

POINT FORT

En 1915, la relativité générale change notre vision du monde

En 1915, Albert Einstein énonce sa théorie de la relativité générale. Une véritable révolution dans le domaine de la physique que l'UNIGE célèbre du 24 au 27 novembre avec une série de conférences publiques

« $E=mc^2$ », la formule la plus célèbre du monde... Issue de la théorie de la relativité restreinte, qu'Albert Einstein énonce dans un article paru en juin 1905, elle ouvre la voie à la formulation, dix ans plus tard, d'une théorie plus vaste intégrant la loi de la gravité de Newton: la relativité générale. A l'occasion de son centenaire, les Sections de mathématiques et de physique, en collaboration avec le Pôle de recherche national SwissMAP, organisent une série de conférences publiques (*lire encadré*).

NAISSANCE D'UNE THÉORIE

Dans les années 1880, les physiciens américains Albert Abraham Michelson et Edward Morley procèdent à différentes mesures de la vitesse de la lumière et découvrent que cette valeur ne change pas quelle que soit la direction dans laquelle elle est observée. Pourtant, selon eux, celle-ci devrait être différente si elle est mesurée parallèlement ou perpendiculairement à la course de la Terre. Dans le premier cas, la vitesse mesurée devrait être plus élevée que dans le second, la vitesse de la Terre s'additionnant à la vitesse de la lumière. De la même manière, un observateur ne voit pas un avion se déplacer à la même vitesse s'il est lui-même immobile ou s'il se trouve en mouvement.

Pour expliquer cette contradiction, Einstein remet en cause le caractère absolu de l'espace et du temps: c'est la théorie de la relativité restreinte. Elle bouleverse l'image du monde que l'on avait jusque-là, en montrant qu'une seconde ne vaut pas toujours une seconde et qu'un mètre ne mesure pas toujours un mètre.

Première conséquence: la vitesse de la lumière – le « c » de la fameuse formule – devient une constante fondamentale. Sa valeur, 299 792 kilomètres par seconde, ne change pas, quelle que soit la vitesse de l'observateur. Second point: si elle ne varie pas, c'est que les distances doivent se contracter et le temps se dilater pour l'observateur en mouvement.

Professeur au Département de physique théorique (Faculté des sciences), Michele Maggiore ex-

plique: «Dans la vision newtonienne, l'espace et le temps sont deux choses totalement différentes. Grâce aux travaux de ses prédécesseurs, Einstein se rend compte que notre Univers possède quatre dimensions, dont l'une est le temps.»

Le fait que le temps ralentit pour les objets en mouvement a été vérifié expérimentalement, bien des années plus tard, grâce à une horloge atomique embarquée dans un avion pendant plusieurs heures. A son retour sur Terre, une infime différence est mesu-

compréhension des lois de la nature. Toutefois, cette théorie a ses limites. En particulier, elle n'intègre pas la loi de la gravité de Newton. Einstein doit donc étendre sa réflexion et postule que la gravitation n'est plus une force exercée par un objet sur un autre, mais une déformation de la structure même de l'espace-temps.

Il faut imaginer l'Univers comme un tapis élastique. Si on y pose une masse – la Terre par exemple – ce tapis se déforme et se creuse, c'est la courbure de l'espace-temps.

déplace en ligne droite. Sauf qu'avec la déformation de l'Univers, les lignes droites deviennent des courbes.»

Cette prédiction est vérifiée par l'astrophysicien britannique Arthur Eddington en 1919, lors d'une éclipse solaire qui permet de mesurer la position d'étoiles situées derrière le Soleil. Celles-ci apparaissent effectivement légèrement décalées, comme l'avait prédit la théorie d'Einstein. «Cet effet de lentille gravitationnelle est beaucoup utilisé en cosmologie, explique Michele Maggiore. Une masse située entre la Terre et une galaxie va dévier les photons lumineux qui en proviennent. En fonction de la distorsion subie, l'image de cette masse – que l'on ne voit pas, car elle n'est pas lumineuse – peut être reconstituée. C'est ainsi que l'on a découvert la matière sombre.»

AVENIR EN CONSTRUCTION

Une fois la théorie élaborée et comprise, les physiciens ont cherché à intégrer les principes de la relativité à la mécanique quantique. Première étape avec la relativité restreinte qui a conduit à la théorie quantique des champs, qui permet de comprendre la physique des particules et de nombreux aspects de la physique de l'Univers primordial. «D'autres forces ont été découvertes dans la nature, comme les interactions entre les particules élémentaires, qui ont permis aux physiciens de construire un modèle, le Modèle standard, raconte le professeur. Utilisé tous les jours dans les expériences du CERN, celui-ci fonctionne admirablement et a encore été renforcé par la découverte récente du boson de Higgs.»

Reste à faire le lien entre la relativité générale et le monde quantique, avec une théorie plus complète. Si d'importants progrès conceptuels ont été réalisés ces dernières années, cet objectif paraît toutefois encore assez lointain. «Ces deux théories agissent de manière significative uniquement dans des conditions extrêmes, comme au moment du Big Bang, explique le professeur. Nous ne disposons pas de données expérimentales, il faut donc les conceptualiser.»

«Grâce aux travaux de ses prédécesseurs, Einstein se rend compte que notre Univers possède quatre dimensions, dont l'une est le temps»

rée avec l'horloge restée sur place.

Une dernière conséquence de la théorie d'Einstein – la plus connue – est que la matière (m) et l'énergie (E) sont équivalentes ($E=mc^2$). La formule explique ainsi pourquoi le Soleil brille: lors des réactions de fusion, une petite partie de la masse est transformée en énergie qui s'échappe sous forme de rayonnement.

EXTENSION GÉNÉRALE

Le concept de la relativité restreinte amène donc une nouvelle

«Avec Einstein, la manière de comprendre le mouvement des corps dans un champ de gravitation change complètement, explique Michele Maggiore. Dans le cadre newtonien, la Terre crée une force dans son voisinage que la Lune subit et qui lui donne le mouvement qu'on lui connaît, une trajectoire elliptique. La vision d'Einstein est beaucoup plus élégante: il n'y a plus de force de gravitation, la Terre déforme l'espace-temps autour d'elle et la Lune, qui ne subit aucune force, se

Quatre conférences publiques

Mardi 24 novembre

Ecouter l'Univers grâce aux ondes gravitationnelles
Alessandra Buonanno
(Institut Max Planck, Allemagne)

Mercredi 25 novembre

Au-delà de la relativité générale: pourquoi? comment?
Gabriele Veneziano
(CERN, Collège de France)

Jeudi 26 novembre

Qu'est-ce que le graviton?
Claudia de Rham (Case Western Reserve University, Etats-Unis)

Vendredi 27 novembre

Les mystères de la cosmologie moderne: énergie sombre et matière noire
Michele Maggiore
(Université de Genève)

| DU MARDI 24

AU VENDREDI 27 NOVEMBRE |

Les secrets de la gravitation 100 ans de relativité générale
Conférences de 1h, suivies d'une table ronde
Uni Dufour | 18h30

www.nccr-swissmap.ch/GR100

Einstein: la marche inexorable d'un génie vers la gloire

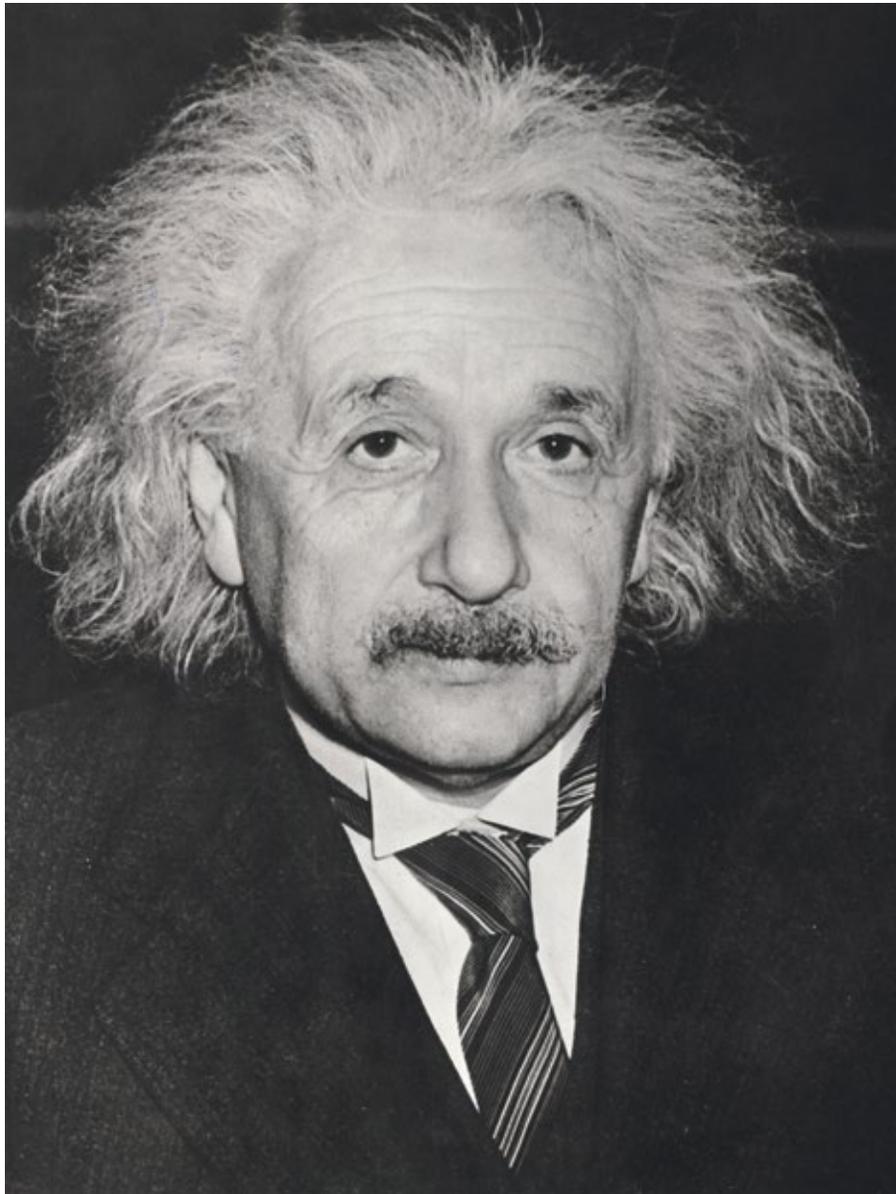
Spécialiste de la physique du XX^e siècle, Jan Lacki est professeur à l'Unité d'histoire et philosophie des sciences (Faculté des sciences). Il enseigne, entre autres, l'histoire de la relativité restreinte et celle de la relativité générale. Entretien

Les théories d'Albert Einstein ont bouleversé la vision du monde qu'on avait jusqu'à là. Mais c'est le fruit d'un long processus...

Jan Lacki: La relativité restreinte, qu'Einstein énonce en 1905, est le résultat d'un très long développement, qui prend ses racines dans les grands chamboulements de la physique du début du XIX^e siècle, dans l'électromagnétisme et les équations de Maxwell. Dès la dernière décennie du XIX^e siècle, des scientifiques comme Lorentz ou Henri Poincaré ne ménagent pas leurs efforts pour comprendre et expliquer le monde sur une base électromagnétique. L'émergence de certaines problématiques – l'électrodynamique des corps en mouvement – conduit alors Einstein vers la théorie de la relativité restreinte. Tous les éléments formels de la théorie étaient déjà là. L'œuvre d'Einstein est de les réinterpréter d'un point de vue totalement novateur. Mais cela n'aurait pas été possible sans le travail de ses prédécesseurs. C'est pour cette raison qu'Albert Einstein est régulièrement accusé injustement de plagiat ou attaqué pour ne pas avoir suffisamment cité ses sources dans son article de 1905.

Qu'en est-il de la relativité générale?

Avec la théorie de la relativité restreinte, Einstein ouvre une brèche dans la vision classique du monde. Il poursuit sur sa lancée pour intégrer la force de gravité à sa théorie. Il publie toute une série d'articles à ce sujet, dont le



Albert Einstein. Photo: The Art Archive/Culver Pictures/AFP

premier en 1907 qui énonce le principe d'équivalence, l'un des concepts fondamentaux de la relativité générale. Mais, occupé par la théorie quantique, Einstein fait une pause de deux ans dans ses travaux. Il reprend la réflexion dès 1909, et des contributions très importantes sont publiées en 1911 et 1913, dont une ébauche de la théorie définitive, en collaboration avec son collègue et ami de Zurich, Marcel Grossmann, qui l'aide pour la formulation mathématique

de ses idées. Suivent deux ans de doutes et de réflexion supplémentaire et, en 1915, Einstein comprend que sa vision initiale était correcte. Pour l'essentiel, il s'agit d'une création originale d'Einstein.

Quand le génie d'Einstein a-t-il été reconnu?

En 1905, Einstein publie trois autres articles fondamentaux en physique, dont l'un sur l'aspect corpusculaire de la lumière (aujourd'hui

les photons) pour lequel il obtiendra le Prix Nobel bien des années plus tard. Il jouit donc déjà d'une certaine notoriété auprès de ses pairs suite à cette année miraculeuse. A cet égard, c'est à Genève qu'il reçoit son premier doctorat *honoris causa* en 1909. A l'occasion des 350 ans de l'Université de Genève, Charles-Eugène Guye, directeur de l'Institut de physique, propose son nom. Bien que reconnu par ses pairs, Einstein n'obtient

pourtant pas immédiatement un poste professoral. Il lui faudra attendre 1909 pour intégrer l'Université de Zurich comme professeur associé. Il rejoint l'Université de Prague en 1911 comme professeur ordinaire, l'École polytechnique fédérale de Zurich en 1912, puis Berlin en 1914. Einstein acquiert une véritable stature médiatique en 1919, lors de l'observation de l'éclipse solaire qui permet de vérifier, dans des conditions rocambolesques, l'une des prédictions de sa théorie: la déviation des rayons de lumière au voisinage d'une masse comme le Soleil.

Einstein a-t-il apporté d'autres contributions significatives à la science?

Il est l'un des premiers à utiliser l'idée des quantas de Planck, un concept pas toujours pris au sérieux à l'époque. Einstein montre qu'on peut les utiliser pour mieux comprendre certains aspects de la physique. Il est donc, par bien des aspects, l'un des pères fondateurs de la physique quantique, avec Niels Bohr, même s'ils n'ont pas toujours été d'accord par la suite.

Y a-t-il eu à ce jour des découvertes comparables à celle d'Einstein?

En ce qui concerne les grands cadres d'explication de la physique, on s'appuie toujours sur les deux mêmes piliers: la théorie quantique et la théorie de la relativité. S'il n'y pas eu quelque chose de comparable pour provoquer un changement fondamental de notre manière de penser les phénomènes, de nombreuses découvertes ont permis d'améliorer de manière remarquable notre connaissance de l'Univers. Peut-être quelque chose d'équivalent à ce qui s'est passé au début du XX^e siècle est en cours, mais il faudra certainement du temps pour s'en rendre compte: nous manquons de recul. ■