

The background is a complex, abstract painting. It features a dense composition of organic, almost cellular or biological forms. The color palette is extremely vibrant and varied, including deep reds, bright blues, lush greens, sunny yellows, and purples. The brushwork is expressive and gestural, with many white highlights and dark, swirling lines that create a sense of movement and depth. The overall effect is one of intense energy and complexity.

MARC LACHIÈZE-REY

Les avatars
du
vide

cité

sciences
et industrie



Le Pommier

Les avatars
du
vide

MARC LACHIÈZE-REY

Les avatars
du vide

cité
sciences
et industrie

P.
Le Pommier

Coéditée par les Éditions Le Pommier et Universcience, la collection « Le collègue » s’inspire principalement du programme des conférences organisées par Universcience sur ses deux sites : la Cité des sciences et de l’industrie et le Palais de la découverte. Dans le même esprit – construire les outils d’une culture scientifique partagée et nourrir le dialogue science/société –, les textes, simples et originaux, sont élaborés spécialement pour la collection par les meilleurs spécialistes d’aujourd’hui.

Couverture : Robaglia Design
Préparation de copie : Valérie Poge
Mise en pages : Nord Compo

© Le Pommier (une marque Humensis)/Universcience, 2019

Tous droits réservés

ISBN : 978-2-7465-1816-2

Dépôt légal – 1^{re} édition : 2005, septembre

2^e édition : 2019, avril

170 *bis*, boulevard du Montparnasse – 75014 Paris

www.editions-lepommier.fr

www.universcience.fr

Introduction

Il n'existe pas, à ma connaissance, de science du vide, de ce que l'on pourrait baptiser « vacuologie ». La physique se consacre essentiellement aux propriétés de la matière, des rayonnements, de la géométrie (espace, temps, espace-temps) : tout ce qui précisément s'oppose à la notion de vide !

Mais par ailleurs la notion de vide s'impose au sein de cette même physique. Aussi bien dans certains calculs que dans les réflexions conceptuelles, alors que la discipline a du mal à la définir. Nous en verrons des exemples dans cet ouvrage. Il apparaîtra que, d'une branche de la physique à l'autre (physique newtonienne, physique quantique, théories

relativistes, cosmologie...), les conceptions du vide diffèrent et s'opposent. Vacuité, rien, néant, absence, espace ou espace-temps, éther, quintessence... en constituent divers avatars, évoqués selon que l'on prêche au vide telle ou telle propriété.

Aujourd'hui, la question du vide hante la physique. Dès les débuts de la réflexion sur le monde, elle suscita des débats contradictoires. Alors que les atomistes grecs en firent le fondement du monde¹, Aristote le rejeta explicitement et fit de ce rejet une des bases de sa physique. Près de deux millénaires plus tard, une révolution fondamentale des conceptions du monde aboutit à la naissance de la physique moderne. Parmi les nombreuses questions débattues lors de la longue maturation de cette dernière, celle du vide joua un rôle fondamental. Des qualificatifs divers furent convoqués, dans des contextes différents, pour désigner un

1. Sur la notion complexe de vide chez les atomistes grecs, on pourra consulter un autre ouvrage intitulé également *Les Avatars du vide : Démocrite et les fondements de l'atomisme*, Heinz Wismann, Hermann, 2010.

certain médium ou substrat – j’emploie le terme le plus neutre possible – défini par ses fonctions et ses propriétés : *espace* lorsqu’on s’intéresse au repérage ou aux mouvements (cinématique) ; *vide* ou *substance* lorsqu’il s’agit d’hydraulique ; *éther* lorsqu’il s’agit d’interactions ou de propagation... Mais ces diverses notions ne peuvent être complètement dissociées, car elles présentent des propriétés communes. À une époque donnée, pour expliquer tel ou tel phénomène, les partisans d’un vide total s’opposèrent à ceux d’un certain caractère « substantiel » du vide. Le recul historique nous suggère que, malgré leurs divergences apparentes, ils ne firent que qualifier différemment le même objet physique, et qu’ils évoquaient en fait tous le vide, qui apparaît ainsi sous forme de différents « avatars ». Il n’est d’ailleurs pas impossible que la physique d’aujourd’hui se trouve dans une situation similaire.

Vide conceptualisé, vide privatif _____

Précisons un point. Ce livre n'est pas un traité technique du vide, mais une réflexion sur le concept de vide². Aujourd'hui, des pompes de plus en plus perfectionnées permettent d'expulser une grande partie de l'air d'une enceinte, jusqu'à des pressions très faibles, avec un résultat qualifié de « vide » plus ou moins poussé. Mais il ne s'agit que d'une atmosphère raréfiée, qui n'a rien à voir avec un vide réel. Le meilleur « vide » ainsi réalisé en laboratoire reste d'ailleurs très imparfait à côté du vide interstellaire ou intergalactique.

Si même on réussissait à vider une enceinte de tout l'air qu'elle contient, elle serait encore remplie du rayonnement électromagnétique

2. En demeurant dans le cadre de la physique, et donc sans évoquer les états spirituels que la méditation, le taoïsme, le bouddhisme... évoquent sous l'appellation de vide, même si certaines conceptions de Lao-Tseu peuvent rappeler celles des atomistes grecs ; on pourra consulter quelques réflexions à ce propos – ainsi que sur les aspects techniques du vide – dans *Les Métamorphoses du vide*, par Armand Le Noxaïc, éd. Belin – Pour la Science.

émis par les parois. À moins que ces dernières ne soient refroidies au zéro absolu, ce qui exigerait l'absence de tout contact avec un autre objet de température non nulle... Le véritable vide ne peut exister réellement. Il s'agit d'un concept, idéal et inaccessible. Le monde réel apparaît alors comme la superposition, à ce vide, de la totalité des objets qu'il contient – particules, rayonnements... On peut donc défendre l'idée que, même inaccessible, le vide est présent tout au fond des choses.

Il pourrait sembler qu'une définition « primitive » du vide puisse opérer de manière satisfaisante : le vide serait... ce qui reste quand on a tout enlevé. Mais que signifie ce « tout » ? René Descartes avait déjà remarqué que l'on qualifie de vide une cruche qui contient de *l'air*, parce qu'elle est faite pour contenir de *l'eau*. Elle est donc vide... sans être vide. Le terme exige de définir soigneusement ce que l'on enlève. Je puis (en principe) encore ôter l'air que contient la cruche, laissant subsister cette dernière en tant que *contenant*. Si j'enlève la cruche,

il subsiste encore un lieu, un espace. Où dois-je m'arrêter ? Où se termine la panoplie des objets identifiés à ôter pour réaliser le vide ? Même si l'on déclare tout enlever, ce « tout » diffère d'une théorie à l'autre.

Que dois-je enlever pour réaliser le vide ? Réponse : tout ce que je suis capable d'enlever, non pas *en pratique*, mais *en principe*, en n'étant limité que par les principes fondamentaux de la théorie. Ce que cela signifie exactement, tel est précisément le problème. Cela dépend de la théorie considérée, si bien que chaque théorie possède sa conception du vide. Dans la plupart des cas, après que l'on a « tout » enlevé, il subsiste encore « quelque chose » qui, par nature, résiste à toute tentative de suppression et possède encore certaines propriétés. Ainsi se présente la facette essentielle du problème du vide.

Si j'enlève tout ce que je peux, il subsiste au moins l'espace vide, vu ainsi comme *contenant* (c'est du moins la conception ordinaire, à laquelle s'oppose, nous le verrons, une conception *relationnelle*). En même

temps, c'est par rapport à cet espace vide idéal que sont situés et localisés les objets, que sont repérés leurs mouvements, que sont médiatisées les relations entre eux. Contenant, référence, repérage, médiatisation, voilà déjà plusieurs propriétés du vide. Selon que l'on met l'accent sur l'une ou sur l'autre (ou sur d'autres encore), on évoquera tel ou tel de ses avatars : espace comme contenant, comme référence et repérage pour les positions ou les mouvements ; éther (alors qualifié de *luminifère*) comme milieu, dont l'ébranlement constitue la lumière ou le rayonnement électromagnétique ; éther encore (gravitationnel) comme support pour la transmission de la gravitation... Chacun d'eux possède un minimum de propriétés qui lui confèrent une certaine réalité. Le vide apparaît souvent comme un objet physique nécessaire.

La notion de vide concerne toutes les branches de la physique. Elle y est sans aucun doute essentielle, car tous les auteurs importants l'ont abordée, même si c'était pour la récuser. Invoqué pour telle ou

telle propriété qu'on lui prête, le vide n'est jamais identifié au « rien » ou au néant. Blaise Pascal, un des acteurs les plus importants de l'histoire du vide, déclarait en 1647 qu'« il y a autant de différences entre le néant et l'espace vide que de l'espace vide au corps matériel, et qu'ainsi l'espace vide tient le milieu entre la matière et le néant ».

Les mouvements de l'histoire _____ du vide

Dans un premier chapitre de cet ouvrage, un survol rapide de l'histoire de la physique montrera le caractère fondamental et l'importance de la notion de vide, ainsi que sa faculté singulière à exacerber les difficultés conceptuelles de telle ou telle théorie. En contrepartie, les efforts entrepris pour la clarifier constituent un moteur de progrès efficace. Au gré des époques et au gré des théories, le statut du vide a oscillé entre celui d'un néant privatif, à peine une concrétisation du rien, et celui d'une substance quasi

matérielle, munie d'une panoplie d'attributs qui en font un objet physique à part entière, qualifiée par exemple d'« éther » ou de « quintessence »... Entre les deux, le vide joue sur la scène géométrique : ses propriétés d'extension, de symétrie, conduisent à l'assimiler à l'espace ou à l'espace-temps.

Tout cela n'est qu'un avant-goût de la subtilité des questions liées au vide. D'une époque à l'autre de l'histoire de la physique, d'une discipline à l'autre, les uns ou les autres de ces divers avatars sont invoqués. Mais l'examen historique nous dévoilera une règle apparemment générale : dès que l'on cherche à supprimer un aspect du vide, il revient sous une autre forme. Sa physique penche tantôt du côté de la géométrie (l'espace), tantôt du côté de la substance (l'éther).

Avec un certain recul, le vide apparaît comme un « joker » dans l'histoire de la physique : c'est à lui (à l'un de ses divers avatars) que l'on fait appel pour répondre à une question autrement insoluble... Mais il nous apparaîtra également qu'il reste

souvent impossible de préciser son statut exact, d'en établir une théorie satisfaisante.

Le deuxième chapitre traite des aspects *relativistes* du vide. La révolution scientifique du xvii^e siècle avait totalement renouvelé le statut du vide. Mais la nouvelle physique qui en a résulté ne fut pas pour autant dépourvue de difficultés conceptuelles, dont une grande part se manifestait précisément à propos du vide, de l'espace, de l'éther, notions aux statuts entremêlés, donnant naissance à des paradoxes et à de nombreuses questions. Ce furent en grande partie les réflexions élaborées à leur propos qui conduisirent les physiciens aux étapes qui suivirent, c'est-à-dire aux grandes révolutions scientifiques de la première moitié du xx^e siècle : les théories de la relativité restreinte et générale ainsi que la physique quantique avec, une fois encore, un renouvellement du statut du vide (ou plutôt des vides). C'est à propos des notions de vide, en liaison avec le repérage des mouvements, que fut introduite la relativité *restreinte*. Quant à la relativité *générale*,

ce fut en grande partie pour résoudre le problème posé par l'*éther gravitationnel* d'Isaac Newton qu'elle fut conçue par Albert Einstein.

Le troisième chapitre évoque la physique quantique. Celle-ci a profondément modifié nos points de vue sur le vide, au point que la distinction entre vide et substance devient très difficile à établir. Et les paradoxes du vide quantique révèlent tout à la fois l'absence d'interprétation conceptuelle satisfaisante de la théorie et ses insuffisances mathématiques.

Le dernier chapitre est consacré à la cosmologie contemporaine. Le vide y est en effet abondamment évoqué, pour répondre à certaines interrogations relatives à l'Univers et à son évolution. Nous verrons qu'elle pose des questions fondamentales, qui constituent un reflet exacerbé de l'insuffisance de notre physique actuelle.

1

Histoires de vide

Vides antiques

L'épopée du vide nous ramène (au moins) aux atomistes grecs, pour lesquels « il n'y a que des atomes et du vide ». Leucippe, Démocrite, Épicure, puis plus tard Lucrèce en font le fondement de leur conception du monde. Il est pour eux la condition du mouvement et même de l'existence des corps : « Le vide n'existe pas moins que les corps. » Il est illimité et les atomes (qui ne contiennent rien d'autre, pas même du vide) se déplacent en son sein.

Les atomistes justifient l'existence du vide par la possibilité du mouvement : comment

un corps pourrait-il se déplacer ailleurs si cet ailleurs n'était pas vide ? « Si ce que nous appelons vide [...] n'existait pas, les corps ne sauraient où se tenir ni où se mouvoir, alors qu'ils le font de manière évidente », écrit Épicure au IV^e siècle av. J.-C. Le vide existe donc. Ici, il se confond avec ce que nous appelons aujourd'hui l'espace : c'est un réceptacle, dont la potentialité consiste à recevoir les corps.

Aristote au contraire nie le vide. Par exemple, répondant aux atomistes selon lesquels certains corps sont moins denses que d'autres simplement parce qu'ils contiennent (en proportion) davantage de vide, il soutient au contraire que les diverses densités des corps sont dues à leurs essences différentes. Sa physique s'imposera et constituera la référence pendant deux millénaires, et les conceptions des atomistes, rejetées dans l'oubli, ne seront réhabilitées qu'après la Renaissance.

Sans vide, la vision aristotélicienne peine à établir une conception cohérente des mouvements ou de ce que nous appelons