

COMMUNIQUÉ DE PRESSE

19 avril 2025

CP014-2025

Lancement de PHARAO le 21 avril 2025 dans le cadre de la mission ACES

Le lundi 21 avril 2025, PHARAO (Projet d'Horloge Atomique par Refroidissement d'Atomes en Orbite) deviendra la première horloge à atomes de césium refroidis en orbite autour de la Terre et intégrée dans un réseau de comparaison de temps. C'est une horloge ultra-précise, elle ne doit pas dériver de plus d'une seconde sur 300 millions d'années. L'objectif de cette expérience de physique fondamentale est de tester notamment la théorie de la relativité générale d'Albert Einstein. PHARAO fait partie de la mission ACES (Atomic Clock Ensemble in Space) de l'ESA qui sera lancée par SpaceX puis placé à l'extérieur du module Columbus de la Station spatiale internationale par le bras robotique.

Certains physiciens pensent qu'une « petite » déviation de la relativité générale est nécessaire pour assurer sa compatibilité avec le reste de la physique, et notamment la mécanique quantique. Cet effet étant minuscule, un instrument d'une grande exactitude est nécessaire pour le mesurer. Pour atteindre son exactitude de 10^{-16} en fréquence relative, PHARAO met en œuvre des principes de physique jusqu'alors inédits, comme la manipulation et le refroidissement d'atomes par laser, et dont la découverte a valu le prix Nobel de Physique à Claude Cohen-Tannoudji, du laboratoire Kastler Brossel, en 1997.

L'horloge utilise des faisceaux laser pour refroidir un nuage d'atomes de césium à des températures d'un milliardième de degré au-dessus du zéro absolu. Dans cet état, ils s'agitent très peu et se laissent ausculter avec la plus grande précision. L'horloge tire aussi parti de sa situation en impesanteur, qui permet de laisser les nuages d'atomes « chuter » beaucoup plus longtemps. Pour ne pas perturber ces atomes, le vide qui règne à l'intérieur de l'horloge doit être bien meilleur que le vide spatial qui règne à l'altitude où vole l'ISS. Le projet cumule un grand nombre de défis techniques.

Un déplacement concerne toujours une longueur et un temps. Au début du 20^e siècle, les théories de relativité restreinte et générale d'Albert Einstein ont profondément changé ces notions et ont montré qu'elles dépendent du repère dans lequel elles sont mesurées et du potentiel gravitationnel du lieu. Ainsi, en s'éloignant du sol, la gravité diminue, et le temps s'accélère. PHARAO, à bord de l'ISS vers 400 km d'altitude, permettra de mesurer ce décalage gravitationnel à un niveau sans précédent en comparant son temps avec les horloges des meilleurs laboratoires au sol. Son objectif consiste à porter la précision du décalage gravitationnel à un milliardième pour détecter un éventuel écart par rapport à ce que prévoit la théorie de la relativité générale.

Le CNES est maître d'œuvre de PHARAO, l'intégration et les tests du modèle de vol se sont déroulés au Centre spatial de Toulouse en 2014. Le CNES est également impliqué dans l'expérience ACES à travers le CADMOS (Centre d'aide au développement des activités en micropesanteur et des opérations spatiales). Une fois l'ensemble accroché à l'ISS, ce sont les ingénieurs du CADMOS qui opéreront depuis Toulouse cette expérience dédiée à la mesure du temps.

En amont de ce lancement, Didier Massonnet, Chef de projet PHARAO au CNES, a déclaré : « Ce lancement est l'aboutissement d'un travail de presque 30 ans. Au-delà des résultats qu'il va produire, très attendus par

la communauté scientifique, PHARAO rappelle l'implication et le savoir-faire du CNES en matière de physique fondamentale, son expertise, via le CADMOS, en termes de suivi d'expériences scientifiques et technologiques menées en micropesanteur. Dans un domaine clé pour la compétitivité des industriels du secteur, le CNES a apporté tout son soutien au tissu industriel et scientifique français. Go PHARAO ! »

Plusieurs laboratoires du CNRS ont participé à ce projet depuis son début, notamment, les laboratoires Laboratoire Temps-Espace (Observatoire de Paris-PSL) et Kastler Brossel (ENS). Ils ont été en charge de définir, réaliser et tester cette expérience et seront en charge de l'analyse des mesures.

« Ce projet, qui s'est construit sur de nombreuses années, n'aurait pu aboutir sans la considérable persévérance des chercheurs et ingénieurs impliqués. Cette expérience va permettre de démontrer encore une fois l'excellence de nos laboratoires pour une mission qui a nécessité des transferts de technologies extrêmement complexes vers des industriels du spatial, combinés avec une maîtrise profonde du lien entre les aspects techniques et les objectifs de physique fondamentale de la mission. » déclare François Leblanc, Délégué Scientifique Affaires Spatiales au CNRS.

Le Laboratoire Temps-Espace (LTE) de l'Observatoire de Paris-PSL, impliqué dès le début du projet PHARAO dans le cadre de la mission ACES, a participé à toutes les étapes de son développement. Après avoir conçu et testé le prototype de l'horloge en micropesanteur à bord de l'avion Og du CNES, les équipes du LTE ont joué un rôle clé dans les tests environnementaux et de performance réalisés au CNES. Le laboratoire est également en charge des opérations des horloges au sol et de leur synchronisation avec les terminaux micro-ondes situés sur les bâtiments de l'Observatoire. Sur le plan scientifique, le LTE est responsable de l'analyse des données, depuis les données micro-ondes brutes jusqu'aux produits scientifiques finaux.

« L'Observatoire de Paris-PSL se réjouit de ce lancement, qui marque l'aboutissement de plusieurs années d'efforts collectifs. PHARAO représente une avancée majeure pour la physique fondamentale et la métrologie de haute précision. Le Laboratoire Temps-Espace (LTE) poursuit son engagement à repousser les limites des théories actuelles, en développant des instruments permettant d'explorer l'espace-temps avec une précision inédite. » a ajouté Fabienne Casoli, Présidente de l'Observatoire de Paris-PSL

À propos du CNES

Le CNES (Centre National d'Études Spatiales) est l'établissement public chargé de proposer au Gouvernement la politique spatiale française et de la mettre en œuvre au sein de l'Europe. Il conçoit et met en orbite des satellites et invente les systèmes spatiaux de demain ; il favorise l'émergence de nouveaux services, utiles au quotidien. Le CNES, créé en 1961, est à l'origine de grands projets spatiaux, lanceurs et satellites et est l'interlocuteur naturel de l'industrie pour pousser l'innovation. Le CNES compte près de 2 400 collaborateurs, femmes et hommes passionnés par cet espace qui ouvre des champs d'application infinis, innovants et intervient sur cinq domaines d'intervention : Ariane, les sciences, l'observation, les télécommunications, la défense. Le CNES est un acteur majeur de l'innovation technologique, du développement économique et de la politique industrielle de la France. Il noue également des partenariats scientifiques et est engagé dans de nombreuses coopérations internationales. La France, représentée par le CNES, est l'un des principaux contributeurs de l'Agence spatiale européenne (ESA).

À propos du CNRS

Acteur majeur de la recherche fondamentale à l'échelle mondiale, le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) est le seul organisme français actif dans tous les domaines scientifiques. Sa position singulière de multi-spécialiste lui permet d'associer les différentes disciplines scientifiques pour éclairer et appréhender les défis du monde contemporain, en lien avec les acteurs publics et socio-économiques. Ensemble, les sciences se mettent au service d'un progrès durable qui bénéficie à toute la société.

À propos de l'Observatoire de Paris

Fondé en 1667, l'Observatoire de Paris-PSL est depuis plus de 350 ans un centre d'innovation et de découvertes en astronomie. Fort de 750 chercheurs et enseignants-chercheurs, ingénieurs, techniciens et personnels administratifs, l'établissement mène sur ses 3 campus des recherches en astrophysique, physique, ingénierie et métrologie du temps et de l'espace. Celle-ci s'organise autour de cinq unités de recherche affiliées au CNRS et à d'autres partenaires. Parmi elles, le Laboratoire Temps-Espace (LTE, Observatoire de Paris - PSL / CNRS / Sorbonne Université - Laboratoire National de Métrologie et d'Essais ; Université de Lille) est un laboratoire pluridisciplinaire qui explore les thématiques du temps, de l'espace et de l'histoire des sciences. Il est notamment chargé d'établir et de diffuser la valeur locale du Temps Universel Coordonné, et, conjointement avec le Bureau des longitudes, de produire et de publier les éphémérides astronomiques de référence en France.

CONTACTS

Nathalie Blain

Tél. 01 44 76 75 21

nathalie.blain@cnes.fr

Pascale Bresson

Tél. 01 44 76 75 39

pascale.bresson@cnes.fr

Raphaël Sart

Tél. 01 44 76 74 51

raphael.sart@cnes.fr

Fabien Fichet

Tél : 01 40 51 21 55

fabien.fichet@observatoiredeparis.psl.eu

Presse CNRS

Tél : 01 44 96 51 51

presse@cnrs.fr