

# **Le vide est-il une substance ?**

La physique  
implique-t-elle un vide  
substantiel et réel ?

Patrice Delon

Patrice Delon

Le vide est-il une  
substance ?

*La physique implique-t-elle un vide substantiel et réel ?*

© Patrice Delon, 2020

ISBN numérique : 979-10-262-7139-0

# Librinova”

Courriel : [contact@librinova.com](mailto:contact@librinova.com)

Internet : [www.librinova.com](http://www.librinova.com)

Le Code de la propriété intellectuelle interdit les copies ou reproductions destinées à une utilisation collective. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit, sans le consentement de l’auteur ou de ses ayants cause, est illicite et constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles L335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

## Résumé

Le vide est, selon le sens commun, défini comme l'absence de toute matière et ondes électromagnétiques. Sa réalité est débattue depuis l'Antiquité : comment expliquer les interactions à distance dans le vide ? Les théories de la relativité et de la mécanique quantique standard acceptent l'existence d'un milieu constituant le vide mais ne lui reconnaissent aucune structure et lui attribuent une caractéristique d'énergie nulle. La thèse soutenue dans cet essai est que, selon le corpus de ces deux théories et les résultats empiriques récents, il est nécessaire d'attribuer au vide soumis à une perturbation une densité d'énergie, localement et temporairement non nulle. L'attribution d'une telle caractéristique et l'interaction des particules avec le vide impliquent sa substantialité et sa réalité.

« L'espace vide n'est autre que le volume occupé par l'énergie. Lorsque l'énergie, flux sans limite, est subtile au point de n'avoir pas de forme, les hommes voient l'espace vide mais pas l'énergie. Or, tout l'espace vide n'est qu'énergie : condensée, elle devient visible, et les hommes disent alors qu'il y a quelque chose ; dispersée, elle n'est plus visible, et les hommes pensent alors qu'il n'y a rien. »

Wang Fuzhi, dans « histoire de la pensée chinoise », Anne Cheng, éditions du seuil, 1997, p. 546

## Introduction

À la fin du 19<sup>ème</sup> siècle les physiciens étaient confrontés à deux phénomènes qui leur posaient un problème conceptuel : la propagation de la lumière et la force de gravitation de Newton. Chacun de ces phénomènes, décrivant une action à distance, ne pouvait être expliqué que par la présence d'un milieu emplissant le vide entre les corpuscules élémentaires. Ce milieu, auquel on avait donné le nom d'éther, devait, pensait-on, nécessairement pouvoir être décrit par des lois mécaniques aptes à expliquer le transport des ondes et les actions à distance. Une première série de résultats empiriques faisant intervenir des effets de premier ordre, c'est-à-dire en  $v/c$ , furent obtenus mais sans succès, l'éther ne semblait avoir aucune interaction avec les objets de notre réalité. On étudia alors les effets de second ordre en  $v^2/c^2$  l'expérience de Michelson qui devait produire un effet de ce type et permettre la détection d'un vent d'éther lié au mouvement de rotation de la Terre donna un résultat négatif contre toute attente. Ce résultat négatif fut expliqué d'abord par Lorentz qui fit l'hypothèse d'une contraction des longueurs des objets dans la direction du supposé vent d'éther. Si cette explication fournissait une explication possible au résultat négatif de cette expérience, et à toutes celles qui l'avaient précédé, il fermait la porte à une éventuelle mise en évidence empirique du mouvement d'un éther. Cette contraction des longueurs soulevait par ailleurs de nombreuses questions conceptuelles et plusieurs physiciens se sont opposés à cette idée : H. Poincaré déclara à ce sujet au congrès d'Art et de Sciences de St Louis aux États Unis sous le titre « l'état actuel et l'avenir de la physique mathématique »<sup>1</sup> :

*« Prenons donc la théorie de Lorentz (...) au lieu de supposer que les corps en mouvement subissent une contraction dans le sens du mouvement et que cette contraction est la même quelles que soient la nature de ces corps et les forces auxquelles ils sont d'ailleurs soumis, ne pourrait-on pas faire une hypothèse plus simple et plus naturelle ? On pourrait imaginer, par exemple, que c'est l'éther qui se modifie quand il se trouve en mouvement relatif par rapport au milieu matériel qui le pénètre, que, quand il est ainsi modifié, il ne transmet plus les perturbations avec la même vitesse dans tous les sens. Il transmettrait plus*

*rapidement celles qui se propageraient parallèlement au mouvement du milieu, soit dans le même sens soit dans le sens contraire, et moins rapidement celles qui se propageraient perpendiculairement. Les surfaces d'onde ne seraient plus des sphères, mais des ellipsoïdes et l'on pourrait se passer de cette extraordinaire contraction des corps ».*

Cette hypothèse sur les propriétés mécaniques de l'éther va le conduire à soutenir l'idée selon laquelle il est impossible de mettre en évidence une vitesse relative de l'éther. Einstein, l'année suivante, posant comme hypothèse que la vitesse de la lumière dans le vide est d'une part constante et d'autre part donne le même résultat de mesure quel que soit le repère inertiel dans lequel on la mesure, montra qu'alors tous les faits expérimentaux pouvaient être expliqués sans avoir besoin de supposer l'existence d'un milieu particulier. L'éther, milieu caractérisant le vide, devenait selon lui une hypothèse inutile.

Si la relativité restreinte rejette l'existence d'un milieu remplissant le vide, la relativité générale, qui englobe la relativité restreinte, en admet un mais ne lui reconnaît aucun rôle dans les équations régissant l'univers, notamment comme explication de la transmission des ondes lumineuses et des actions à distances tant gravitationnelles qu'électriques. Selon Einstein, il existe un éther, sans structure, mais distinct de la matière ordinaire et de la lumière. Ce sont des objets différents. Pour lui, la lumière est constituée de photons transportant leur propre énergie et qui peuvent être décrits comme des particules associées à une onde électromagnétique dont la fréquence est déterminée par l'énergie portée par chaque photon selon la relation  $E=h\nu$  où  $h$  est la constante de Planck. Cet éther de la relativité générale ne devant pas perturber l'espace, il est posé par hypothèse d'énergie nulle. La relativité admet donc un vide réel et substantiel.

La mécanique quantique ne rejette pas non plus a priori l'idée d'un vide réel et substantiel mais pose également par hypothèse que l'énergie moyenne globale de ce dernier doit être nulle. Elle décrit un monde microscopique, constitué de particules de masse intrinsèquement nulle qui n'acquièrent cette caractéristique de masse que par interaction avec un champ scalaire, le champ de Higgs qui est en mécanique quantique une propriété du vide<sup>2</sup>. Selon le sens commun, le vide est un espace d'où l'on a retiré toute matière, toutes particules, tout rayonnement électromagnétique et donc toute énergie. Mais si le vide est l'absence de tout, le concept d'espace peut poser problème ; ainsi pour Aristote, dans un univers vide, l'espace ne peut se comprendre :

*« Maintenant comment y aura-t-il un mouvement naturel quand il n'y a aucune différence : c'est le vide et l'infini ? Car dans l'infini il n'y a ni haut ni bas ni milieu ; dans le vide le haut ne diffère en rien du bas ; car du rien il n'y a aucune différence, de même du non être et le vide semble un non-être et une privation, or le transport naturel comporte des différences et les choses naturelles comportent des différences par nature ».*<sup>3</sup>

La mécanique quantique décrit le vide comme un espace d'énergie globale nulle, mais peuplé d'ondes et de particules, toutes virtuelles et décrites par la théorie quantique des champs (QFT). Le physicien et historien des sciences Le Noxaïc en donne une définition précise<sup>4</sup> :

*« On les qualifie de virtuelles car ce sont, à proprement parler, des images qui représentent de façon commode certains éléments mathématiques intervenant dans les calculs de la théorie des champs. Ces éléments reflètent certaines propriétés des quanta des champs, mais pas toutes : par exemple une particule virtuelle n'a pas nécessairement la même masse que la particule réelle correspondante, et cette masse est même variable. Néanmoins, les particules virtuelles sont d'utilisation tellement commode, et leur ressemblance mathématique avec les particules réelles est si grande, que la plupart des physiciens oublient qu'il s'agit d'artifices mathématiques et se les imaginent sans d'ailleurs que cela engendre de contradictions – comme si c'étaient de véritables objets physiques non observables. »*

Les relations d'Heisenberg qui font partie du corpus fondamental de la mécanique quantique décrivent un vide pouvant être perturbé par des fluctuations d'énergie l'agitant sans toutefois contredire la valeur en moyenne nulle de son énergie. La relativité, elle, parle aussi d'un vide d'énergie nulle, sans matière ni ondes électromagnétiques, mais également sans particules virtuelles, sans fluctuations. Ce vide est assimilé à un espace-temps qui se réduit à une topologie quadridimensionnelle associant les trois dimensions des espaces euclidiens et le temps, espace-temps dont la déformation en présence de matière permet d'expliquer la gravitation.

Les différences sont donc importantes entre ces deux représentations du vide et laissent ouvertes un grand nombre de questions. Parmi celles-ci, quelques-unes sont particulièrement importantes pour la compréhension du vide :

- Si le vide est substantiel et réel, sa caractéristique d'énergie est-elle



réellement nulle comme le suppose, par hypothèse, ces deux théories,

- La relativité et la mécanique quantique définissent le vide comme un espace, mais est-ce l'espace qui définit le vide ou l'espace qui est une conséquence du vide,

- Que représentent, pour la relativité, les ondes et particules virtuelles de la théorie de la mécanique quantique standard, définie par Dirac, et décrites aujourd'hui comme des objets mathématiques de la théorie quantique des champs,

- Quelle est la nature du lien entre la courbure de l'espace-temps de la relativité et la présence de masses ou d'énergie et comment le définir ; ce lien est-il causal et quelle est la différence entre vide et particule.

En abordant cette question du vide nous nous sommes vite rendu compte que l'étude devait se limiter aux seules interprétations standards de ces deux théories : la relativité restreinte et générale telle que décrites par Einstein, et la mécanique quantique dans l'interprétation de l'école de Copenhague, celle qui est enseignée actuellement dans tous les cursus universitaires sous le nom de mécanique quantique standard. Nous avons été ainsi contraints, à regret, de laisser momentanément de côté plusieurs développements intéressants de la relativité comme par exemple celui développé par Kaluza et Klein, la relativité d'échelle, la théorie quantique des champs pour décrire les particules et ondes virtuelles nous limitant à l'interprétation du modèle réaliste déduit des théories de Dirac, les interprétations alternatives de la mécanique quantique comme la mécanique de Bohm, les théories émergentes comme celle de la gravitation quantique et des supercordes pour ne citer que les plus importantes. Mais même avec cette contrainte, il est apparu que la réponse à ces quatre questions posées par la comparaison du vide dans le cadre des deux corpus théoriques dépassait encore largement le cadre de cet essai. Nous avons finalement choisi de n'apporter une réponse qu'à la première, les autres pouvant constituer l'essentiel d'un programme de recherche pour un travail ultérieur.

L'objectif de cet essai est donc de tenter de répondre à la question suivante : les théories de la relativité et de la mécanique quantique impliquent-elles un vide substantiel et réel, et d'énergie nulle ?

L'idée que nous soutenons ici est la suivante : le vide, considéré du point de vue de la relativité ou de celui de la mécanique quantique standard, est réel et

substantiel et doté d'une énergie localement et temporairement non nulle mais présente une valeur moyenne globale nulle.

Cette caractéristique commune au vide de la physique quantique et à celui de la relativité permet, selon nous, de définir un programme ultérieur d'étude visant à la refondation d'un concept commun de vide pour ces deux théories.

Le plan adopté comporte cinq chapitres. Dans le premier nous analysons le rapport du vide à l'espace selon ces deux théories. Nous montrons que, bien que défini différemment, le vide et l'espace peuvent être confondus en un même objet et que celui-ci doit avoir une réalité et être substantiel. Dans le second chapitre nous analysons le concept d'énergie du vide, selon la théorie de la mécanique quantique standard, que nous confrontons aux résultats de quelques expériences récentes. Ce rapprochement entre théorie et résultats empiriques nous permet de soutenir la thèse d'une énergie du vide localement et temporairement non nulle. Le troisième chapitre procède à la même analyse et établit la même conclusion, selon la théorie de la relativité, que nous confrontons également à des résultats empiriques récents. Le quatrième chapitre est consacré à la mise en regard de nos conclusions sur l'énergie du vide selon ces deux théories. Enfin, dans le dernier chapitre, nous tentons de formuler des questions pouvant servir de bases à un futur programme de recherche, qui permettraient, selon nous, une meilleure compréhension des concepts de vide et de matière et des relations qu'ils entretiennent.

Dans chaque chapitre où nous faisons appel à une théorie faisant partie du corpus de la mécanique quantique standard ou de la relativité restreinte et générale, nous en rappelons rapidement, en guise de préambule, les principes fondamentaux ainsi que les éléments qui la caractérisent. Les rappels concernant le principe d'invariance par la transformation de Lorentz et le concept de Boson de Higgs sont traités séparément dans deux annexes.