

➤ En pratique, le principe de causalité se décline dans les différents formalismes de la physique: il s'adapte à chacun d'eux, y prend une forme qui dépend de la façon dont les événements et les phénomènes sont mathématiquement représentés. Ses conséquences sont toujours extrêmement contraignantes. Elles s'expriment sous la forme d'interdictions ou de prédictions, qui dépendent de façon cruciale de la théorie qu'on considère.

En physique newtonienne, la causalité brise le cercle du temps, celui-ci devenant linéaire et non cyclique. Cette ouverture topologique suffit à assurer qu'un effet ne peut pas rétroagir sur sa propre cause. En relativité restreinte, la causalité interdit qu'une particule puisse se propager plus vite que la lumière dans le vide, car alors elle pourrait voyager dans le passé et éventuellement y changer le cours d'événements qui se sont déjà produits...

En physique des particules, la prise en compte de la causalité a permis de prédire l'existence de l'antimatière, dûment confirmée ensuite par l'expérience.

AU NOM DE LA LOI, AU NOM DE LA CAUSE

Mais dès lors que la physique a renoncé aux causes proprement dites et a dissous l'idée même de causalité dans celle de loi physique, il nous incombe de clarifier cette dernière notion: quel lien peut-il exister entre l'univers physique et les lois universelles qui découlent des théories physiques? En d'autres termes, quel est le statut des lois physiques et comment parviennent-elles à s'appliquer aux objets physiques?

Une première piste consiste à considérer que les lois physiques seraient des produits de l'intellect, ou du moins qu'elles en seraient inséparables. Mais comment la pensée de l'homme, qui n'est qu'une partie micro-infime de l'Univers, parviendrait-elle à saisir la structure du tout qui la contient? Autrement dit, grâce à quelle nature très spéciale les lois physiques pourraient-elles participer à la fois du monde qu'elles structurent et de la pensée qui comprend ce monde? Y aurait-il une parenté de structure, voire une identité, entre l'esprit humain et l'Univers?

On peut préférer considérer, derrière Platon, l'existence de deux mondes distincts; d'une part, celui des formes intelligibles, constitué de réalités immuables et universelles, et faisant l'objet d'une connaissance et d'un discours vrais; d'autre part, celui des choses sensibles, qui ne sont que des copies approximatives des formes pures. En langage moderne, cela reviendrait à dire que les équations mathématiques exprimant les lois physiques sont «transcendantes» et non pas immanentes, c'est-à-dire indépendantes de l'Univers

empirique, et que ce dernier n'en constitue qu'une image mobile et imparfaite.

L'Univers serait en quelque sorte un écho physique dégradé de la pureté mathématique qui le tiendrait sous sa coupe. Mais si tel est le cas, comment le monde des équations parvient-il à structurer «à distance» le monde des phénomènes? Ou, redit en langage platonicien, comment les formes intelligibles participent-elles aux formes sensibles? En guise de réponse à cette question, Platon avait énoncé dans le

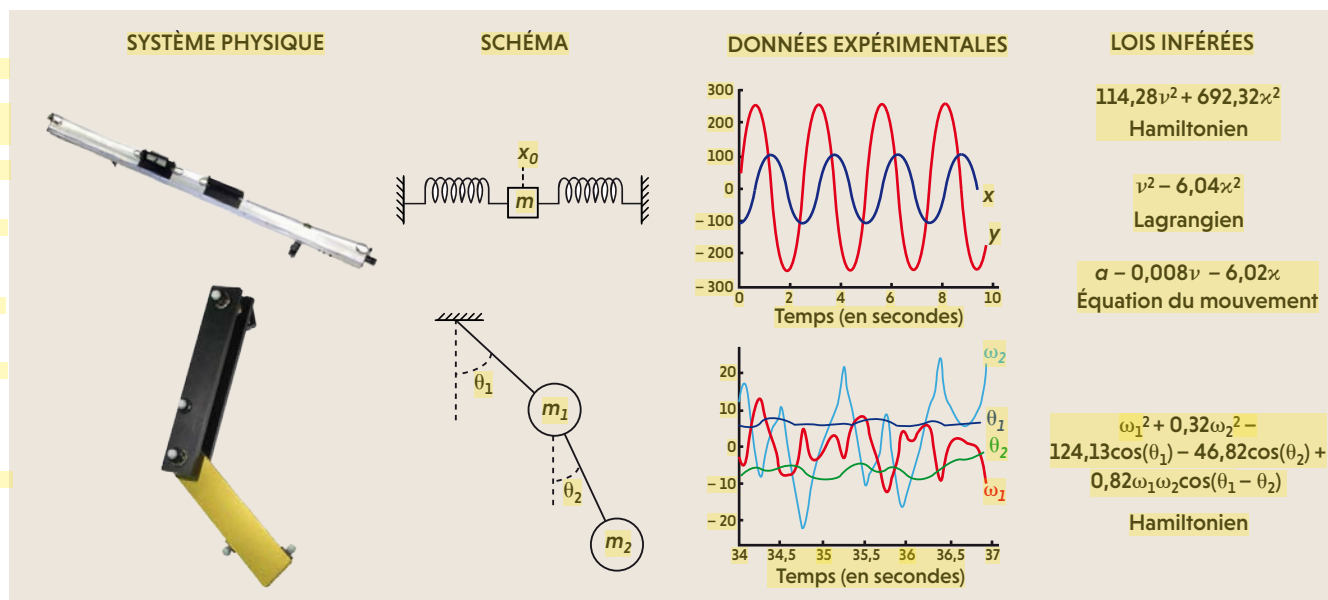
**Un algorithme
« naïf » a réussi
à redécouvrir
plusieurs lois
physiques à partir
de données**

Timée deux hypothèses donnant naissance à deux fictions: celle d'un démiurge, qui met en ordre l'Univers, et celle de la *khora*, le matériau sur lequel intervient le démiurge en s'inspirant du mieux qu'il peut, mais de manière infidèle, des formes intelligibles. Comment ces idées pourraient-elles s'adapter à la physique contemporaine, peu friande en démiurges?

Ces embarras peuvent nous porter à suivre plutôt Spinoza, selon lequel il n'y a qu'un seul et même univers, mais qui se donne sous deux modalités différentes: d'un côté, un univers matériel et spatial, et, de l'autre, un univers législatif contenant des lois, des principes et des règles qui sont accessibles à la pensée. Mais là encore, comment ces deux modalités d'être de l'Univers communiquent-elles? Par quelle médiation les lois de la matière, qui relèvent du deuxième mode, parviennent-elles à s'imposer à la matière, située, elle, dans le premier mode?

On voit par là que les questions les plus vives de la cosmologie contemporaine font lointainement écho aux systèmes philosophiques les plus puissants. Mais parmi toutes ces options, ou d'autres également imaginables, comment choisir?

La réponse s'annonce d'autant plus délicate qu'un bouleversement est en train de se



Un algorithme retrouve les lois de la mécanique (à droite) à partir des données (au centre) collectées sur des dispositifs mécaniques (à gauche). En est-il pour autant un scientifique ?

produire, de plus en plus manifeste: l'arrivée du *big data*. Tout le monde en parle, et pour cause: couplé à l'intelligence artificielle (voir *La révolution de l'apprentissage profond*, par Y. Bengio, page 42), le *big data* a déjà, et aura plus encore dans l'avenir, un impact majeur sur les technologies, le travail, les emplois, l'économie (voir *l'entretien avec D. Cohen*, page 8), la médecine et les relations interpersonnelles. Et aussi, à l'évidence, sur les sciences, notamment sur la façon de mener les recherches, et peut-être aussi sur le statut même des lois physiques. De quelle façon ?

LES PILIERS DE LA SCIENCE

Galilée est à juste titre considéré comme l'inventeur de la science telle que nous la pratiquons depuis quatre siècles, dont les deux grands piliers ont été la théorisation et l'expérimentation: on élabore des hypothèses conduisant à la formulation de lois, qui sont ensuite testées grâce à des expériences spécifiques, souvent très éloignées de la simple observation. Par exemple, lorsque, en 1604, Galilée énonce que tous les corps, quelle que soit leur masse, tombent à la même vitesse, il formule une loi qui n'est ni conforme aux données empiriques de l'époque, ni directement observable (elle ne peut l'être que dans le vide): elle ne sera expérimentalement vérifiée que bien plus tard.

Mais cette façon de faire de la science n'est-elle pas en train de changer sous nos yeux? Avec l'arrivée du *big data*, ce modèle canonique demeurera-t-il toujours vrai? Continuerons-nous d'honorer la pensée spéculative, d'incliner à «la gravité enjouée de l'enquête métaphysique»? L'article de Chris Anderson cité en introduction répondait par la négative à ces questions.

Le *big data* est cet ensemble énorme de données brutes et silencieuses, dont le volume augmente à une vitesse prodigieuse. Ces données choisies mémorisent les «traces» de l'activité d'êtres vivants, de machines, d'objets, et leurs états successifs. Leur collecte est principalement automatique, puis ces données sont analysées par des algorithmes qui y détectent des régularités, par exemple dans le comportement des consommateurs, des machines, des indices économiques, du trafic routier...

À partir de ces régularités, ils infèrent des règles prédictives que nous avons tendance à considérer comme des normes, ou comme des lois générales, voire universelles, alors qu'elles ne sont que la condensation de ce qui a déjà eu lieu: dès lors que le futur qu'elles configurent n'est que du passé extrapolé, elles ne peuvent correctement prédire l'avenir qu'à la condition que celui-ci prolonge le passé, sans surprises ni ruptures ni inventions.

Privilégier de la sorte l'induction, n'est-ce pas faire exagérément confiance à une certaine uniformité du cours de la nature et trop croire que certaines choses n'arriveront pas? L'idée de rupture n'est-elle pas en train de disparaître ?

Certes, le *big data* ouvre des perspectives fascinantes, notamment celle de redécouvrir des lois universelles déjà connues par la simple analyse de données massives. C'est ce qu'ont montré Michael Schmidt et Hod Lipson, de l'université Cornell, à Ithaca, aux États-Unis. Ils ont d'abord accumulé des données de positions, de vitesse, d'angles... enregistrées en certains points d'un dispositif mécanique en mouvement, notamment un double pendule au comportement chaotique (voir la figure ci-dessus). Ensuite, ces informations ont alimenté un algorithme « naïf », c'est-à-dire