette discipline est la plus riche des tâches intellectuelles. Elle a bâti des cathédrales avant même que les ouvriers n'aient déplacé une seule pierre ; elle les a détruites avant même que les éléments n'aient érodé leur structure. Elle est l'architecte des constructions de l'esprit. »

(Alfred North Whitehead, *La Science et le Monde moderne*)

Nous sommes les enfants de la science.

La génération née dans le sillage de l'arrivée des hommes sur la Lune fut nourrie des promesses de la conquête de l'espace. Elle eut l'heur de voir naître l'informatique et ses mondes électroniques.

La science est notre mère. Nous fûmes éduqués à croire en elle et notre croyance en ses pouvoirs se confortait des succès technologiques incessants. Sans théorie électromagnétique, pas de walkmans ; sans relativité restreinte, pas d'énergie atomique ; sans mécanique quantique, pas d'ordinateurs personnels ni de lecteurs CD.

Au CERN, la physique dévoilait les royaumes invisibles en deçà des atomes.

À la NASA, les sondes interplanétaires devaient les étendues spatiales au-delà de Jupiter. Dans l'inconscient collectif, nul doute que la science lèverait un jour le voile sur l'ensemble du monde.

Durant mes études scientifiques, s'agissant d'une thèse sur la matière noire galactique, la mécanique quantique n'entrait pas en jeu. Elle présidait, disait-on – on le dit toujours –, sur les seules échelles subatomiques.

Sa découverte subséquente fut une révélation philosophique personnelle.

Cette science-là disait, contre les autres, qu'on ne pouvait plus savoir réellement ce qu'était le monde. Que, non seulement elle, mais la physique tout entière ne pouvait plus prétendre dire « les choses du monde », seulement celles « d'un certain monde ».

Que la science en tant que discipline rationnelle ne pouvait plus assurer aux hommes qu'elle constituait une quête convergente vers « la vérité » ou « la réalité ».

Dramatiquement, sans mot dire, la croyance en une science portant éternellement le globe des paradigmes humains menace ruine.

En un sens, avec la théorie quantique, la physique parvenait au point où, comme l'oracle, elle s'était crevé les yeux pour mieux prédire.

Ce type d'interrogations trouva dans la philosophie de la cosmologie un point d'entrée.

Cette discipline moderne, fille du <sup>XXI</sup><sup>e</sup> siècle, se situe au carrefour de la science théorique, de la cosmologie et de la philosophie. Je fus amené à l'enseigner et m'aperçus qu'il s'agissait d'une quête personnelle : je necessitai d'explorer les fondations scientifiques du monde.

L'enfant me demandait si les images scientifiques de ses livres étaient vraies.

L'ouvrage veut lui répondre. Et cette réponse enjoint d'analyser les fondements de la science.

Au sens premier, le mot « fondement » désigne la base, jugée inébranlable, sur laquelle repose un corps d'énoncés, un système de connaissances, un complexe de croyances ou de conduites.

Si l'ouvrage se concentre sur les fondements de la science c'est en tant que la situation quantique impose d'estimer à son aune ce que chaque théorie dit du monde, non seulement cela, mais encore avec quelle force de pénétration elle le fait.

Attendu qu'une théorie physique représente quantité d'informations historiques ou logiques concernant sa genèse, nous avons introduit une diagrammatique permettant de synthétiser visuellement la variété des flux qui établirent le fondement d'une théorie.

C'est ce que nous avons appelé « diagrammes des fondements ».

Mais, en outre, chaque théorie sous-tend un paradigme, une représentation scientifique du monde, et c'est ainsi que l'ouvrage se propose de dresser en fil rouge un état de l'art des *images du monde*.

Tout notre possible fut fait pour que l'exploration des assises et des images scientifiques du monde ne soit pas trop abstraite ou jargonneuse, mais il ne paraît pas que ces écueils puissent être totalement évités concernant une étude telle que celle que nous entreprenons.

Le cas échéant, il n'est que de conseiller de contourner un passage que l'on aurait du mal à appréhender, de même que, d'une manière générale, il est souvent plus efficace de passer par-delà une difficulté que de s'y fixer trop longtemps, afin de continuer quoi qu'il en soit, puisque seule importe la vision d'ensemble, c'est-à-dire, terminer le voyage.

« Qui donc mon ami pourra vaincre la mort ?  
Seuls les dieux demeurent éternellement avec Shamash.  
Les jours des humains sont comptés.  
Tout ce qu'ils font le vent l'emporte.  
Tu crains déjà la mort et nous sommes encore ici.  
Où donc est ta vaillance<sup>1</sup> ? »

---

1. *L'Épopée de Gilgamesh* (récit légendaire de l'ancienne Mésopotamie composé vers le XVIII<sup>e</sup> siècle avant notre ère) : « Préparatifs de l'expédition ».

Il sera alors constaté que la physique contemporaine montre tant de gemmes, tant de vives lueurs pour la compréhension du monde, qu'il est permis d'espérer que le chemin de nos vies s'en trouve par elles éclairé.

## PLAN DE L'OUVRAGE

Une *introduction à l'espace et au temps* prélude à l'étude générale des fondements : ce préambule sera l'endroit d'un panorama des conceptions historiques de l'espace et de celles du temps.

Par la suite, le titre des chapitres de l'ouvrage adopte le sens second du mot philosophie : système d'idées qui cherche à établir les fondements d'une science.

Dans le premier chapitre, nous adressons la philosophie de la **cosmologie**<sup>2</sup> en tant qu'elle est la matrice historique des paradigmes qui furent peu à peu élaborés pour répondre aux questions immémoriales : que sont l'espace et le temps, qu'est le monde ?

Nous entrerons ensuite en philosophie de la relativité (chapitre 2) : il n'est de rappeler que la **relativité générale** (1915) vitalisa la cosmologie moderne, laquelle n'aurait pu prendre envol sans un cadre théorique renouvelé. Incidemment, la théorie de la relativité induit de profondes interrogations philosophiques<sup>3</sup>, depuis les cônes

---

2. Une fonte en gras invite à se référer au glossaire à la fin de l'ouvrage.

3. Ici dans son sens premier d'amour de la sagesse et de la connaissance.

de lumière de la **relativité restreinte** (1905) jusqu'à la possibilité d'un univers-bloc<sup>4</sup>.

Le chapitre 3, consacré à la philosophie **quantique**, constitue le cœur de l'ouvrage : avec la théorie quantique, la reine philosophie revient en son royaume. Le paradigme quantique est, de tous, le plus radical : ni l'espace, ni le temps, ni la matière n'ont plus d'assises certaines. Paradoxalement est-il aussi le plus ouvert, justifiant de l'espoir d'un réel profond situé loin par-delà le réel empirique. La schématisation du paradigme quantique dans ce chapitre représente, à notre connaissance, une première occurrence dans la littérature.

Au chapitre 4, nous explorerons la philosophie de la **théorie quantique des champs**.

Cette théorie du milieu du xx<sup>e</sup> siècle, qui prolonge la mécanique quantique à l'aune de la relativité restreinte, peut se prévaloir d'une précision expérimentale inégalée en sciences.

Son histoire recèle par ailleurs l'une de ces admirables épopées de la connaissance : la découverte de l'antimatière par Paul Dirac dans les années 1930.

Les chapitres 5 et 6 prospectent la philosophie de la **théorie des cordes** et respectivement celle de la théorie de la **gravité quantique à boucles**. Ces deux théories modernes ne sont aujourd'hui ni validées ni invalidées par l'expérience, s'agissant de domaines actifs de recherche. La théorie des cordes suggère l'existence de multiples **dimensions** supplémentaires de l'espace, imperceptibles dans notre vie quotidienne, tandis que la gravité quantique à boucles conduit à une granularité de l'espace et du temps. De ce monde confinant au plus pur discontinuum, il vient que l'**espace-temps** n'est plus fondamental mais qu'il émerge lui-même d'une cause plus première. Une telle prédiction représente un saut conceptuel majeur dans l'histoire des sciences.

---

4. Cette terminologie, ainsi que celle de « cône de lumière », n'est pas nécessairement connue du lecteur ; d'une manière générale, chaque terminologie sera introduite au moment propice.



Il faut à ce moment dire que, bien que simplifiés, ces trois derniers chapitres conservent une technicité inhérente à leur nature. Un lecteur sensible à la philosophie plus qu'à la science pourra s'en informer sans s'y attacher.

Le chapitre 7 évoque la philosophie des **trous noirs**, astres singuliers situés à la lisière de la relativité et de la théorie quantique. Expériences de pensée de la cosmologie, les trous noirs enjoignent à des perspectives aussi diverses que l'**Univers** figurant un hologramme ou l'existence d'espaces-temps multiples qu'ils relieraient comme des tunnels.

Le chapitre 8 considère la philosophie des **multivers**. Nombre de cosmologies ancestrales ou religieuses entretiennent l'idée d'une multiplicité des mondes, ce à quoi le concept contemporain de multivers fait écho. Mais, en tant qu'ils se définissent comme des prolongements possibles de théories physiques, les multivers contemporains rencontrent à l'aune de la philosophie quantique d'importantes difficultés conceptuelles que nous expliciterons.

Le chapitre 9 instruit le **principe de moindre action**, lequel structure, silencieux comme le ciel, l'ensemble des théories de la physique contemporaine : relativité, mécanique quantique, théorie quantique des champs, théorie des cordes, etc. Or nul ne sait ce que représente l'« action » pour ainsi constituer l'ossature de la physique théorique. Profitant de cette ligne de réflexion, le chapitre se terminera sur une extraction des principes premiers de la physique tels que l'ensemble de l'étude les aura collectés.

Dans une perspective plus verticale, en réalité formant la clé de voûte de l'ouvrage, le chapitre 10 examine la question fondamentale de la centralité des mathématiques dans les sciences naturelles. D'où vient, en effet, que l'on ne puisse exprimer les lois de la nature, plus généralement les théories de la physique, sans devoir irrémédiablement passer par des symboles abstraits, un jeu de l'esprit que l'on appelle « mathématiques » ?

Le *fait mathématique* en science est une énigme fondamentale de la connaissance humaine.

Nous voudrions signifier que ce chapitre revêt une importance considérable pour quiconque s'intéresse à la structuration des mondes. Et nous soutiendrons l'idée, semble-t-il originale, que le monde, sinon l'esprit, procède d'un cœur mathématique, un nexus qu'il faut entendre comme une nécessité supérieure, c'est-à-dire que la chose existe d'elle-même, du simple fait qu'aucune réalité ne peut échapper à une mathématisation minimale. Nous disons donc que le mystère de toute existence est réductible à celui des mathématiques. Cette théorie méta-ontologique, en tant qu'elle préserve à la conscience sa singularité, constitue une thèse principale de l'ouvrage.

Pour finir, nous serons à même de jauger la pertinence véritable de la physique à déterminer ce qu'est, ou combien sont, le *réel*.

## INTRODUCTION À L'ESPACE ET AU TEMPS

---

« Du siehst, mein Sohn, zum Raum wird hier die Zeit... »  
« *Tu vois, mon fils, ici l'espace et le temps se confondent...* »  
(Richard Wagner, *Parsifal*, Acte 1)

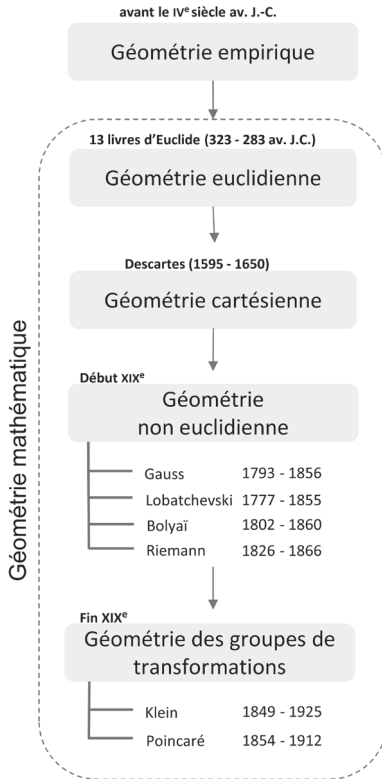
### ESPACE

Vers 3000 av. J.-C. apparurent dans les civilisations mésopotamienne, égyptienne et chinoise les premières traces d'existence de techniques mathématiques<sup>i</sup>. Des systèmes de numération et des méthodes de calcul servent à la gestion du calendrier, aux échanges commerciaux, à la collecte des impôts, etc., tandis qu'une **géométrie** élémentaire adresse l'art de la mesure : arpentage, aire des champs, volumes de grain, construction d'édifices, etc.

Ces mathématiques prennent dans leur ensemble la forme de procédures appliquées à des exemples concrets : aucun concept n'est dégagé, aucun formalisme n'est utilisé ; les procédures ne sont ni soigneusement décrites en général, ni démontrées<sup>ii</sup>.

Les anciens Grecs, suite à leurs voyages à travers la mer Méditerranée, découvrirent les techniques mathématiques égyptiennes et mésopotamiennes vraisemblablement entre le IX<sup>e</sup> et le VIII<sup>e</sup> siècle av. J.-C. :

l'absence de sources archéologiques attrayant à cette période de l'histoire des mathématiques empêche d'étayer de telles suppositions. Il appert que la plus ancienne œuvre mathématique grecque parvenue jusqu'à nous, les *Éléments* d'Euclide, fut écrite vers 300 av. J.-C.



**Figure 1** | *Histoire du concept d'espace*<sup>5</sup> (graphisme : Michael Debouver). En tant que mode d'appréhension de l'espace, la géométrie réside au cœur du schéma. Des traces de géométries ancestrales existent dans les civilisations préhellénistiques. Une révolution s'opéra sous Euclide (-300 av. J.-C.), dont le traité *Éléments* fonde l'approche moderne, mathématique, de la géométrie. Dès lors, le niveau d'abstraction de la géométrie ne cessa plus de croître, au point où l'appréhension de l'espace se fonde aujourd'hui sur le concept abstrait de groupes mathématiques.

5. Toutes les figures de l'ouvrage sont de l'auteur, sauf contre-mention explicite.

- cliv La question est de savoir comment une combinatoire symbolique pourrait être la plus optimale possible. Si nous désirons libérer les liaisons symboliques, une heuristique serait de partir d'équations aux opérations puisant dans une base finie de symboles figurant les inconnues tandis que les symboles algébriques restent eux préfixés. Ces équations ne seraient pas restreintes en une linéarité de gauche à droite, mais se déploieraient de façon planaire, permettant de définir la notion de brique symbolique a-A-b, où A désigne une opération quelconque.
- clv Frédéric Nef, *Qu'est-ce que la métaphysique ?*, p. 62.
- clvi Cette poésie, intitulée « Me Voici », n'est pas citée dans son intégralité. Nous référons au livre – selon nous – référentiel de la mystique de Mowlana : le *Livre de Chams* de Tabriz (page 93).

# NOSTALGIE DE LA LUMIÈRE

## PARADIGMES ET FONDEMENTS DE LA SCIENCE CONTEMPORAINE

Depuis quatre siècles, sinon deux millénaires, la science assure la stabilité et la persistance du monde. L'imaginaire collectif est aujourd'hui imprégné d'images telles qu'atomes, trous noirs, Big Bang ou espace-temps. Or il se trouve que la théorie quantique du XX<sup>e</sup> siècle sape les assises logiques de ces images.

Chaque homme est en droit de s'interroger : quels sont véritablement les fondements du monde ?

À quels paradigmes pouvons-nous souscrire ?

L'ouvrage adresse ces questions en instruisant une étude scientifique et philosophique d'une ampleur inédite, dans laquelle transparait régulièrement le rôle central des mathématiques dans la connaissance humaine.

Et si les mathématiques étaient en définitive transcendantes ? Et si ce sentiment diffus d'une *nostalgie de la lumière* provenait de la réminiscence d'une ancienne harmonie perdue ?



Jean-François Becquaert est docteur en astrophysique de l'observatoire de Paris. Il enseigne la philosophie de la cosmologie à l'école SUPAERO-ISAE de Toulouse. Il a publié *Le Sahara vient des étoiles bleues* (Fayard) en 2015. *Nostalgie de la lumière* est son second ouvrage.



18€  
ISBN : 978-2-7598-2334-5  
[www.edpsciences.org](http://www.edpsciences.org)

**edp** sciences