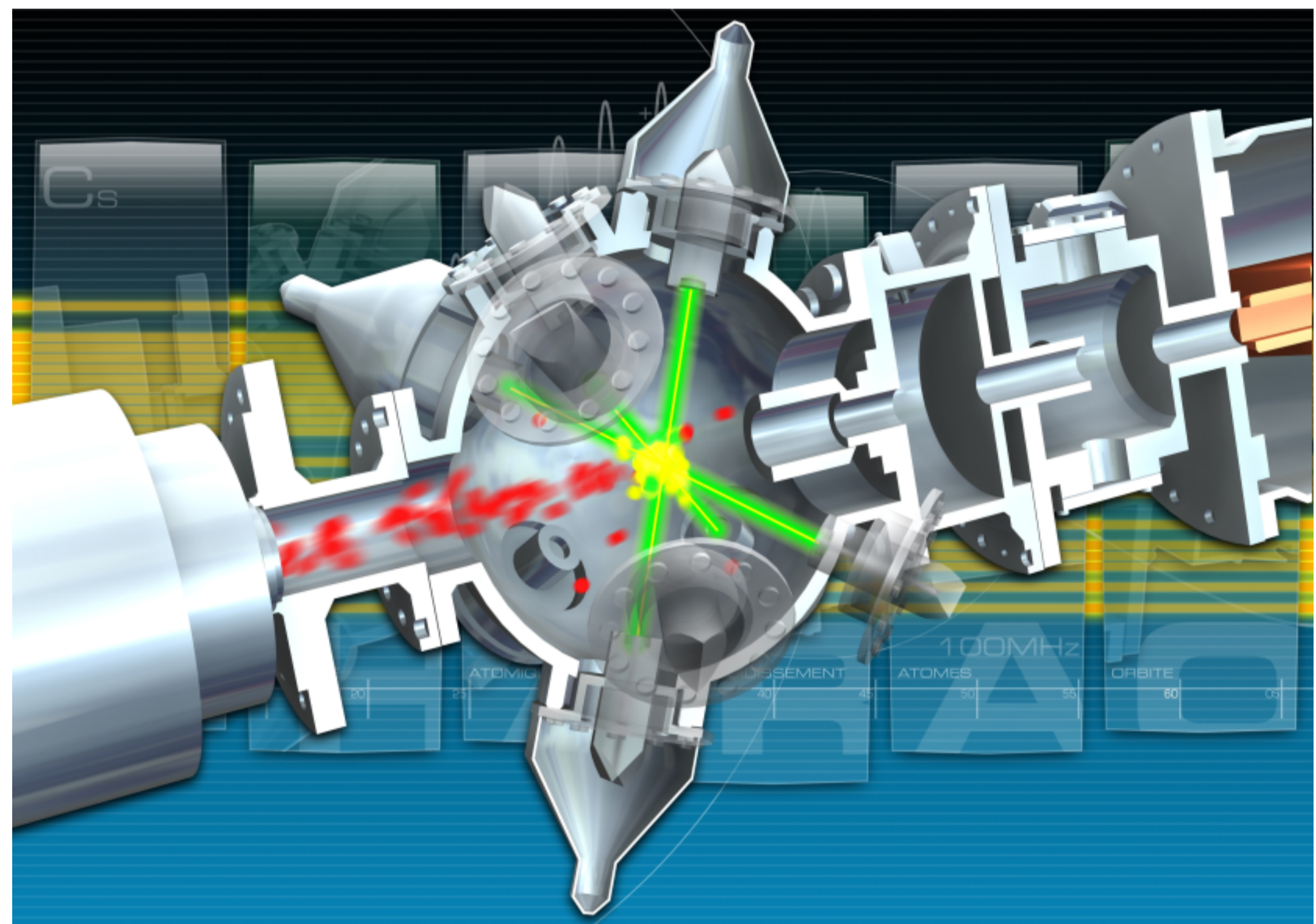
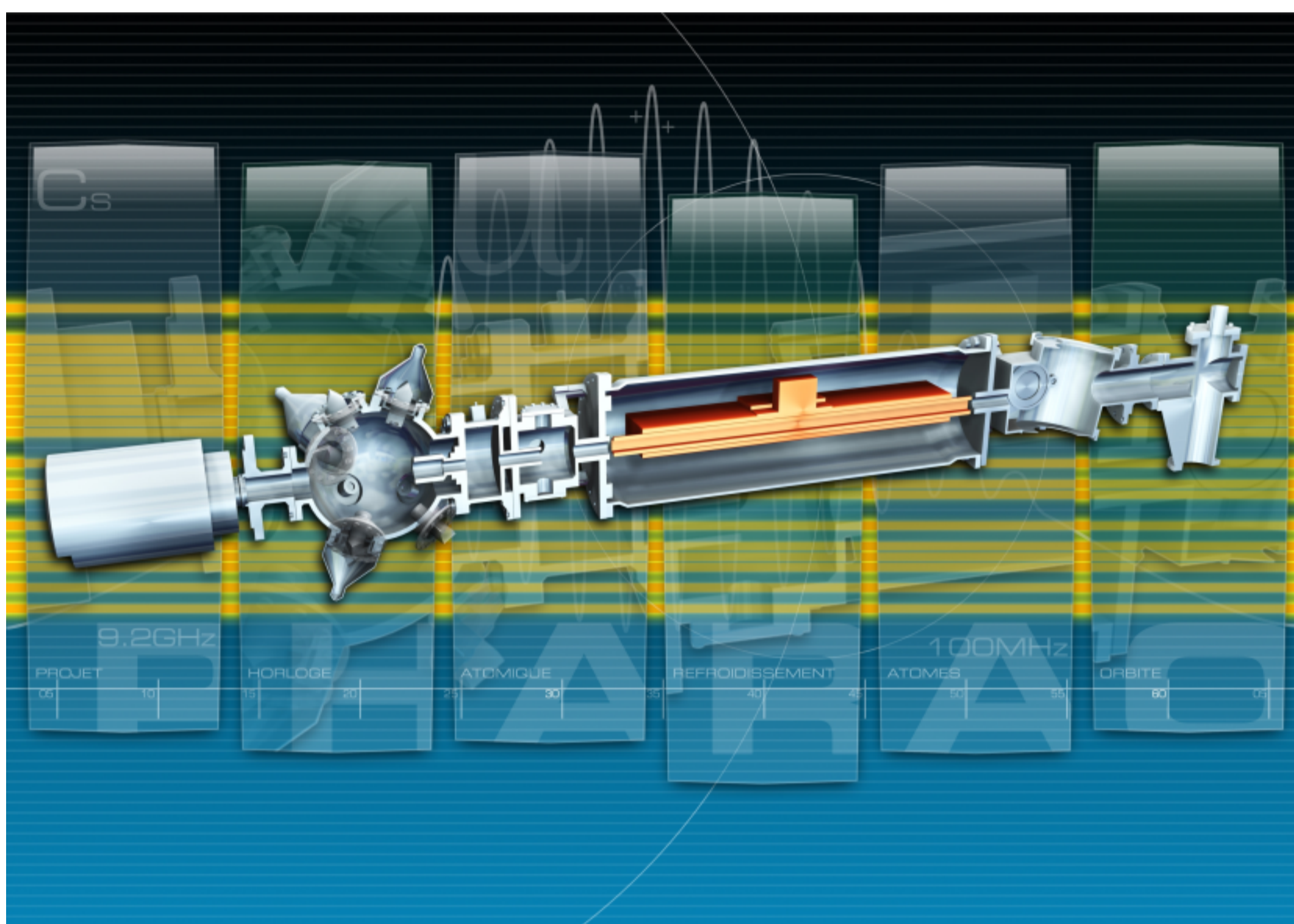


ZOOM SUR PHARAO / ACES

Pour élaborer la théorie de la Relativité Restreinte (1905), Einstein partit de deux observations : d'une part, les équations de Maxwell font apparaître une vitesse particulière (la vitesse de la lumière) en contradiction profonde avec la Relativité de Galilée mettant toutes les vitesses sur un même pied d'égalité. D'autre part, le résultat de l'expérience de Michelson et Morley vient confirmer expérimentalement l'existence de cette vitesse universelle de près de 300 000 km/s. Einstein, en utilisant les travaux de Lorentz et Poincaré proposa alors un changement de paradigme qui mélange espace et temps en une seule entité : l'espace-temps. C'est à partir de ce travail que la célèbre formule $E=mc^2$ voit le jour, lien entre la masse d'un objet et l'énergie qu'il contient.

La théorie de la Relativité Générale publiée en 1915 est une généralisation de la Relativité Restreinte. Cette nouvelle théorie décrit la gravitation comme l'effet de la courbure de l'espace-temps. Elle vient remplacer la gravitation classique comme la Relativité Restreinte avait remplacé la Mécanique Galiléenne. À l'époque, cette théorie reçut peu de soutien, et c'est une preuve du fonctionnement de la démarche scientifique : comme il n'était pas possible de la tester, il est normal que de nombreux chercheurs aient exprimé leur scepticisme ! De nombreuses preuves expérimentales sont cependant apparues au cours du XX^e siècle et ont validé cette théorie, dont très récemment la découverte des ondes gravitationnelles.



Illustrations Pharao : © CNES/ill./VOUILLON Jean, 2005

Le projet PHARAO / ACES va être déployé pour tester les prédictions de la Relativité Générale. ACES est une nouvelle génération d'horloge atomique qui profite de l'environnement en micropesanteur de l'ISS. La charge utile ACES distribuera une base de temps stable et précise qui sera utilisée comme référence pour les comparaisons de plusieurs horloges au sol avec ACES comme relai. Il s'agit d'une horloge atomique basée sur des atomes de césium refroidis par laser.

Fonctionnement d'une horloge atomique

Qu'est-ce qu'une horloge atomique ? Partons d'abord d'atomes, environ 100 millions, qui sont piégés à l'intersection de six faisceaux laser (deux dans chaque direction de l'espace). Dès que les atomes approchent du piège, ils sont vite refroidis, à 1 microKelvin ($\approx -273,15^\circ\text{C}$), et leur vitesse est de l'ordre du centimètre par seconde.

On sélectionne les atomes qui se trouvent dans un état quantique particulier, et on les transfère dans une cavité micro-ondes. Les atomes restants sont écartés.

Ceux sélectionnés vont interagir deux fois avec le champ micro-ondes, dans deux zones spatialement séparées dites de Ramsey*.

Après ces interactions, ils entrent dans la zone de détection où on mesure à nouveau l'état quantique des atomes. Comparer cette information à la donnée de l'état initial permet de mesurer précisément le temps mis pour faire une oscillation, et créer ainsi une référence des temps.

Comment refroidir les atomes avec des lasers ?

À température ambiante, les atomes et molécules ont des vitesses moyennes de l'ordre de 500 m/s, soit plus de 1500 km/h ! Les forces exercées par des faisceaux laser sur des atomes permettent de diminuer leur vitesse moyenne de déplacement (ralentissement) et leur vitesse d'agitation désordonnée (refroidissement).

Le faisceau laser exerce sur l'atome une force de pression de radiation considérable : l'accélération (ou la décélération) communiquée à l'atome est de l'ordre de 100 000 fois l'accélération de la pesanteur.

Utiliser une horloge atomique pour tester la Relativité Générale a pour avantage de bénéficier d'une stabilité intrinsèque des niveaux d'énergie d'un atome et de pouvoir en contrôler les mouvements.

Le refroidissement laser quant à lui va contribuer à ralentir la vitesse des atomes, ce qui va permettre de longs temps de mesure et d'avoir une observation fine des résonances.

* La méthode à deux zones d'interaction de N. Ramsey conduit à un signal d'interférences atomiques pour lequel l'écart entre franges d'interférence est inversement proportionnel au temps de vol des atomes entre les deux zones. Plus les atomes sont lents, plus les franges sont fines et meilleure sera l'horloge.