

Groupe Thématique Physique Fondamentale

Anne Amy-Klein, Pierre Astier, Andrea Bertoldi, Martin Boutelier (thématicien), Philippe Brax, Frédéric Cleva, Clément Courde, Christophe Leponcin-Lafitte, Antoine Petiteau (président), Manuel Rodrigues, Peter Wolf

Rappel des grandes questions scientifiques en physique fondamentale

Grandes
questions

Q1 IDENTIFIER ET CONTRAINDRE
LES MODÈLES UNIFIANT LA
RELATIVITÉ GÉNÉRALE ET LES
THÉORIES QUANTIQUES

Q2 IDENTIFIER LES
CONSTITUANTS DE
L'UNIVERS À GRANDE
ÉCHELLE

Comment ?

Test des violations prédites par les
théories d'unification

Matière noire et énergie
noire

Ondes gravitationnelles
(OGs)

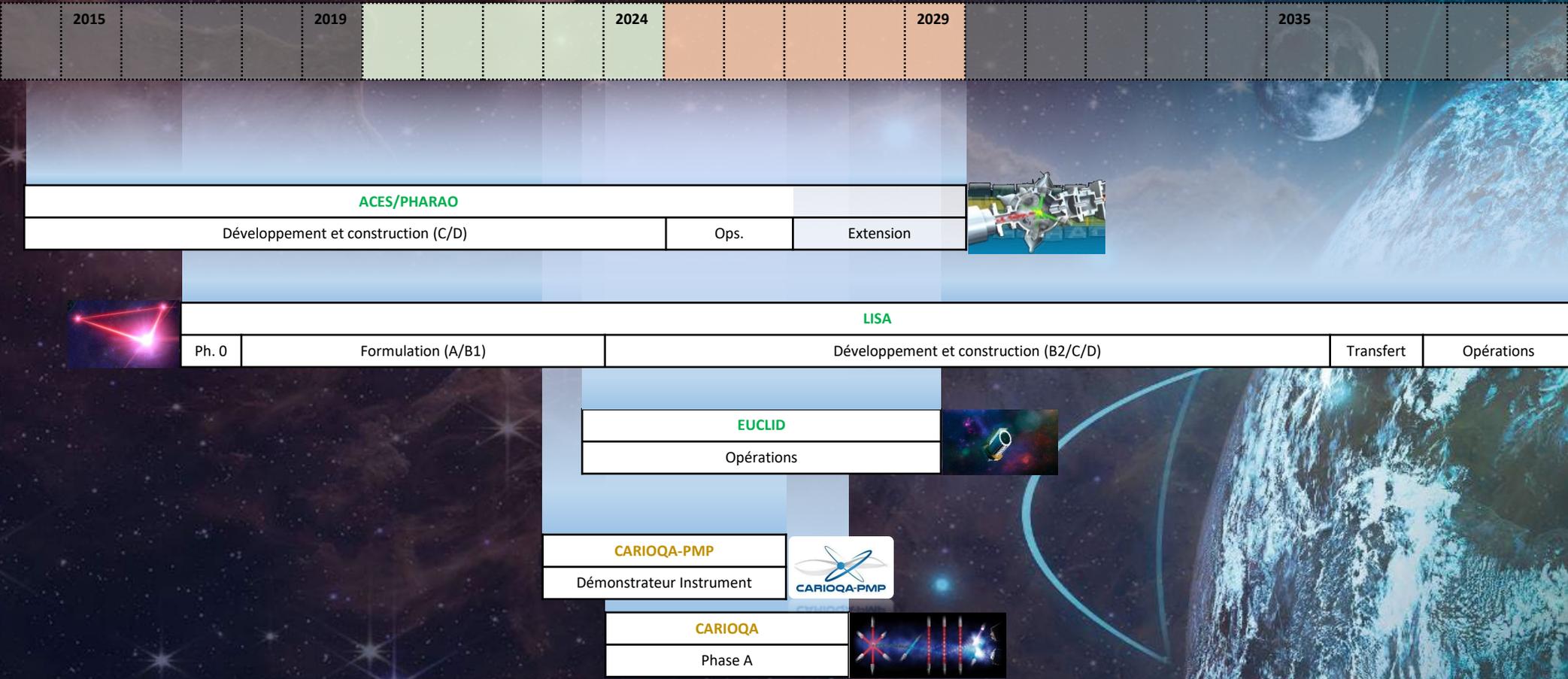
Bilan en 2024

- Violation du principe d'équivalence exclue à 10^{-15}
- Amélioration de 3 ordres de grandeur sur la violation de la symétrie Lorentz/CPT
- Masse du graviton $< 1,01 \times 10^{-24} \text{ eVc}^{-2}$

- Exclusion de nombreux scénarios et candidats de matière noire
- Observations compatibles avec un Univers Λ CDM

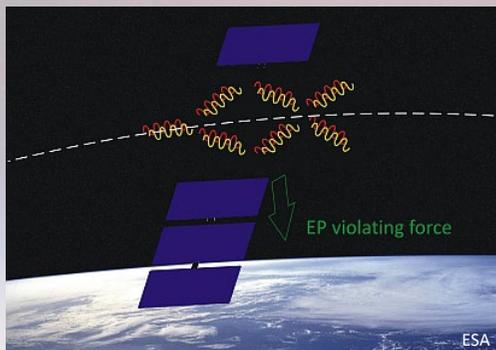
- Etude des trous noirs
- Sources exotiques
- Tests de Relativité Générale en champ fort

Situation programmatique de la physique fondamentale



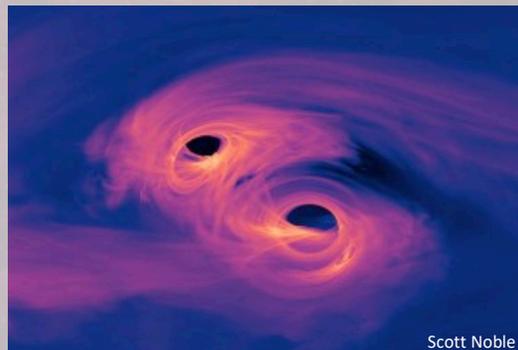
Argumentaire des recommandations

POUR RÉPONDRE À Q1 « IDENTIFIER ET CONTRAINDRE LES MODÈLES UNIFIANT LA RELATIVITÉ GÉNÉRALE ET LES THÉORIES QUANTIQUES »



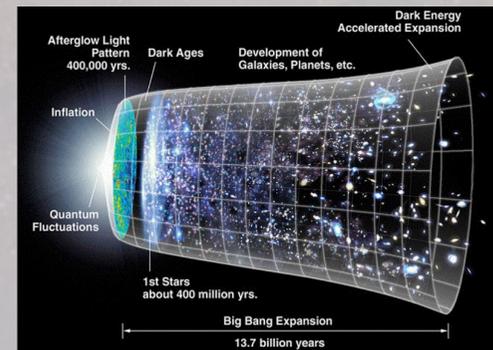
Améliorer les tests du principe d'équivalence :

Mesure directe et répétée d'une potentielle violation sur différents corps et masses (atomes, masses d'épreuve, petits corps ou planètes)



Etudier la gravitation en champs forts et à grandes échelles

Observation des trous noirs supermassifs

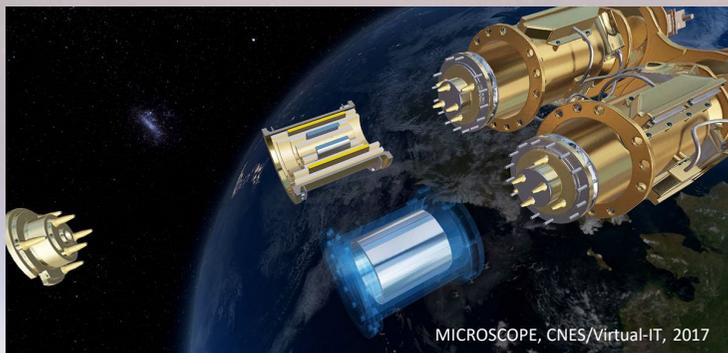


Etudier l'Univers jeune:

Accès à la physique des hautes énergies bien au-delà de tout accélérateur imaginable, domaine potentiel pour une nouvelle physique

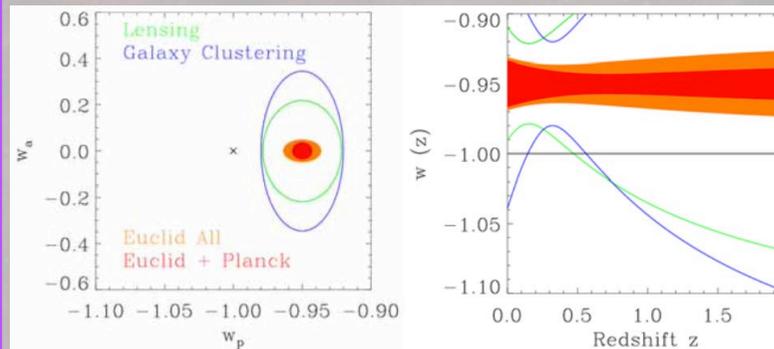
Argumentaire des recommandations

POUR RÉPONDRE À Q2 « IDENTIFIER LES CONSTITUANTS DE L'UNIVERS À GRANDE ÉCHELLE »



Rechercher une signature directe de la matière noire :

Oscillation résonnante entre des masses d'épreuve en chute libre



Etudier et contraindre les différents modèles cosmologiques:

Combinaison de mesures effectuées par de multiples moyens d'observation

R&T prioritaires pour la physique fondamentale

- **Métrologie** de l'espace et du temps
- En particulier les **développements de l'interférométrie quantique (CARIOQA)**

- **Traitement des données**
 - Compétences :
 - Analyse bayésienne à grand nombre de paramètres, IA, démixage de signaux,
 - Flexibilité et modularité des chaînes d'analyse, cycle court entre prototypage et production
 - Communauté :
 - LISA (analyse de données sous responsabilité française)
 - Infrastructure :
 - Fermes de calcul mutualisé CPU-GPU, distribution de calcul sur de nombreuses infrastructures
 - Impact environnemental :
 - Effort de minimisation de l'impact (nouvelles infrastructures, optimisation de codes, suivi)

Prospectives : priorités

Amélioration du test du principe d'équivalence : *priorité majeure*

Mesure de différence d'accélération des atomes aux planètes

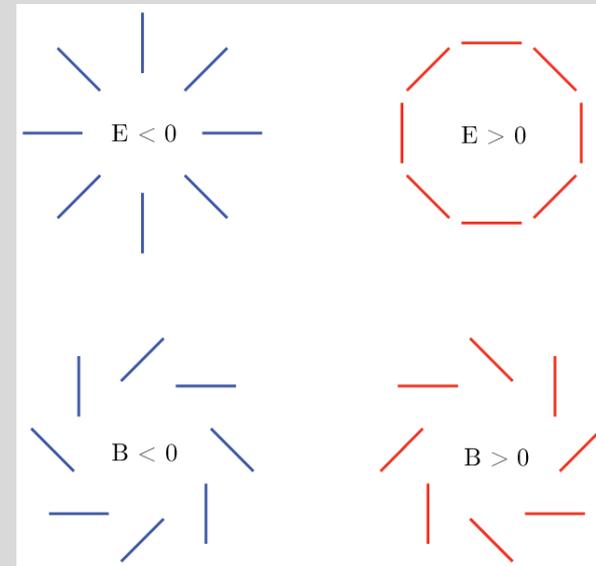
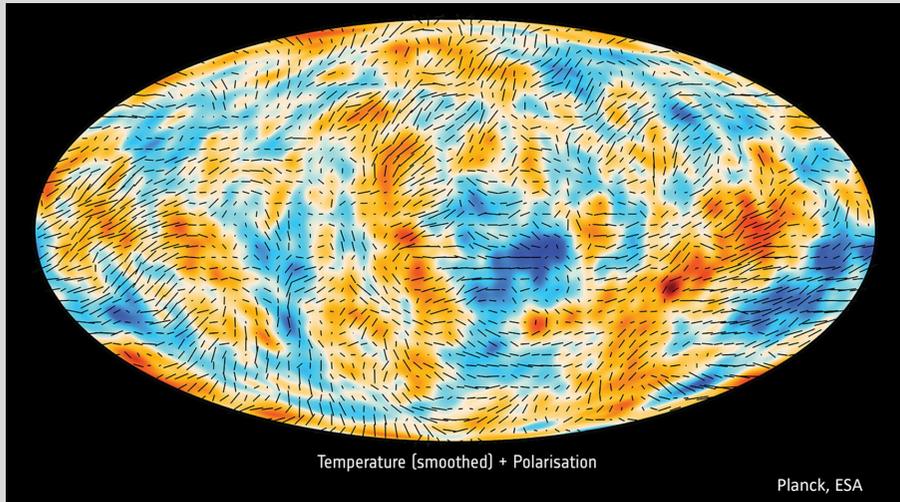
Prospectives : priorités

Amélioration du test du principe d'équivalence : *priorité majeure*

Mesure de différence d'accélération des atomes aux planètes

Recherche de la preuve de l'inflation : *priorité majeure*

Détection des modes B aux grandes échelles



Prospectives : priorités

Amélioration du test du principe d'équivalence : *priorité majeure*

Mesure de différence d'accélération des atomes aux planètes

Recherche de la preuve de l'inflation : *priorité majeure*

Détection des modes B aux grandes échelles

Etude de physique fondamentale avec de nouvelles classes de source d'ondes gravitationnelles et des observations multi-bandes : *priorité substantielle*

Observations de sources d'ondes gravitationnelles au μHz et au $\text{d}\text{c}\text{iHz}$ (fonds stochastiques multi-bandes d'origine primordiale, harmoniques des trous noirs super-massifs et des binaires à rapport de masses intermédiaires, etc)

Test de gravité dans le système solaire: *priorité substantielle (déjà présente dans la précédente prospective)*

Mesures des accélérations et des champs de gravité

Cartographie du champ de gravité dans le système solaire

Question fondamentale	Objectif scientifique	Observable/type de mesure	Exemple de cadre de réalisation avec phase	R&T
UNIFIER LA RELATIVITÉ GÉNÉRALE ET LES THÉORIES QUANTIQUES ?	Comment réconcilier mécanique quantique et relativité générale ?	Mesures de différences d'accélération des atomes aux planètes pour tester le principe d'équivalence Majeure	MICROSCOPE2 (actuellement en phase 0)	Amélioration des techniques de mesure de distance (laser lune) Amélioration des techniques de mesure de temps (lien de transfert de temps) Miniaturisation des accéléromètres Dév. interférométrie quantique (CARIOQA)
	Nouvelle physique : Que nous apprennent l'Univers très jeune (inflation) ou les phénomènes les plus violents de l'Univers ?	Détection des modes B comme preuve de l'inflation Majeure	LiteBIRD (actuellement en phase A)	
	La relativité générale décrit-elle bien la gravitation (à grande distance ; en champ fort) ?	Détection d'ondes gravitationnelles au μHz et au $\text{d}\text{c}\text{i}\text{Hz}$ Substantielle	Interféromètre type LIGO/VIRGO sur la lune Constellation de satellites (type DECIGO)	Veille (sujet très prospectif)
DÉCRIRE LES CONSTITUANTS DE L'UNIVERS À GRANDE ÉCHELLE ?	Nature de la matière noire et de l'énergie noire ?	Mesures de différences d'accélération des atomes aux planètes Majeure	MICROSCOPE2 (actuellement en phase 0)	
				Développement de l'interférométrie quantique

Merci

