



Contribution du groupe de Physique Fondamentale

Luc Blanchet

Gravitation et Cosmologie (GReCO)
Institut d'Astrophysique de Paris

Composition du groupe de PF

Sylvie Léon (CNES)

Marie-Christine Angonin, Pierre Binétruy, Alain Blanchard, Philippe Bouyer, Bruno Christophe, Noël Dimarcq, Jacques Dumarchez, Agnès Fienga, Ericourgoulhon, Nary Man, Serge Reynaud, Peter Wolf



GRANDES QUESTIONS SCIENTIFIQUES



La frontière entre Mécanique Quantique et Gravitation

- ◆ Il s'agit de rechercher de nouveaux moyens d'accès à une physique nouvelle qui interviendrait :
 - ◆ A la frontière entre la mécanique quantique et la relativité générale, résultant d'une unification entre la gravitation et les autres interactions fondamentales
 - ◆ Et/ou dans la description des constituants fondamentaux de l'Univers à grande échelle (énergie noire et matière noire)
- ◆ Les tentatives d'unification conduisent à l'existence de champs nouveaux se superposant à la relativité générale



Lien avec les Sciences de l'Univers

- ◆ PLANCK pour la mesure des anisotropies du fond cosmologique de rayonnement diffus
- ◆ EUCLID pour la caractérisation de l'énergie noire et de la distribution de la matière noire aux grandes échelles
- ◆ GAIA pour la distribution de matière noire dans notre Galaxie
- ◆ eLISA et ATHENA pour la physique des trous noirs et des corps compacts



Lien avec la Physique des Particules

- ◆ Le modèle standard de la physique des particules est incomplet au vu des observations en cosmologie, dont le scénario Λ -CDM rend très bien compte, mais au prix de la matière noire non baryonique et de l'énergie noire
- ◆ Il a ses propres déficiences
 - ◆ un groupe de jauge non simple $U(1) \times SU(2) \times SU(3)$
 - ◆ une vingtaine de paramètres libres
 - ◆ le problème de la hiérarchie des échelles d'unification



Trois grands moyens identifiés

- ◆ Les tests du principe d'équivalence et de ses diverses facettes comme le décalage gravitationnel des fréquences (effet Einstein)
- ◆ Les tests de la relativité générale dans le Système Solaire (mesure des paramètres β et γ)
- ◆ Les observations du rayonnement gravitationnel

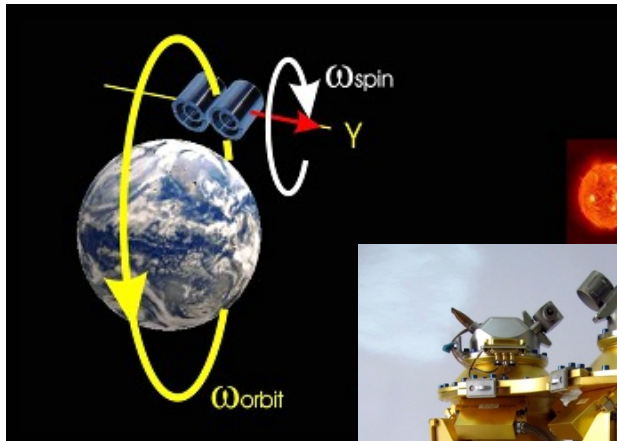


BILAN DEPUIS LE DERNIER SEMINAIRE



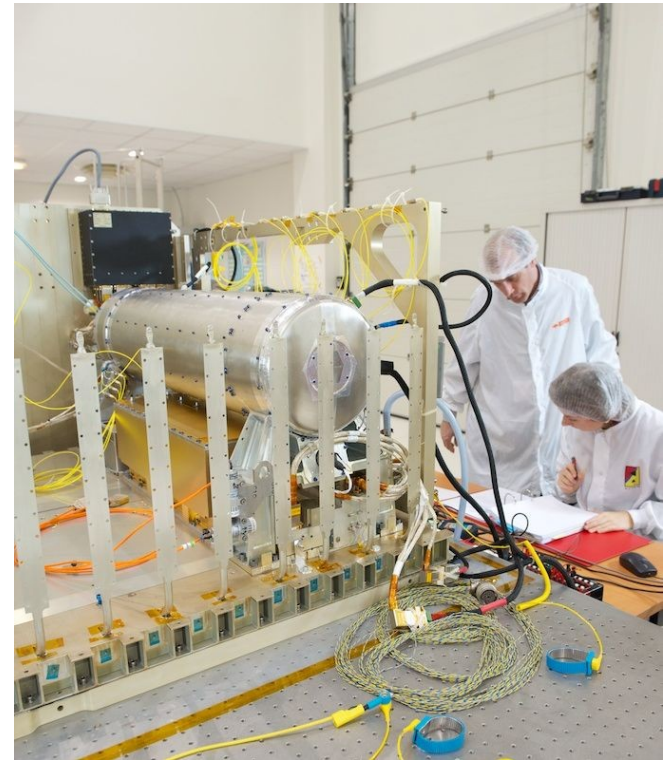
MICROSCOPE et PHARAO/ACES en 2016

- ◆ MICROSCOPE testera le Principe d'Equivalence au niveau de 10^{-15}



accéléromètres
(modèles de vol)

- ◆ PHARAO/ACES testera l'effet Einstein au niveau de 10^{-6}



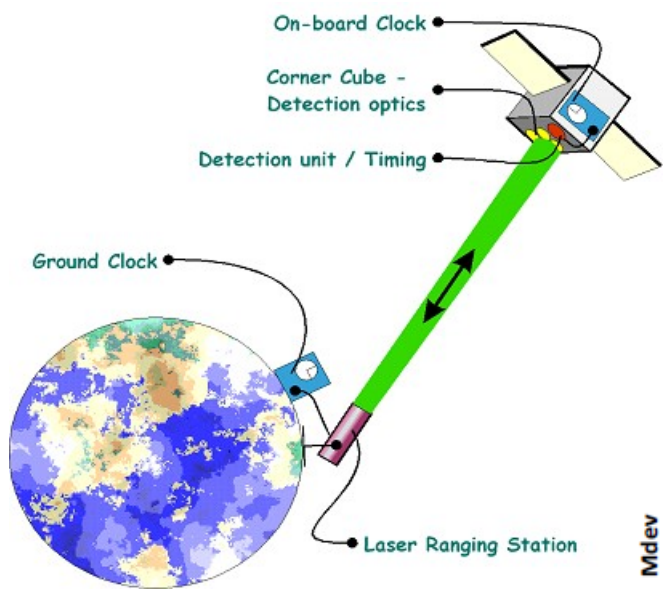
horloge
(modèle de vol)



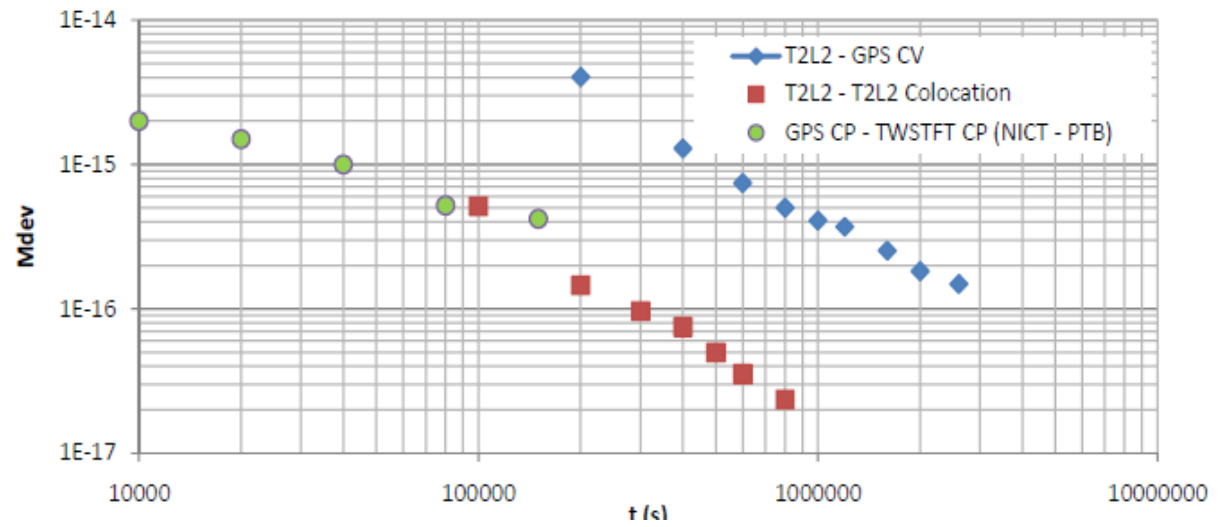
Télémétrie laser T2L2

(Transfert de Temps par Lien Laser)

- ◆ T2L2 est embarqué sur le satellite d'altimétrie Jason-2 depuis 2008 et permet des mesures précises de distance avec les satellites et des comparaisons d'horloges au sol



- ◆ La stabilité en fréquence relative de comparaison d'horloges descend maintenant au-dessous de 10^{-16} sur le long terme, et la précision en temps est meilleure que 100 ps

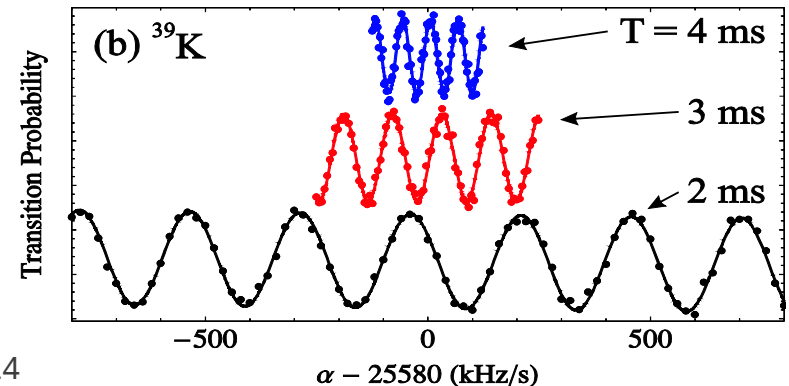
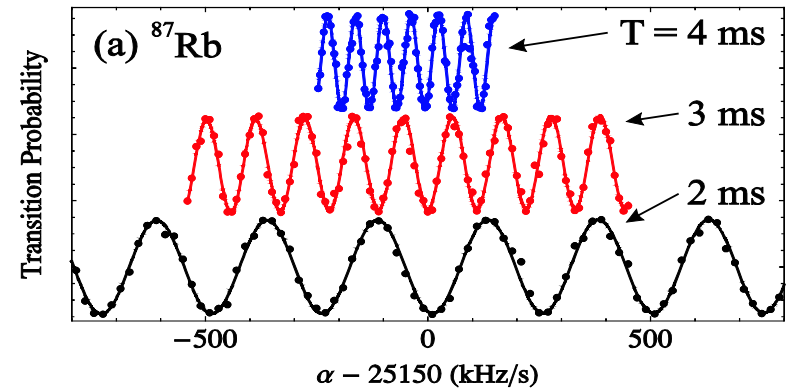
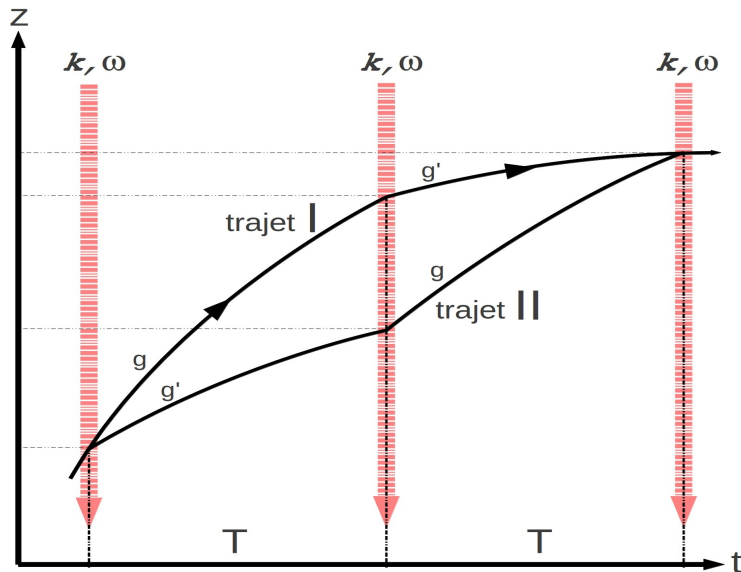




L'interférométrie atomique pour l'espace ICE

- ICE mesure l'accélération d'atomes de rubidium refroidis par laser et a été testé avec succès en vol parabolique dans l'avion 0g
- Le piégeage simultané de deux espèces atomiques (Rb et K) a été démontré et le test du principe d'équivalence va être réalisé

franges d'interférences
(Rb et K)





Organisation et structuration de la communauté

- ◆ Mise en place du Science Working Group de **MICROSCOPE**
- ◆ Redéfinition et réorganisation de **LISA** → **eLISA**
- ◆ Rôle joué par les scientifiques français dans l'analyse des données radioscience de **JUICE**
- ◆ Organisation de l'interface entre :
 - ◆ Éphémérides planétaires (INPOP)
 - ◆ Modèles alternatifs de gravitation
 - ◆ Théorie et relativité numérique pour les ondes gravitationnelles
- ◆ Création de l'action spécifique **GRAM** dans le cadre de l'INSU



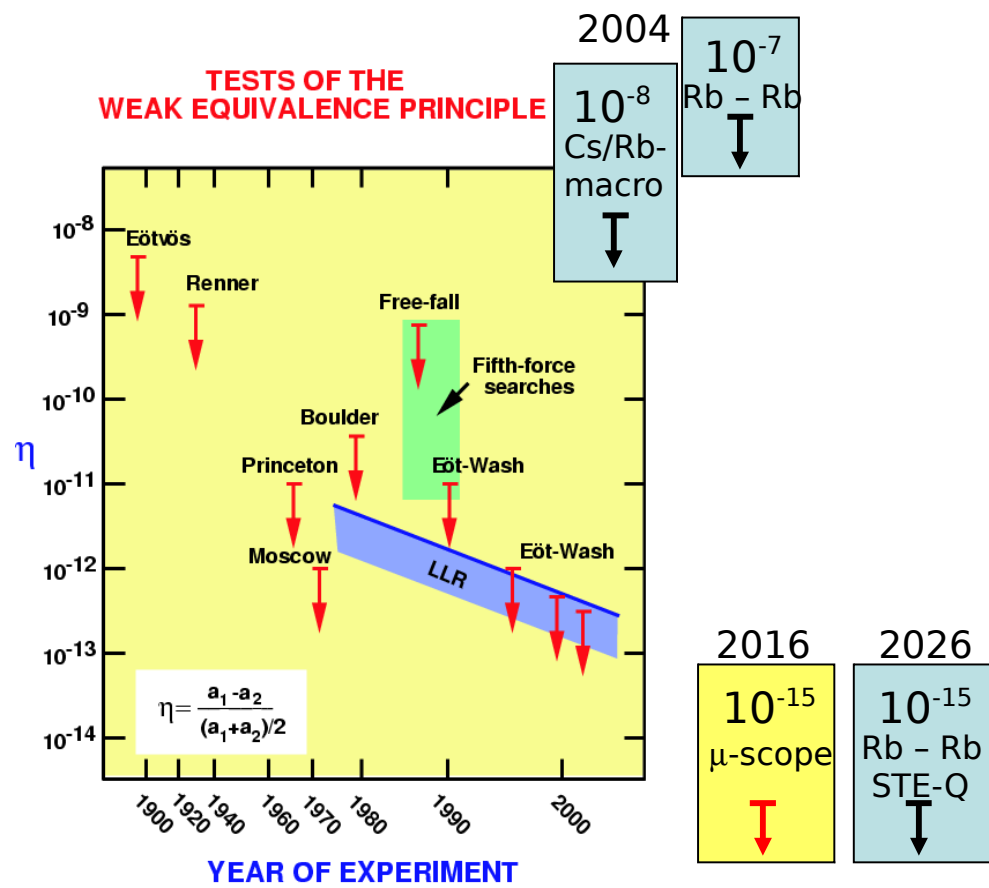
PROSPECTIVE POUR LE PROCHAIN SEMINAIRE

Limites expérimentales sur le Principe d'équivalence



10^{-3}
n-macro
COW
↓
1975

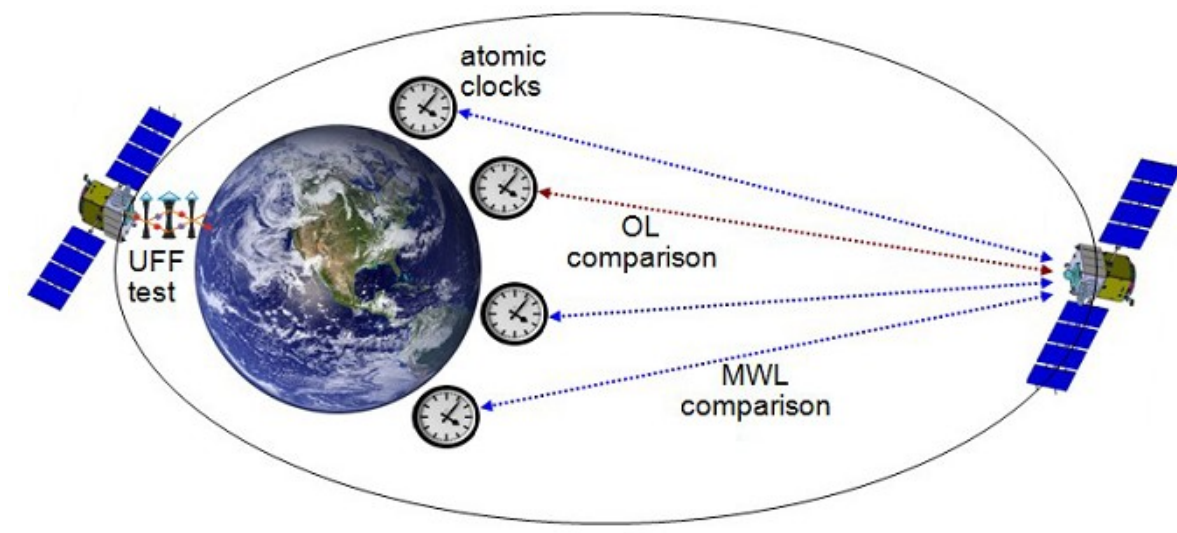
10^{-2}
H - Hbar
CERN
↓
2016+





STE-QUEST

Space-Time Explorer and Quantum Equivalence Space Test



◆ Intérêt scientifique fort des tests du Principe d'Equivalence au niveau quantique

- ◆ Principe d'Equivalence entre deux isotopes du Rb au niveau 10^{-15}
- ◆ Mesure de l'effet Einstein dû à la Lune et au Soleil
- ◆ Comparaison d'horloges sol sur des distances intercontinentales



Données de navigation et éphémérides planétaires

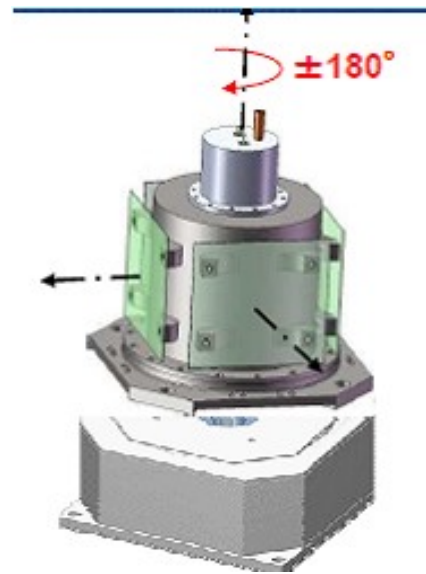
- ◆ Meilleure mesure de γ obtenue avec les données de navigation de CASSINI
- ◆ Meilleure mesure de β obtenue grâce aux éphémérides planétaires
- ◆ La précision des éphémérides modernes repose en grande partie sur les données de navigation



Les données de navigation (range et doppler) des missions interplanétaires futures ont vocation à être systématiquement exploitées scientifiquement



GAP (Gravity Advanced Package)

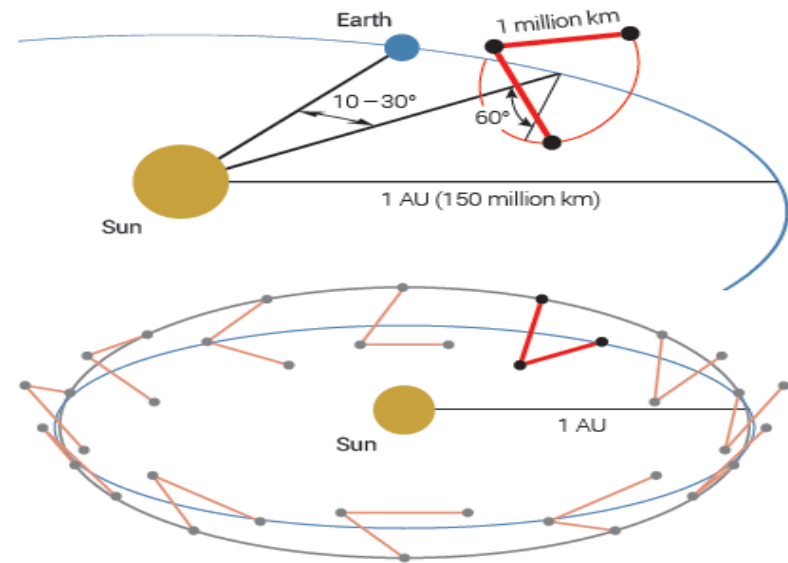
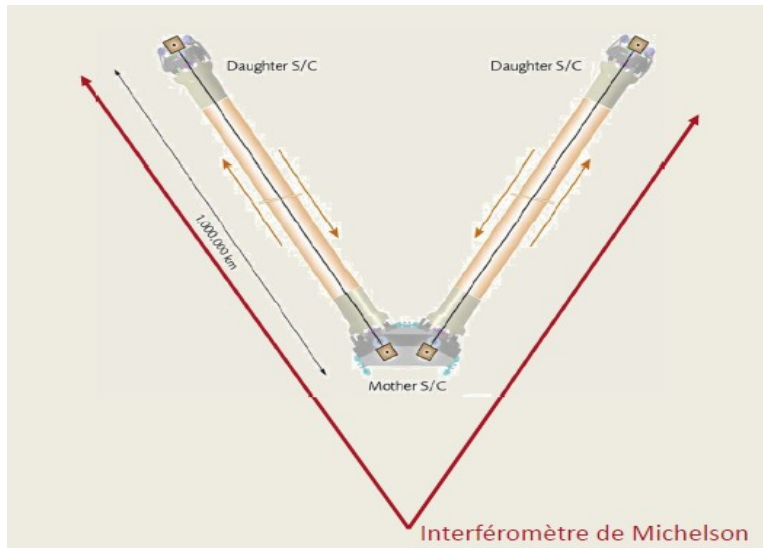


- ◆ **Les mesures d'accélérométrie sont complémentaires des données de radio-science et donnent accès à l'accélération purement gravitationnelle de la sonde**
- ◆ L'emport sur une mission interplanétaire de GAP (précision 10^{-11} m/s²) permet
 - ◆ En phase orbitale: description du champ de gravité de la planète et des satellites
 - ◆ En phase de survol: dynamique de la sonde et de la planète survolée
 - ◆ En phase de croisière: caractérisation de la loi de gravitation du Soleil



Ondes gravitationnelles

- ◆ Systèmes binaires évolués dans notre Galaxie
- ◆ Objets compacts stellaires en orbite autour de trous noirs massifs
- ◆ Coalescences de systèmes binaires de trous noirs supermassifs
- ◆ Transition de phase du premier ordre dans l'Univers primordial
- ◆ Tests des théorèmes sur les trous noirs et tests cosmologiques



l'interféromètre eLISA



eLISA et LISA-Pathfinder

L'intérêt scientifique considérable des ondes gravitationnelles dans l'espace a motivé le choix du thème "Univers Gravitationnel" pour L3

- ◆ eLISA sera principalement basé sur les technologies qui auront été démontrées par LISA-Pathfinder au point de Lagrange L1 à partir de 2015
- ◆ Au sein du consortium eLISA la France aura la responsabilité
 - ◆ du futur centre de traitement des données
 - ◆ de l'intégration avec les tests de performance au niveau système



Lisa-Pathfinder
module Science et
module propulsion



Recommandations

Priorités scientifiques

- ◆ **eLISA** (dans le cadre de L3) pour l'observation du rayonnement gravitationnel à basses fréquences
- ◆ **STE-QUEST** (en vue de M4 ou M5) pour le test quantique du principe d'équivalence
- ◆ **GAP** pour la mesure du champ de gravitation du Soleil et des planètes sur une mission d'opportunité

Recommandations supplémentaires

- ◆ **Phase 0** pour l'étude de la charge utile de eLISA
- ◆ **Développements R & T** pour l'interférométrie atomique dans l'espace et les liens optiques
- ◆ **Etude de faisabilité** pour l'emport d'horloges optiques sous ballon et le test du redshift