



Après des premiers tests réalisés dans un camion (à Stanford aux États-Unis), un capteur inertiel atomique vient d'être utilisé pour la première fois pour enregistrer en continu l'accélération d'un avion en vol. Pour s'affranchir en partie de l'incertitude de mesure liée aux vibrations, nous avons combiné un accéléromètre atomique et des accéléromètres mécaniques. Si la mesure de l'interféromètre est très précise au sein d'une frange d'interférences, permettant de lire très finement la valeur de l'accélération des atomes sur cette frange, il est impossible de savoir sur quelle frange est faite la mesure si les vibrations sont trop importantes. L'accéléromètre mécanique joue le rôle de la graduation grossière d'un vernier ou d'un pied à coulisse : il permet de retrouver la frange d'interférences sur laquelle opère l'interféromètre.

Un tel capteur hybride, développé au prix d'un grand nombre d'innovations technologiques, a permis de mesurer l'accélération d'un avion avec une précision relative d'un trois centième (ce qui est excellent), et montré qu'il est possible d'améliorer les performances des accéléromètres embarqués usuels en les faisant fonctionner conjointement avec l'interféromètre atomique. Ce nouveau type de capteur devrait permettre de réaliser d'ici quelques années des systèmes de navigation inertielle mesurant toutes les composantes d'accélération et de rotation sans erreur.

Comprendre l'infiniment grand grâce à l'infiniment petit, tel est aujourd'hui un des autres défis de l'interférométrie à ondes de matière. En particulier, le principe d'équivalence d'Einstein – ou d'uni-



2. L'EXPÉRIENCE EMBARQUÉE dans l'Airbus ZERO-G pour tester le principe d'équivalence occupe une bonne partie de l'avion [a]. Les physiciens travaillent à la rendre plus compacte [b], leur objectif étant de la contenir dans un boîtier transportable de la taille d'une malle [c], afin de l'envoyer dans l'espace à bord d'un satellite.

versalité de la chute libre – est-il toujours valide à l'échelle quantique ? Ce principe est la pierre angulaire de la théorie de la relativité générale d'Einstein : il stipule que la masse d'un objet quelconque n'a pas de rôle dans son mouvement autour d'un astre ou, ce qui revient au même, que tous les objets tombent avec la même vitesse dans le vide (en l'absence de frottements de l'air) lorsqu'ils sont soumis à la pesanteur, quelles que soient leur masse ou leur composition interne.

Tester le principe d'équivalence

Ce postulat emblématique a toujours fasciné les scientifiques, de Galilée faisant chuter deux objets du haut de la tour de Pise à l'astronaute américain David Scott qui, lors de la mission *Apollo 15*, lâcha simultanément une plume et un marteau pour constater que les deux objets arrivaient au même moment sur le sol lunaire. Cette loi fondamentale a conduit Einstein à reformuler les lois de la gravitation de Newton : la théorie de la relativité générale, fruit de cette reformulation, jouit d'un succès incontestable depuis près d'un siècle, tant par les vérifications expérimentales de ses prédictions que par son élégance mathématique. Elle constitue un élément essentiel, par exemple, dans l'analyse des signaux de géolocalisation par GPS.

Cependant, cette théorie est aujourd'hui remise en question lorsque l'on essaye de combiner les propriétés de l'infiniment grand, à l'échelle de l'Univers où la gravitation joue un rôle majeur, et celles de l'infiniment petit, à l'échelle de l'atome où la description quantique prédomine. L'enjeu majeur de cette recherche est la compréhension des premiers instants de l'Univers, où des forces de gravitation intenses agissaient sur des échelles infiniment petites.

La théorie des cordes et de la gravitation quantique, construite pour unifier la théorie d'Einstein et la physique quantique, prévoit d'infimes déviations à l'universalité de la chute libre et, pour éprouver ce principe, des mesures ultraprécises sont nécessaires. Le test le plus précis compare aujourd'hui l'accélération de la Terre et de la Lune (de masse et de composition très différentes) soumises au champ de gravité du Soleil, en mesurant la distance Terre-Lune à l'aide d'un laser avec une précision de un centimètre. Sur Terre, des balances de torsion comparent l'effet de