

COMITE D'EVALUATION DE LA RECHERCHE ET DE L'EXPLORATION SPATIALE (CERES) DU CNES

Sciences de l'Univers et Exploration

Bilan du comité : Introduction

- ❖ Présidente sortante : Athena Coustenis
- ❖ Présidente entrante : Nabila Aghanim
- ❖ Responsables du programme Science de l'Univers et Exploration :
Olivier La Marle et Jean Blouvac
- ❖ Membres : Aghanim Nabila (membre expert), Amsif Kader,
Boutelier Martin, Bret-Dibat Thierry, Coustenis Athena
(Présidente), Decourchelle Anne (membre expert), Gauquelin-
Koch Guillemette, Grasset Olivier (membre expert), Pedro
Marques Joao, Kretzschmar Matthieu, Lallement Rosine (membre
expert), Laudet Philippe, Morbidelli Alessandro, Morel Jean-Luc,
Mustin Christian, Petiteau Antoine, Petrelis François, Rocard
Francis, Szopa Cyril

Plan

- Le CERES en 2024
- Les grandes questions scientifiques actuelles
- Quelques éléments de contexte
- Aperçu de quelques faits marquants

Grands thèmes et défis scientifiques en Sciences de l'Univers & Exploration

- ❖ Lois de la physique gouvernant l'Univers (*PF+AA*)
- ❖ Origine et évolution de l'Univers (*AA+PF*)
- ❖ Fonctionnement global du système Soleil-planètes (*SHM+SS*)
- ❖ Formation et évolution du système solaire, exoplanètes, habitabilité et planétologie comparée (*SS+SHM+E2P2+AA*)
- ❖ Processus physiques de la matière (*SdM+ SdV*)
- ❖ Sciences de la vie & exploration humaine de l'espace (*SdV+E2P2*)

*PF: GT Physique
Fondamentale
AA: GT Astronomie et
Astrophysique
SS: GT Système solaire
E2P2 : GT Exobiologie,
Exoplanètes, planètes
SHM : GT Soleil,
Héliosphère,
magnétosphère
SDV : GT Sciences de la vie
SDM : GT Sciences de la
matière*

Les thèmes seront détaillés et illustrés dans les présentations des GTs

Pourquoi l'espace?

*Un outil de prédilection pour apporter des avancées à ces défis
et des progrès scientifiques majeurs*

Espace pour : longueurs d'onde inaccessibles au sol (IR, submm, UV, X, gamma), environnement très stable sur de longues périodes, mesures en microgravité ou in-situ d'environnements astrophysiques, couverture globale du ciel

Espace permettant : rayonnement académique, industriel & sociétal; collaborations internationales, surveillance de l'environnement de la Terre; innovations technologiques & médicales, etc.

Éléments de contexte

- ❑ 21 missions scientifiques en cours d'exploitation (la plupart en extension) toujours très productives et 12 en développement, en partenariat avec l'ESA (Programme Scientifique et Programme Exploration essentiellement), la NASA et d'autres agences spatiales
- ❑ En particulier, la collaboration NASA-ESA permet la mise en place d'éléments et d'expériences en *orbite terrestre basse et cis-lunaire* nécessaires pour une occupation plus étendue de l'espace et une exploration humaine et robotique intense de la Lune, en route vers Mars.
- ❑ Ces programmes sont essentiels pour la communauté scientifique Européenne

Sur les 100 publications de rang A les plus citées en 2019-2023 dans le domaine AA, 39 sont pour une part majeure basées sur des données spatiales

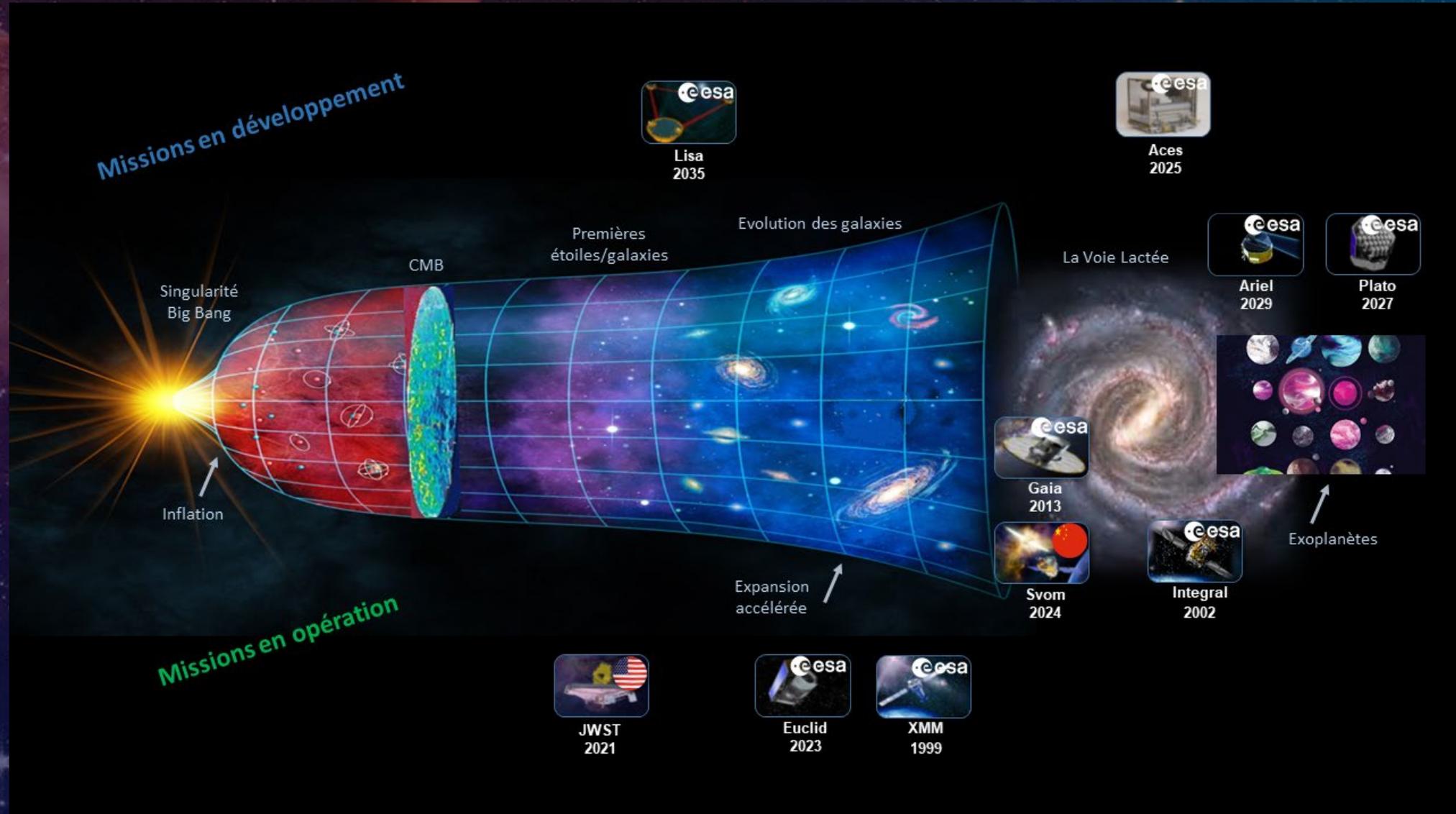
Le savoir-faire français

- ❑ Les laboratoires français (chercheurs et ingénieurs) : partenaires privilégiés pour les agences spatiales, choix stratégiques à faire sur la base des recommandations du CERES
- ❑ Réussites remarquées et remarquables : nombreuses publications dans tous les domaines Sciences de l'Univers et Exploration du CNES, notamment parmi les plus citées.
- ❑ Communauté française très active dans l'élaboration de missions spatiales ambitieuses, la réalisation des charges utiles innovantes, et l'exploitation scientifique des données de qualité ainsi obtenues

Parmi les 39 publications AA « spatiales », les auteurs ou co-auteurs principaux sont : 15 US, 6 FR, 5 UK, 4 IT, 3 NL, 2 DE, 2 SE, 2 JP, 2 CA .

Position de PI ou co-PI d'un ou de plusieurs instruments majeurs pour 2/3 des plus de 30 missions du programme en exploitation et en développement

Astrophysique et lois de la physique



Petit aperçu de quelques avancées majeures

PHYSIQUE FONDAMENTALE

Q : description de l'Univers et de ses constituants

- Données de Microscope → amélioration de la limite supérieure sur une violation possible du principe d'équivalence (10^{-15})
- Ondes gravitationnelles : adoption de l'ESA/Lisa et indication forte de l'existence d'ondes gravitationnelles ~ nanoHz
- Distinction entre plusieurs candidats matière noire grâce au CERN

ORIGINE ET ÉVOLUTION DE L'UNIVERS

Q : Formation et évolution de l'Univers sous l'effet des différents processus physiques et dans la diversité des milieux astrophysiques

- Gaia-DR3 → solution astrométrique disponible pour 1,46 milliards de sources et cartographie chimique de la Galaxie
- JWST : éclairage sur la formation des objets depuis les premières étoiles jusqu'aux premières galaxies
- Nature et propriétés des phénomènes violents ou transitoires dans l'Univers (Fermi Gamma ray Telescope, Svom...)



MICROSCOPE résultats finaux, Septembre 2022

MICROSCOPE Mission: Final Results of the Test of the Equivalence Principle

Pierre Touboul *et al.* (*MICROSCOPE* Collaboration)
Phys. Rev. Lett. **129**, 121102 – Published 14 September 2022

Premier test expérimental dans l'espace du principe d'équivalence faible utilisant des masses tests artificielles – par opposition aux tests astronomiques – dans le but d'atteindre une précision de deux ordres de grandeur supérieure à celle des expériences au sol. Sélectionné en 1999 par le CNES dans le cadre de son programme microsatellite MYRIADE, le satellite a été lancé en 2016 et la mission a duré 2,5 ans.



Systeme solaire et la recherche de la vie

Missions en développement



Dragonfly
2028



Rosalind Franklin
2028



Comet
Interceptor
2029



MMX
2026



Envision
2031



Juice
2023



Mars 2020



Cluster
2000



Bepi Colombo
2018



Solar Orbiter
2020

Missions en opération



MSL
2012



Mars Express
2003



Soho
1995

Petit aperçu de quelques avancées majeures

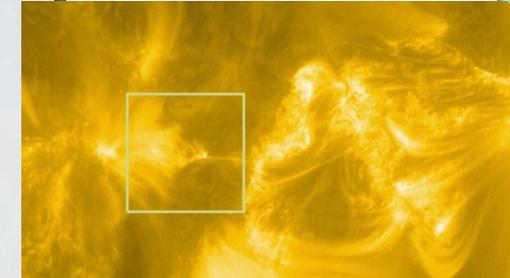
FONCTIONNEMENT GLOBAL DU SYSTÈME SOLEIL-PLANÈTES

Q: comprendre le fonctionnement global du système Soleil-planètes par l'étude des phénomènes physiques qui opèrent dans le Soleil et ceux impliqués dans son interaction avec les planètes du Système solaire

Combinaison des données de Solar Orbiter (et collaborations avec Parker Solar Probe) → nouvelles contraintes :

- Sur la propagation des éruptions et des particules énergétiques dans le milieu interplanétaire et leur rôle dans une perturbation géomagnétique;
- Sur le chauffage de la couronne solaire
- Sur la cartographie du vent solaire dans l'héliosphère interne, etc.

La couronne solaire révélée par des observations inédites



Solar Orbiter
 Parker Solar Probe

FORMATION ET ÉVOLUTION DU SYSTÈME SOLAIRE, PLANÈTES, HABITABILITÉ ET PLANÉTOLOGIE COMPARÉE

Q : formation et évolution du Système Solaire, ses différences et similitudes avec les autres systèmes planétaires; émergence de la complexité, depuis le milieu interstellaire et jusqu'à l'habitabilité des planètes

- Résultats sur les exoplanètes avec Cheops, JWST, au sol
- Planétologie comparée avec ExoMars/TGO, Mars 2020...
- Habitabilité avec Perseverance, MSL, Cassini-Huygens, Juno...
- Emergence de la vie : e.g. Hayabusa 2
- Protection planétaire



Exoplanètes: CHEOPS, JWST...



MARS : Insight, TGO, MEX, etc

Petit aperçu de quelques avancées majeures

PROCESSUS PHYSIQUES DE LA MATIÈRE

Q : étude des propriétés physiques universelles à des échelles mésoscopiques, intermédiaires entre micro- et macroscopiques

- ISS (nombreuses expériences notamment avec l'insert Declic/DSI), vols paraboliques, fusées sondes, tour à chute libre mis à disposition dans un contexte Esa, Cnes et international
- Résultats marquants en biophysique; bulles de vapeur; solidification et cristallographie

SCIENCES DE LA VIE ET EXPLORATION HUMAINE DE L'ESPACE

Q : faire avancer la science du vivant

- Nombreuses études sur les effets d'un bain de radiation gamma avec MarSimulator, la médecine spatiale régulière et d'urgence et l'immersion sèche.
- Environ 100 expériences scientifiques sur l'ISS
- Avancées scientifiques majeures en gravité modifiée sur les effets des radiations (dose/nature) sur le vivant (santé et support vie) applicables à l'homme et au végétal dans les conditions martiennes et lunaires.

Etats et transitions de l'état de la Matière

Solidification
Evaporation et ébullition
Fluides supercritiques

