



Une confrontation critique sur les fractales

Philosophes, historiens et sociologues s'intéressent de très près à cette théorie encore en voie d'élaboration. Ainsi, la *Revue de synthèse* (revue interdisciplinaire) lui est, ce mois-ci, entièrement consacrée. Aux commandes de ce numéro spécial, le philosophe des sciences Charles Alunni, (chargé de recherches à l'ENS de Pise et responsable du laboratoire disciplinaire « Pensée des sciences » de l'ENS Paris) et l'historien des sciences Éric Brian (directeur d'études à l'EHESS et directeur de la revue) ont sollicité, outre Laurent Nottale, des spécialistes de nombreuses disciplines : (physique, éthologie, paléontologie, histoire sociale, finances... « Nous avons voulu, expliquent-ils, apporter une

véritable confrontation critique, une mise à l'épreuve de la théorie, afin notamment d'en éviter les fausses lectures et les récupérations plus ou moins solides ; en même temps, il nous a paru intéressant de réfléchir aux conditions de son élaboration, qui se fait non en rupture, mais en continuité avec Galilée et Einstein. »

Pour en savoir plus :

- Direction d'études d'Éric Brian et *Revue de synthèse* : <http://tabula.eric-brian.net>
- Comptes-rendus et programmes des séminaires organisés par le laboratoire disciplinaire de l'ENS : Ens.fr/pense-science

THÉORISER LE TEMPS

Comment le temps est devenu relatif

Le temps peut-il être comparé à un fleuve qui emporte tout sur son passage, s'écoulant dans un mouvement uniforme et inexorable ? C'est ce qu'ont pensé les scientifiques des siècles durant. Jusqu'à Einstein. Le temps est alors devenu relatif.

Pour Newton, le temps coule uniformément : « *Il est assimilé à des durées. Et il est absolu, c'est-à-dire indépendant des événements dont il est le cadre*, rapporte la physicienne Catherine Thibault du CSNSM (Orsay). Mais Einstein va bouleverser ce point de vue. Il découvre dès 1905, avec la théorie de la relativité restreinte, que la durée d'un phénomène est rela-

tive. » Cette durée varie, en effet, selon la vitesse relative entre le phénomène et l'observateur. Ainsi, deux personnes qui se déplacent à la même vitesse relative "sentiront" le temps s'écouler de la même façon. Mais supposons que l'un d'eux monte dans une fusée qui accélère jusqu'à atteindre une vitesse proche de celle de la lumière. Tout va se passer comme si les durées mesurées

à bord de la fusée se dilataient : l'astronaute, à son retour, aura moins vieilli que son jumeau resté sur Terre (40 ans sur Terre correspondent à 6 ans à une vitesse très proche de celle de la lumière). En même



23

© SELVA

REPENSER LE TEMPS

L'espace-temps fractal

Aujourd'hui, le temps prend une nouvelle dimension, à travers la théorie développée par l'astrophysicien Laurent Nottale. Controversée, cette approche nous propose une peinture surprenante de la nature. Son intérêt s'étend à des domaines en apparence très éloignés les uns des autres, de la cosmologie à la physique quantique en passant par la biologie ou même les sciences économiques.

Expliquer la formation des structures de l'univers à toutes les échelles d'observation, des atomes aux amas de galaxies, en passant par les roses ou les systèmes planétaires ; rendre compte de la périodicité des krachs boursiers ou des tremblements de terre ⁽¹⁾ ; ou encore décrire la chronologie de l'évolution des espèces : la théorie de l'espace-temps fractal propose des solutions dans tous ces domaines. Le tout à l'aide d'équations issues de la physique quantique. Explications.

Des structures dans les structures

« L'espace-temps courbe d'Einstein est "lisse", mathématiquement différentiable, c'est-à-dire ne montrant pas de structures vers les petites échelles de temps et d'espace, décrit Laurent Nottale. Mais postulons que la géométrie de l'espace-temps est relative à l'échelle, que les dimensions sont structurées, tels ces objets que l'on nomme "fractales". » Les fractales présentent toujours des structures lorsque l'on « zoome » à l'intérieur, jusqu'à l'infini : elles peuvent être naturelles (rochers, réseau sanguin, trajectoires...) ou créées à partir d'équations mathématiques. La relativité d'échelle conduit à décrire les phénomènes naturels en recourant aux outils mathématiques de la mécanique quantique, notamment à une

forme généralisée de l'équation de Schrödinger (l'équation qui à l'origine, prévoit de façon probabiliste la position des électrons au sein des atomes ⁽²⁾).

L'un des aspects les plus intéressants de la théorie est qu'elle rend compte de la morphogénèse (la genèse des structures) de nombreux objets naturels. « Les équations montrent que dans un milieu de densité initialement constante, l'effet de la gravitation sera de former, suivant l'énergie, un objet, puis deux, puis plusieurs sphères alignées en chaînes, ou disposées en quadrilatère, etc. C'est peut-être ainsi que ce sont formés les étoiles, les galaxies et les amas de galaxies. D'ailleurs, on observe bien dans le ciel, dans les zones de formation d'étoiles comme dans les groupes compacts de galaxie, des dispositions en trapèze ou en chaîne, et plus de 60 % des étoiles de notre galaxie sont des étoiles doubles », commente Laurent Nottale. Autre tentative d'application de la théorie : la description, voire la prédiction, du rythme évolutif de nombreux phénomènes, naturels ou sociaux, de crises temporelles : sauts évolutifs majeurs à l'origine de la disparition et de l'apparition d'espèces, effondrements boursiers, crises économiques... Des lois d'échelle permettraient par

Laurent Nottale

astrophysicien et directeur de recherche à l'Observatoire de Paris-Meudon

© E. Robert-Espalieu
Hachette Littératures



exemple de décrire comment une accélération de petites fluctuations annonce une crise, puis comment celle-ci est suivie de répliques qui décèlent le phénomène ; cette théorie prétend rendre compte de la chronologie des grandes crises économiques depuis le néolithique – prédisant des époques critiques en 1995-2000, 2015-2020, 2030-2035, et une supercrise vers 2080 – et décrirait des événements paléontologiques majeurs de l'évolution, comme la modification survenue dans la lignée des primates voici environ 10 millions d'années. ■

Sylvia Arditi

Laurent Nottale
nottale@mesio.observatoiredeparis.fr

(1) Travaux de D. Sornette et al.

(2) Cette équation n'est pas ici postulée mais mathématiquement démontrée.

temps, vue de la Terre, la fusée en mouvement semble plus courte que lorsqu'on l'observait, immobile, à son départ.

Une seconde n'est pas toujours une seconde !

Pour vérifier les équations d'Einstein, des horloges ultraprécises ont été embarquées à bord d'avions supersoniques : à leur retour, celles-ci retardaient d'une fraction de seconde par rapport aux horloges identiques restées sur Terre. Mais attention : « La dilatation est une illusion d'optique, liée à l'existence de l'espace-temps, précise Laurent Nottale, astrophysicien et directeur de recherche à l'Observatoire de Paris-Meudon. Il faut raisonner dans l'espace-temps (quatre

dimensions) et non pas seulement dans l'espace que nous voyons (trois dimensions). Ce que nous appelons taille et durée n'existe pas en soi, ce ne sont que des projections de formes quadridimensionnelles sur l'axe du temps d'une part, et sur les trois axes d'espace d'autre part. Le même effet peut être observé à l'aide d'une règle que l'on regarde de face puis que l'on fait pivoter dans la troisième dimension : elle semble alors plus courte. »

Quelques années après cette extraordinaire intuition, vers 1915, « Einstein généralise sa théorie en montrant que ce que nous appelons gravitation n'est que la manifestation de la déformation locale de l'espace-temps sous l'effet d'un corps massif », explique Laurent Nottale. Conséquence : le temps s'écoule plus len-

tement à proximité d'un tel corps : « On vieillit plus vite au 50^e étage d'un gratte-ciel qu'au rez-de-chaussée. Ainsi, le temps varie non seulement d'un instant mais aussi d'un endroit à l'autre », résume Catherine Thibault. Malheureusement, la relativité écarte la possibilité de fabriquer une machine à remonter le temps : « Pour renverser le sens de l'écoulement du temps, il faudrait voyager plus vite que la lumière. Or cette vitesse est comme un horizon, on peut s'en rapprocher mais jamais l'atteindre. En outre, on briserait la loi de la causalité ; les conséquences précèderaient alors les causes », commente Laurent Nottale. Quant à l'origine du temps, « il est impossible d'y accéder, c'est également un infini », reprend le physicien : le zéro est l'infini... ■

Sylvia Ardit

RECHERCHE

Les temps des uns, le temps des autres...

« L'emploi du temps moyen d'un physicien actuel diverge radicalement de celui d'un physicien du début du siècle, au niveau de l'organisation comme du rythme de travail », souligne Terry Shinn, chercheur au Groupe d'études des méthodes de l'analyse sociologique (Gemas) et spécialiste du physicien Aimé Cotton (1869-1951). Sur le plan de l'instrumentation, le XX^e siècle a connu une vraie rupture. Un exemple : l'analyse des composants d'un alliage prenait plusieurs semaines jusqu'à l'arrivée des spectrographes par lecture directe qui permettent de réaliser le même travail en quelques secondes.

« Sur un mois de travail, un contemporain d'Aimé Cotton consacrait 75 % de son temps à concevoir et développer ses instruments. Aujourd'hui, précise Terry Shinn, la moyenne se situe autour de 25 % à 30 % du temps de travail. » Revers de la médaille, ce temps gagné est en partie dépensé à rechercher les moyens financiers d'acquérir des instruments souvent très coûteux... S'y ajoute le temps consacré à la rédaction

(rapports, projets, articles, etc.) qui n'a pas cessé d'augmenter. Quant au reste, il a été dévoré par les échanges avec d'autres chercheurs, favorisés par des moyens de communication et de transports rapides.

Aujourd'hui, les liens d'un physicien senior avec ses homologues étrangers (séminaires, colloques, collaborations entre laboratoires) sont aussi nombreux qu'avec ses collègues français... Aimé Cotton avait très peu voyagé à l'étranger. « Pour l'essentiel, sa sphère de travail est française et même parisienne, note Terry Shinn. Son rythme de travail est aussi très différent. Malgré ses nombreuses responsabilités, sa correspondance montre qu'il disposait de plusieurs semaines de vacances à Noël et à Pâques et de 2 à 3 mois en été. Ce qui était normal pour son époque, même si, en Allemagne, par exemple, le rythme était déjà plus soutenu. »

Serge Lafitte

Terry Shinn
shinn@msh-paris.fr