



HAL
open science

Les équilibres multiples

Martino Lobue

► **To cite this version:**

| Martino Lobue. Les équilibres multiples. En attendant Nadeau, 2023, 170, pp.41. hal-04046226v1

HAL Id: hal-04046226

<https://hal.science/hal-04046226v1>

Submitted on 27 Mar 2023 (v1), last revised 19 Jan 2024 (v2)

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Cantique des quantiques

Le 4 octobre 2022, le prix Nobel de physique était décerné à Alain Aspect pour ses travaux sur l'intrication quantique. Le même jour, Julien Bobroff publiait Bienvenue dans la nouvelle révolution quantique. Professeur à l'université Paris-Saclay, maître d'œuvre du réseau « La physique autrement » qui vise à ré-imaginer l'enseignement de la physique, ce physicien revient dans son nouvel ouvrage sur l'essor des études quantiques, leurs débouchés éventuels et les difficultés auxquelles elles doivent se confronter.

par Martino Lo Bue

Julien Bobroff

Bienvenue dans la nouvelle révolution quantique

Flammarion, 338 p., 21 €

« *Est-ce vraiment une révolution ?* », se demande Julien Bobroff dans l'épilogue de son livre. La réponse n'est pas univoque. Elle peut être négative, surtout si l'on définit une révolution scientifique comme un changement drastique dans la vision du monde – ces changements de paradigme dont parle Thomas Kuhn dans son fameux ouvrage *La structure des révolutions scientifiques*. Dans ce cas, il n'y a qu'une révolution quantique, celle qui a eu lieu au début du XX^e siècle, racontée, entre autres, par Carlo Rovelli dans son *Helgoland*. Et elle est positive si l'on regarde ce qui est en train de se passer du côté des savoir-faire.

Il y a quelque chose de spécifique dans l'activité presque frénétique qui marque les études quantiques de ces trente dernières années. D'abord, la longue durée : après un siècle de succès en termes de capacité explicative, ainsi que de nouvelles applications (pensons, par exemple, au transistor, au laser, ou à la supraconductivité), l'accélération ultérieure, associée à une « ancienne » révolution, représente une polyrythmie historique unique et inattendue. Dans *Einstein et les révolutions quantiques* (CNRS Éditions, 2019), Alain Aspect, qui vient de recevoir, avec John Clauser et Anton Zeilinger, le prix Nobel de physique, parle de « révolutions » au pluriel, avec une périodisation en deux temps, la seconde révolution étant déclenchée par la séquence d'expériences d'intrications de photons (Clauser en 1972, Aspect en 1981-1982, Zeilinger en

1997-1998) qui a conduit à l'attribution du prix Nobel 2022. S'il est vrai que ce deuxième sursaut n'a pas correspondu à une rupture dans la vision de l'univers physique, on ne peut ignorer les nouveautés radicales qui l'ont suivi.

La plus marquante de ces nouveautés, que Julien Bobroff ne manque pas de souligner, est que depuis ces expériences les recherches fondamentales et appliquées, un peu comme les photons, se sont trouvées intriquées dans l'histoire de la science moderne d'une manière inédite. Au fond, tout est né d'une curiosité fondamentale. Comme le raconte Alain Aspect, la première idée consistant à réaliser l'intrication de deux grains de lumière, suffisamment éloignés l'un de l'autre pour qu'ils ne puissent pas échanger d'information, lui est venue vers la moitié des années 1970 en lisant un article de John Stewart Bell (1928-1990), dans lequel était proposée une façon de vérifier les fondements de la mécanique quantique. Ainsi, l'une des expériences qui ont rendu possible une révolution technologique a été motivée par un but presque philosophique, celui de vérifier les fondements d'une théorie qui avait déjà largement démontré sa puissance explicative et qui avait déjà conquis une hégémonie presque unanime au sein de la communauté scientifique. De quoi faire vaciller les adeptes d'une distinction nette entre recherche animée par la curiosité et recherche appliquée.

De son côté, Julien Bobroff vient de publier l'un des meilleurs guides pour visiter cette nouvelle physique, ses perspectives, ainsi que les difficultés qu'elle rencontre. Après *Le quantique autrement*, dédié à l'explication des concepts clés de la théorie, Julien Bobroff s'intéresse aux technologies qui se trouvent au cœur de la seconde révolution quantique – quelques-unes déjà réalisées,

CANTIQUE DES QUANTIQUES

d'autres figurant parmi les défis les plus ambitieux de la recherche contemporaine. La superposition quantique et l'intrication se trouvent bien au centre de la plupart des recherches dont il est question dans le livre.

Les trois premiers chapitres exposent l'acquisition, entre la fin des années 1970 et la fin des années 1990, de la capacité de manipuler des objets quantiques individuels, tels que des atomes, des ions et des électrons. Cela a donné, là aussi, des Prix Nobel : Dehmelt et Paul en 1989, Chu, Cohen-Tannoudji et Phillips en 1997, Haroche et Wineland en 2012. Ici, Bobroff donne une preuve de sa capacité à conjuguer un ton informel et captivant avec une présentation subtile qui essaie de donner une image du travail des physiciens dépassant certains préjugés. L'aspect collectif de la recherche est bien mis en évidence, non seulement grâce à la description du travail en équipe, mais aussi des résultats innovants obtenus simultanément par des groupes travaillant de façon indépendante. On est loin du stéréotype du scientifique travaillant seul inspiré par son génie.

L'importance de ces premiers chapitres est double. D'un côté, l'auteur y décrit des acquis qui mènent, d'une façon ou d'une autre, vers l'objectif le plus ambitieux, lequel fait l'objet de la suite de son livre : l'ordinateur quantique. De l'autre, il consacre une grande place aux applications de ces technologies en dehors du domaine de la théorie quantique, comme l'horloge à fontaine d'atomes qui permet, en refroidissant des atomes de Césium, de mesurer le temps avec une erreur d'une seconde pour 100 millions d'années. Et pourquoi ne pas mesurer la gravité en utilisant l'interférence entre les fonctions d'onde d'atomes en chute libre ? Cela permettrait d'utiliser la nature ondulatoire des atomes, établie par la mécanique quantique, pour vérifier des aspects de la relativité générale, l'autre grande théorie de la physique moderne. Finalement, le lecteur pourra découvrir comment fabriquer un microscope capable de voir les champs magnétiques à très petite échelle. Il suffit d'utiliser le trou laissé par deux atomes de carbone dans le réseau cristallin d'un diamant, en y glissant un atome d'azote, et en faisant interagir le tout avec de la lumière. Encore une technologie quantique, développée au sein de l'équipe de Jörg Wrachtrup à l'institut Max-Planck de Stuttgart, et de celle de Jean-François Roch à l'ENS Paris-Saclay.

Le but de cette série d'outils quantiques est d'étudier des aspects de la physique qui ne sont pas strictement liés à la théorie des quanta. Ce qui conduit Julien Bobroff à réfléchir au sens épistémologique de ces développements. Il cite Ian Hacking : « *Faire des expériences sur une entité ne vous oblige pas à croire à son existence. Mais la manipuler, dans le cadre d'une expérience sur autre chose, vous y contraint* ». Selon ce point de vue, la physique quantique serait sortie d'une phase autocentrée où le laboratoire ne produisait que des « faits » internes à la théorie. La seconde révolution quantique, nous dit Bobroff, regarde dehors et fabrique ainsi des phénomènes inédits. Il s'agit sans doute d'une intéressante réponse réaliste au constructivisme qui, depuis Nelson Goodman et *La vie de laboratoire* de Bruno Latour et Steve Woolgar, a marqué la philosophie des sciences au cours de ces quarante dernières années.

La course vers l'ordinateur quantique est au centre de la deuxième partie du livre. On est cette fois dans le futur, un futur possible mais pas encore abouti. Tout commence en 1980, avec deux publications : celle du mathématicien soviétique Yuri Ivanovich Manin (« Calculable et non calculable ») et celle du physicien américain Paul Benioff (« The Computer as a Physical System »). L'année suivante, Richard Feynman soutient, dans une conférence, que le seul moyen de simuler avec un ordinateur une réalité quantique serait « *que l'ordinateur lui-même soit construit d'éléments qui obéissent aux lois de la mécanique quantique* ». La suite de cette histoire, on la vit aujourd'hui. Le grand saut en avant pour réaliser des circuits quantiques a été la capacité de manipuler des objets quantiques en état intriqués, comme les photons d'Alain Aspect. Mais les problèmes liés à la fragilité des états superposés, ainsi que la difficulté à contrôler et à corriger les erreurs qui se glissent dans une machine de calcul quantique, constituent autant de verrous, pour certains insurmontables, pour d'autres sur le point d'être dépassés. Cela fait de la course vers l'informatique quantique un domaine en pleine ébullition.

Le livre de Bobroff en donne un aperçu passionnant et subtil, sans jamais céder au triomphalisme des uns ou au scepticisme des autres. En octobre 2022, l'auteur a reçu la médaille d'argent du CNRS pour la médiation scientifique, un prix récompensant le travail dédié à la création de liens entre le monde de la recherche et le public.

JULIEN BOBROFF

BIENVENUE DANS

**LA NOUVELLE
RÉVOLUTION
QUANTIQUE**



CANTIQUE DES QUANTIQUES

Le mot « médiation » a l'avantage d'écartier une vision verticale du processus, que les mots « vulgarisation » et « popularisation » ne peuvent s'empêcher d'évoquer : il évoque l'« *outreach* » anglais, et la conversation – [Julien Bobroff intervient régulièrement](#) dans « The Conversation », titre d'un réseau de revues qui veulent instaurer un dialogue entre le monde académique et la société. Physicien et chercheur ayant conduit pendant des années des recherches sur la supraconductivité, Bobroff étudie depuis dix ans maintenant des méthodes aptes à familiariser le public

avec les concepts qui fondent la physique contemporaine. Les outils et les réflexions qui résultent des travaux de l'équipe *La physique autrement*, dont Bobroff est l'animateur, s'appuient sur une réflexion approfondie sur la communication et ses outils, linguistiques, gestuels, et graphiques. Un travail qui a permis de produire des vidéos, des animations, des interventions publiques ainsi que *La nouvelle révolution quantique*. Voilà l'origine d'un style simple mais jamais superficiel, soucieux ne pas intimider et surtout de ne jamais céder à la tentation de parler au physicien qui pourrait se cacher dans le public.