

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

Sciences de l'Univers & Exploration Prospective du comité: Synthèse

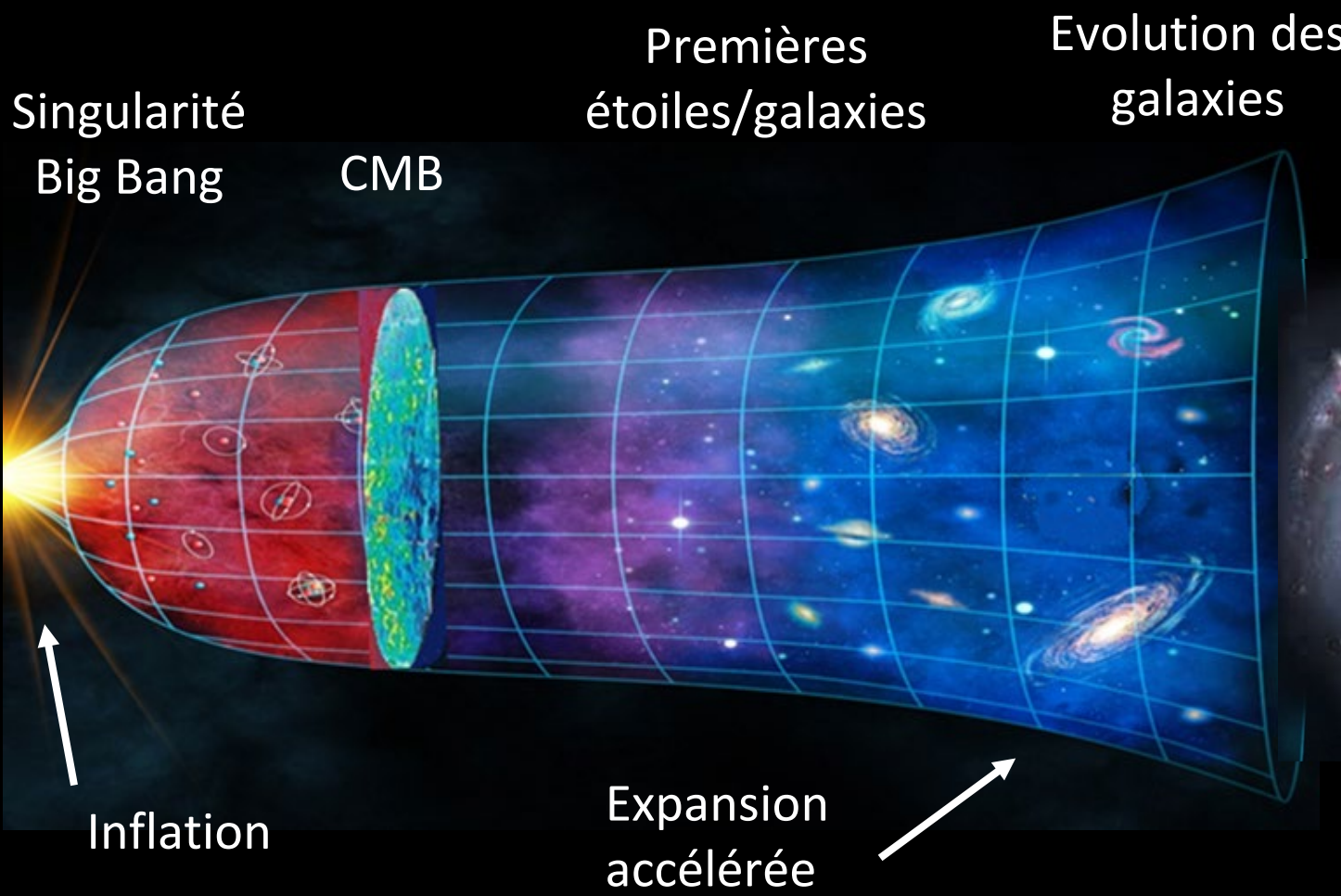
Présidente sortante : Athéna Coustenis

Présidente entrante : Nabila Aghanim

Responsables du programme : Olivier La Marle et Jean Blouvac

7 groupes thématiques: Physique fondamentale (PF), Astronomie & Astrophysique (AA), Système solaire (SS), Sciences du vivant (SdV), Sciences de la matière (SdM), Exoplanètes Exobiologie (E2P2), Soleil-héliosphère-magnétosphères (SHM)

Membres du Ceres: Aghanim N., Amsif K., Blouvac J., Boutelier M., Bret-Dibat T., Coustenis A., Decourchelle A., Gauquelin-Koch G., Grasset O., Marques J., Kretzschmar M., Lallement R., La Marle O., Laudet P., Morbidelli A., Morel J.-L., Mustin C., Petiteau A., Petrelis F., Rocard F., Szopa C.



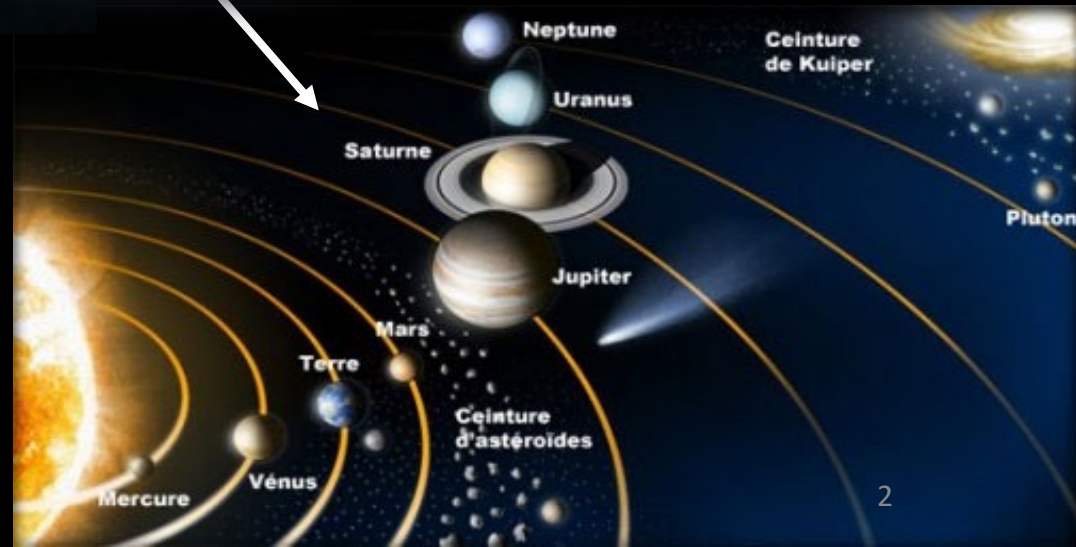
la Voie Lactée



Exoplanètes



Système solaire



Grands défis scientifiques en Sciences de l'Univers & Exploration

- Origine, évolution et lois fondamentales régissant l'Univers
- Formation, évolution et habitabilité du système solaire et des exo-systèmes
 - Fonctionnement global et relations Soleil-planètes
 - Le vivant et la matière dans l'espace

Déclinés en priorités majeures, substantielles et modérées

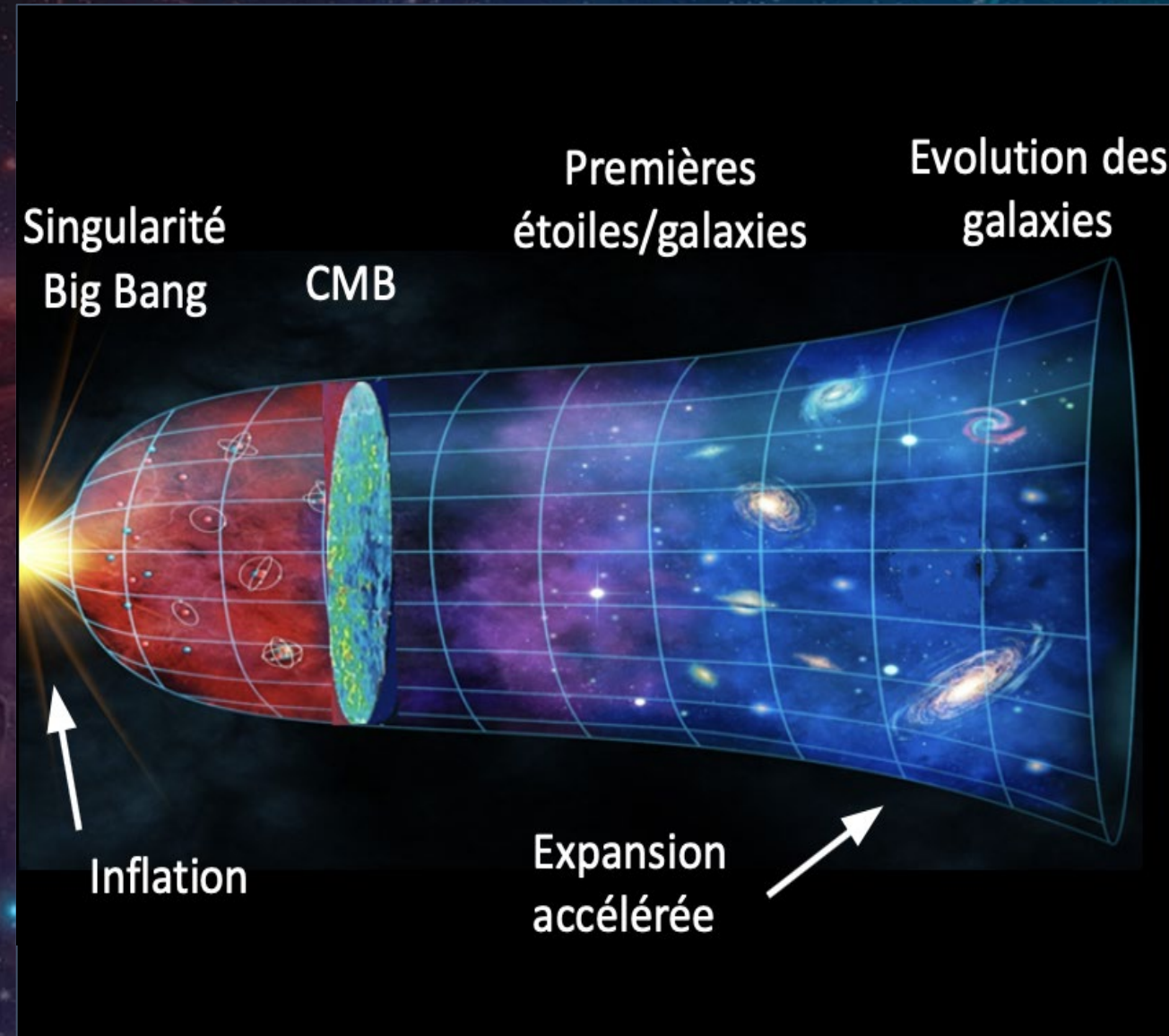
Seules les **priorités majeures** sont présentées dans cette synthèse

Quels modèles permettent d'unifier la relativité générale et les théories quantiques?

- En améliorant les contraintes du test du principe d'équivalence → **Mesures des différences d'accélération** [*Microscope2 (Mission Esa)*]

Quels sont les constituants fondamentaux de l'Univers? Quelle est l'origine des premières structures?

- En observant l'Univers très jeune à la recherche de preuves de l'inflation cosmique → **Mesures du CMB en polarimétrie et spectroscopie sub-mm** [*LiteBIRD (Jaxa/Cnes), Mission M ou L (Esa)*]

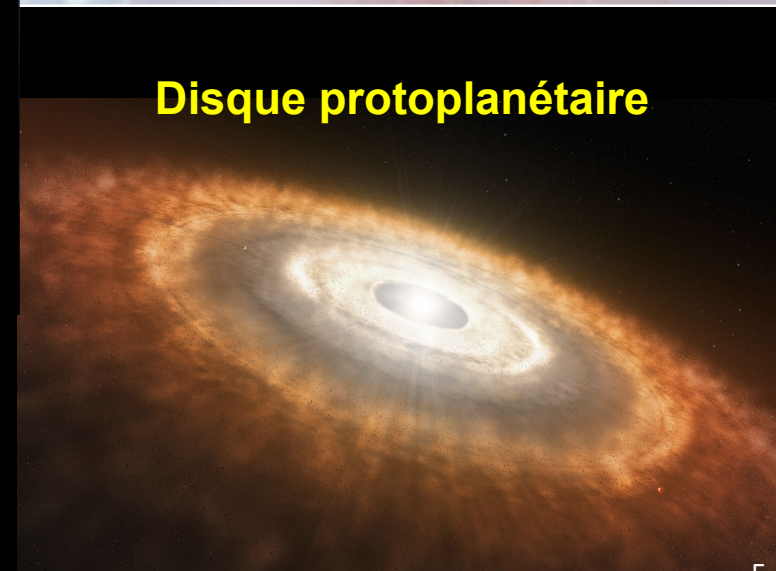
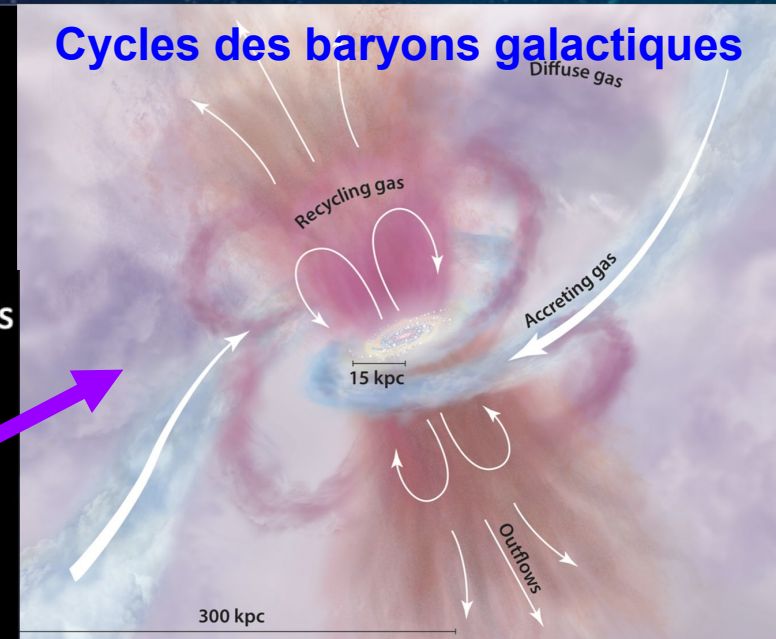
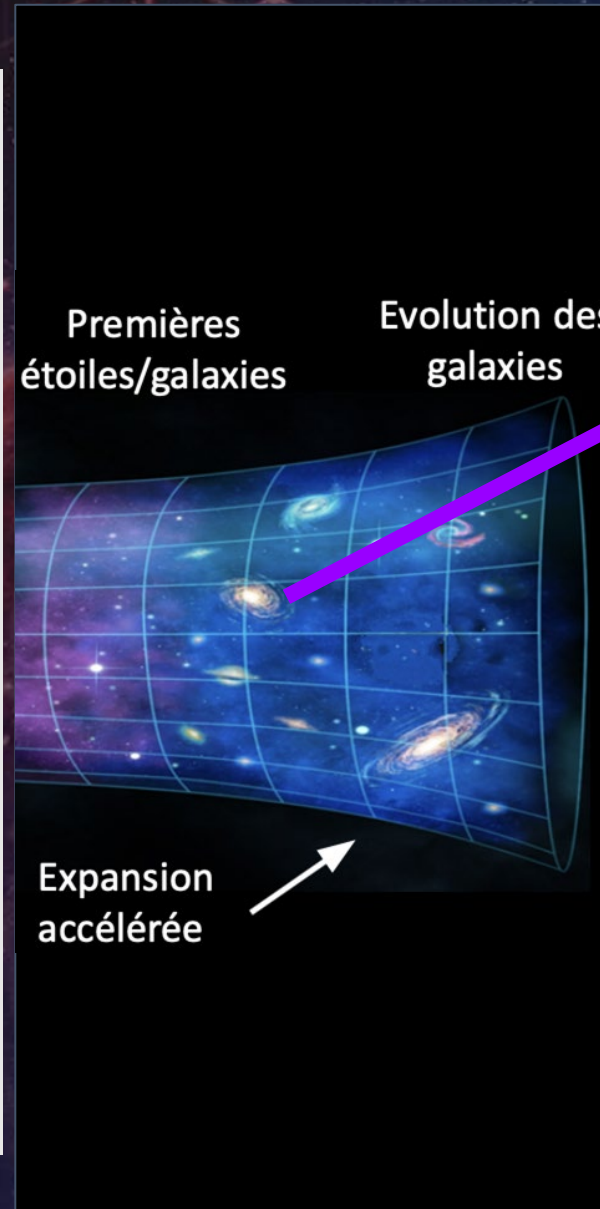


Comment se forment les amas de galaxies?
Comment co-évoluent les galaxies avec leurs trous noirs supermassifs?

- En étudiant le **cycle des baryons chauds** et les processus physiques en jeu → **Mesures en spectroscopie X haute résolution [NewAthena (Mission L Esa)]**

Comment se structure la matière et émerge la complexité moléculaire?

- En étudiant le **cycle des baryons froids**, les milieux interstellaire galactique et extragalactique et les processus en jeu dans la formation des structures → **Mesures en spectroscopie et polarimétrie dans l'IR lointain [Prima (Probe Nasa)]**



Les exoplanètes telluriques sont-elles semblables à la Terre?

- En caractérisant les propriétés physiques et chimiques d'exoplanètes de type terrestre → **observation directe en imagerie haut contraste [HWO (Nasa)]; caractérisation spectrale de leurs atmosphères [Life (Voyage 2050 Esa)]**

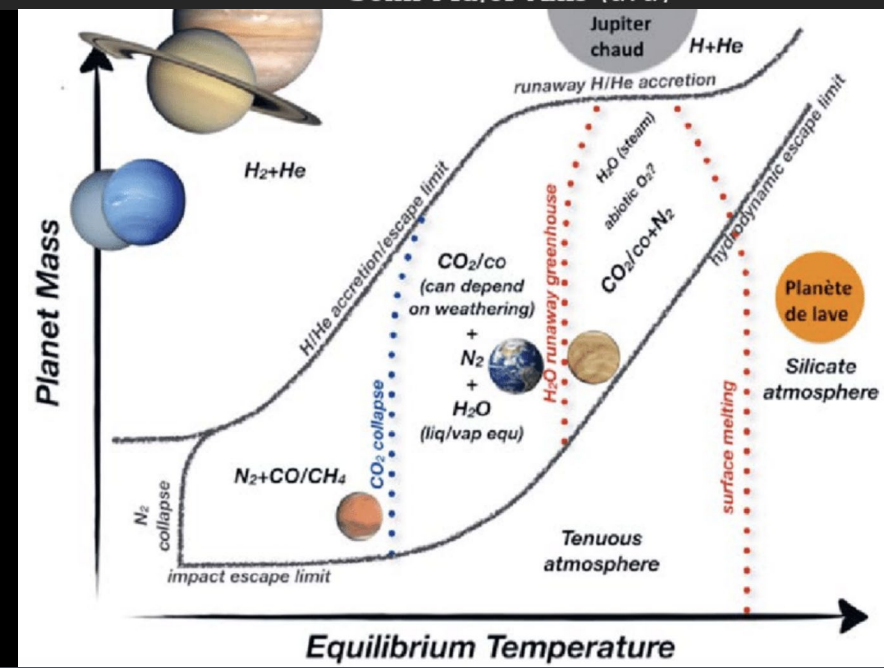
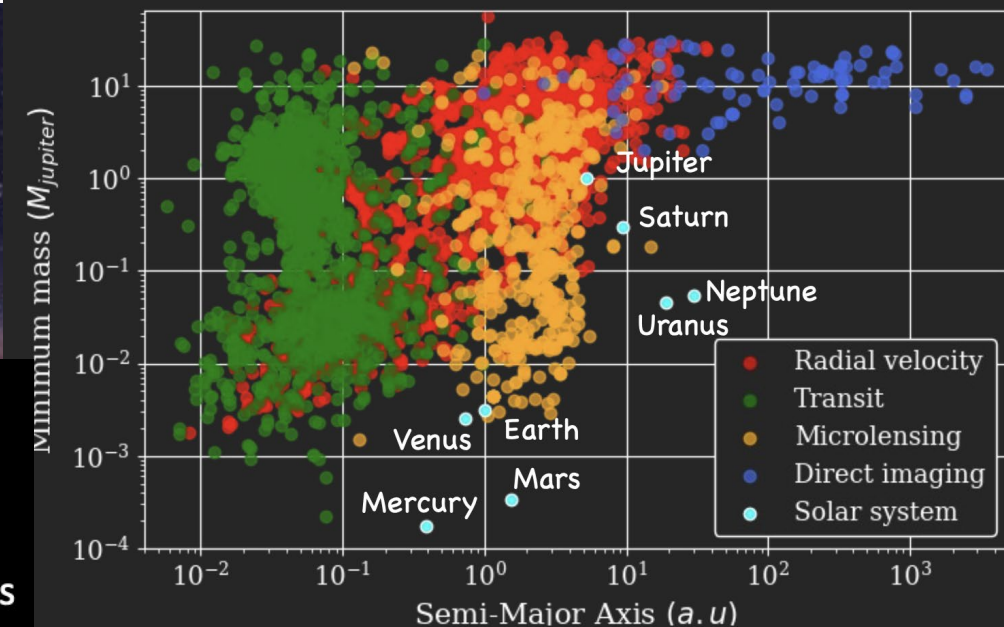
Evolution des galaxies



la Voie Lactée



Exoplanètes



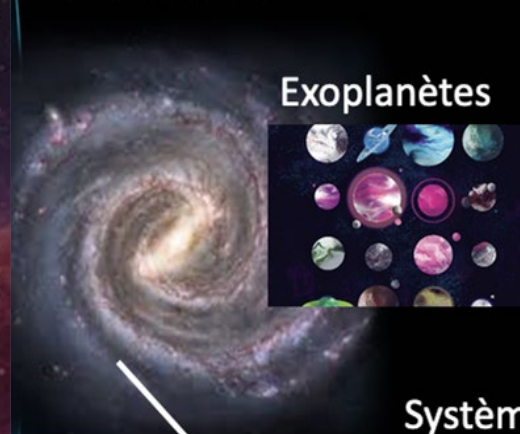
Comment le Soleil et le vent solaire fonctionnent-ils?

- En étudiant les processus énergétiques dans l'atmosphère du soleil et le vent solaire → **Mesures multi-échelles et haute résolution des plasmas spatiaux** [*HelioSWARM (Nasa)*]

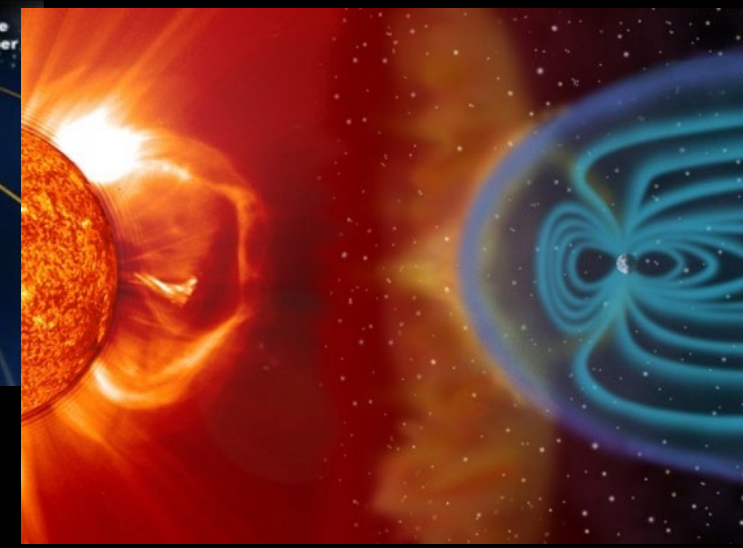
Comment se créent et évoluent les environnements électromagnétiques de la Terre et des planètes du Système solaire?

- En comprenant l'énergisation et la dynamique dans les environnements terrestres et planétaires → **Mesures in situ multi-points et multi-échelles dans les magnétosphères et ionosphères** [*Plasma Observatory ou M-MATISSE (M7 Esa)*]

la Voie Lactée

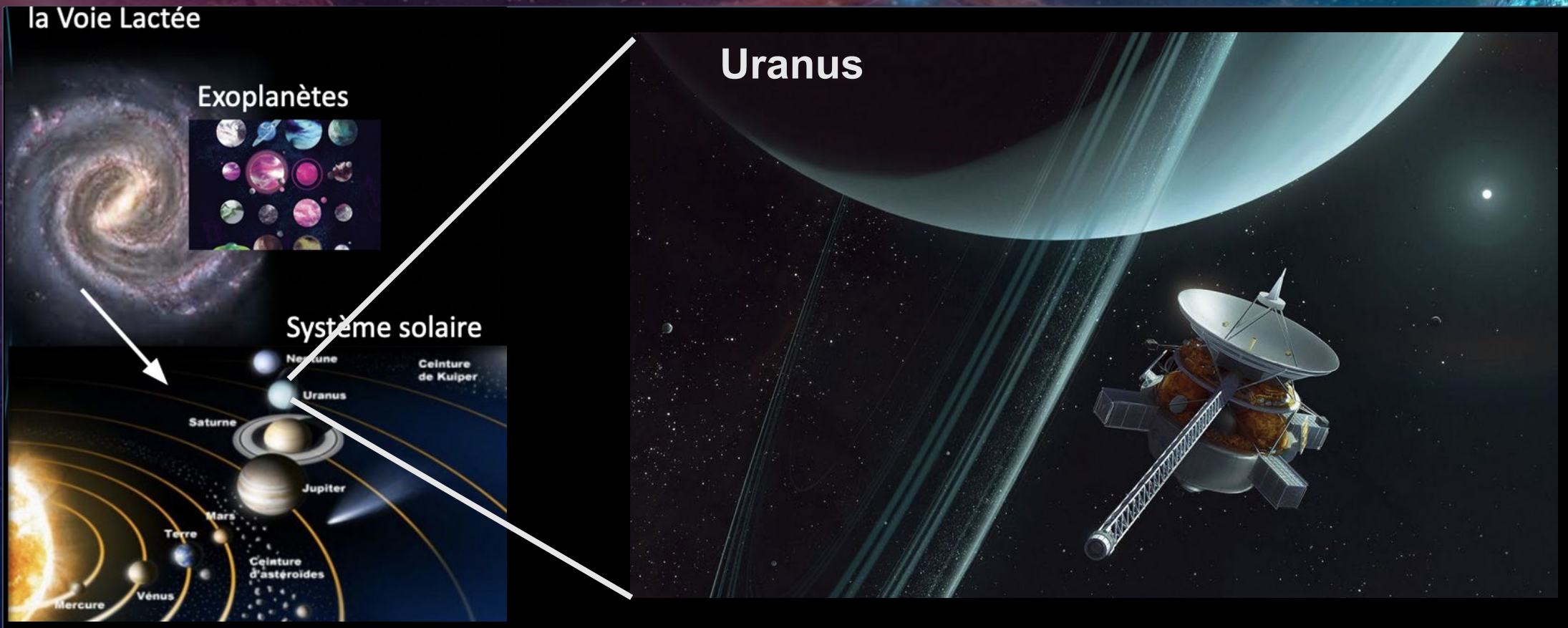


Système solaire



Quelle est l'origine du système solaire?

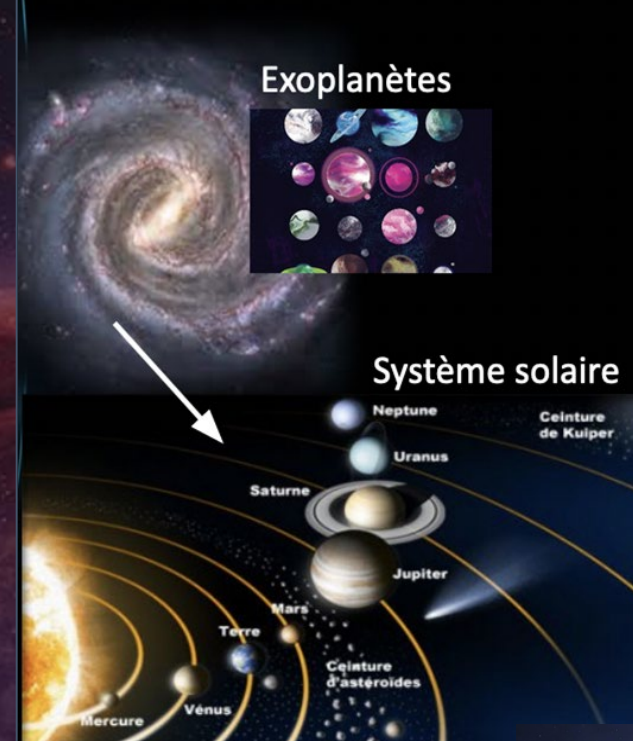
- En étudiant la formation des planètes géantes glacées (Uranus ou Neptune) → **structure interne, enrichissements chimiques de l'atmosphère et anomalies isotopiques** [*Contribution Esa et/ou Cnes à Uranus Orbiter and Probe (Flagship Nasa)*]



Quels sont les environnements habitables dans le Système solaire? Comment rechercher des traces de vie dans le système solaire?

- En poursuivant les programmes d'exploration de la **surface de Mars** [*ExoMars Rover (Esa/Nasa)* et *Mars Sample Return (Nasa/Esa)*]
- En explorant les lunes glacées des planètes géantes (**Encelade**), caractérisant leur potentiel habitabilité, et recherchant des biosignatures → **Composition chimique et minéralogique de matériaux de surface, éjectas de geysers** [*Mission L4 (Esa) vers Encelade, New Frontier 5 (Nasa), Orbilander (2^{ème} possible Flagship Nasa)*]

la Voie Lactée



Mars



Encelade



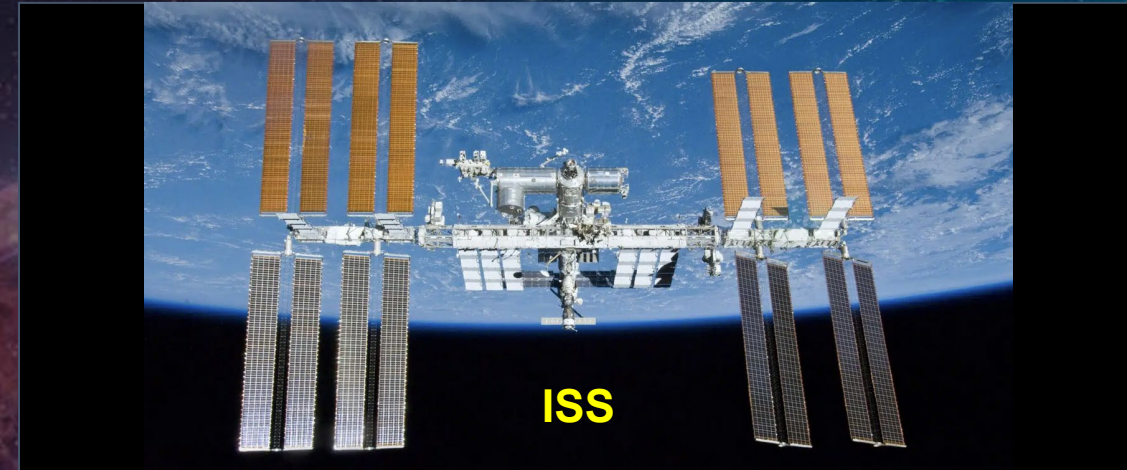
Processus physiques élémentaires de la matière

Quels sont les états fondamentaux de la matière? Comment s'opèrent les transitions entre états?

- En étudiant la **combustion bas carbone** de matière organique dans l'eau supercritique ou encore les propriétés microphysiques des nuages et la **condensation** de l'eau [*DECLIC-Evolution (Esa/Nasa)*]

Comment apparaissent les instabilités et se propagent les ondes?

- En étudiant la dynamique d'interface et les propriétés statistiques des grandes échelles en **turbulence** [*FLUIDICS-L (Esa/Nasa)*]



Etude du vivant dans l'espace

Comment protéger la santé des équipages?

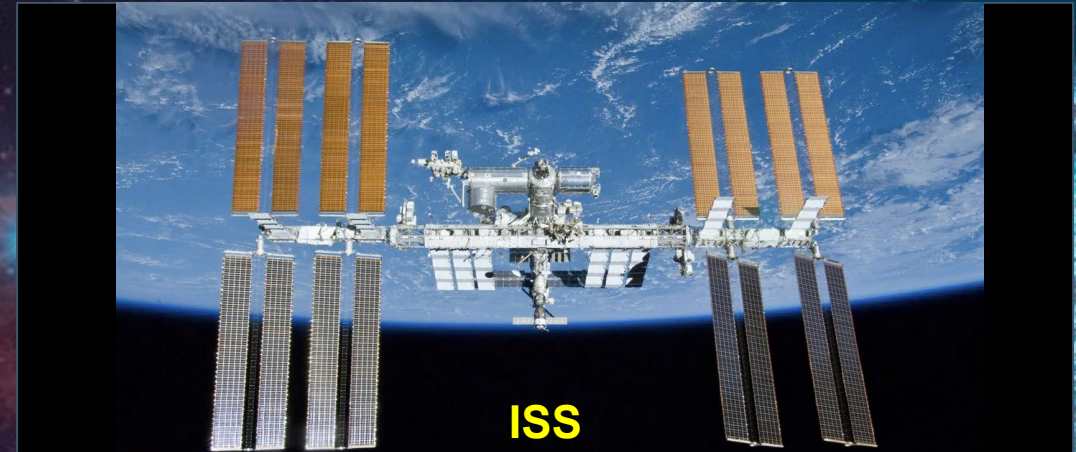
- En suivant leur état de santé et adaptant la **médecine d'urgence** à l'environnement spatial [**vols paraboliques, ISS, Gateway, Lune**]

Comment assurer la bonne santé pendant et après le vol?

- Grâce à une meilleure compréhension de l'**effet des conditions spatiales et de microgravité** sur le vivant [**Analogues sol, ISS, ballons**]

Comment rendre possible l'exploration humaine?

- En assurant le **support vie** dans les stations, e.g. par le développement de systèmes bio-régénératifs, et en étudiant les effets des radiations [**Analogues sol, ISS, Gateway**]



Synthèse des priorités majeures: Remarques préliminaires

- Projets observationnels **ambitieux** s'étalant sur des décennies
 - **Rosetta (~35 ans)**: idée de mission années 80, lancement 2004, fin de mission 2016
 - **Lisa (~70 ans)**: idée de mission années 70, exploitation fin des années 2040
- Projets observationnels **pluri générationnels**
 - pleinement réalisés au bout de plusieurs SPS
- Priorités établies
 - concernent aussi bien des **engagements à court terme** que la **préparation du long, voire très long, terme**
 - tiennent compte du **bilan des réalisations des priorités** identifiées lors du SPS 2019

Bilan des priorités majeures du SPS 2019

Contrasté

Des succès et de nombreuses priorités non-encore réalisées ou annulées

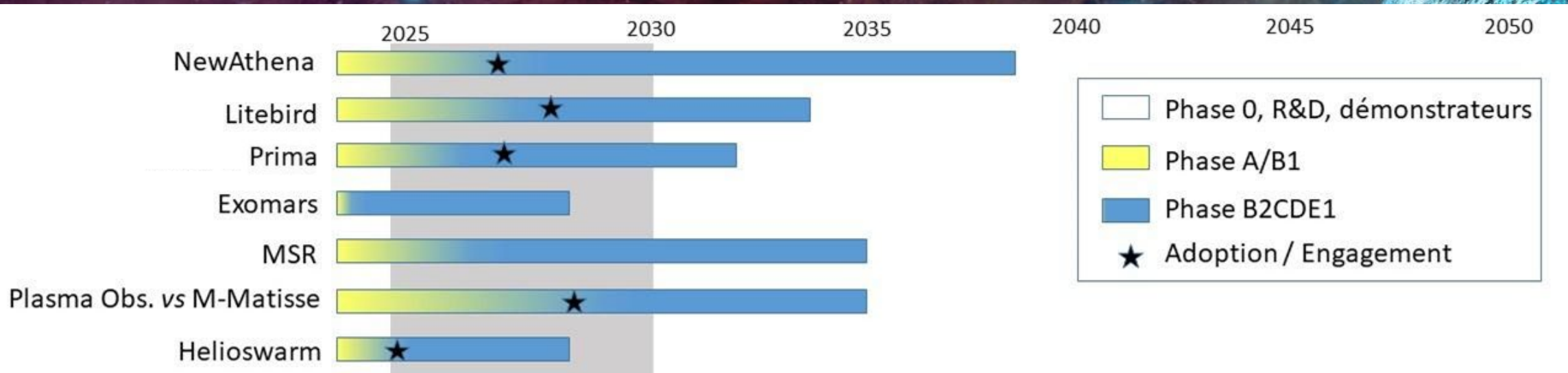
Mission	Objectifs scientifiques	Activités depuis SPS 2019	Situation actuelle
Athena (Esa)	Observatoire en rayons X pour l'étude de l'Univers chaud et énergétique	Phase d'étude et de prototypage Reconfiguration en NewAthena suite aux coûts Esa trop élevés	Etudes complémentaires en vue de l'adoption début 2027 Lancement 2037
Lisa (Esa)	Observatoire d'ondes gravitationnelles	Phase d'étude, adoption Esa et engagement Cnes (2024)	Engagé Lancement 2035
Litebird (Jaxa)	Recherche des preuves de l'inflation	Phase d'étude	Etudes complémentaires Lancement >2032
Spica (Esa)	Galaxies, milieu interstellaire	Etudes Spica mais abandon Esa Instruction de contributions Cnes à Prima et Firsst (Nasa)	Spica abandonné Prima et Firsst en compétition Probe à la Nasa ; Lancement 2032
Ariel (Esa)	Etude des exoplanètes	Adoption Esa et engagement Cnes (2021)	Engagé Lancement 2029
Retour d'échantillons martiens (Nasa/Esa)	Recherche de traces de vie passée sur Mars	Travaux Nasa et Esa (ERO) sur MSR ; Lancement du projet français Markus (gestion des échantillons)	Surcoût Nasa du programme MSR, recherche d'alternatives moins coûteuses
MMX (Jaxa)	Etude des lunes de Mars et retour d'échantillons Phobos	Développement et livraison des contributions françaises à MMX	Intégration MMX ; Lancement 2026

Mission	Objectifs scientifiques	Activités depuis SPS 2019	Situation actuelle
Exomars (Esa)	Recherche de traces de vie passée	Livraison des contributions françaises et intégration Reconfiguration avec la Nasa suite au retrait de Roscosmos	Développements complémentaires liés au changement d'organisation Lancement 2028
Géantes glacées (Nasa)	Systèmes Uranus et Neptune	Decadal Survey US : Uranus Orbiter & Probe 1 ^{ère} priorité	En attente de démarrage des études Nasa
Priorité sans mission définie en 2019	Observations simultanées des échelles fluides, ioniques et électroniques	Sélection et phase d'étude d' Hélioswarm (Nasa) Pré-sélection de Plasma Observatory (Esa, M7)	Fin des études, engagement Cnes à venir Lancement 2029 Début des études Plasma Observatory (Lancement 2035)
STE-Quest (Esa)	Universalité de la chute libre	STE-Quest non retenue ESA M7	Aucun cadre de réalisation identifié actuellement
Accès aux moyens de micro-gravité	Sciences de la matière et du vivant dans l'espace	Expériences dans l'ISS (Declic...) Vols paraboliques	Accès avion zéroG et ISS toujours assurés

SPS 2024: Priorités précédentes ré-affirmées & nouvelles priorités

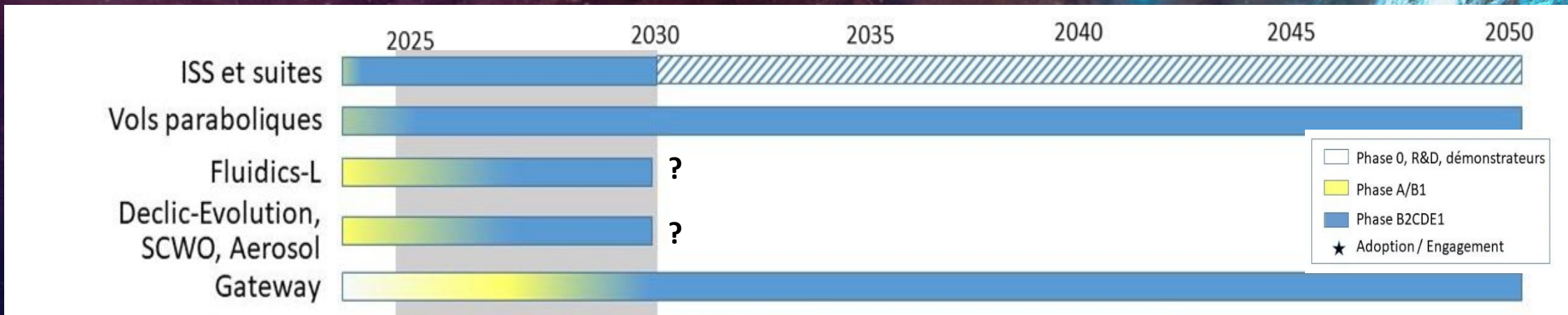
Synthèse des priorités majeures (1)

Engagements/adoptions durant la période 2025-2030 de missions ou programmes dans des cadres définis



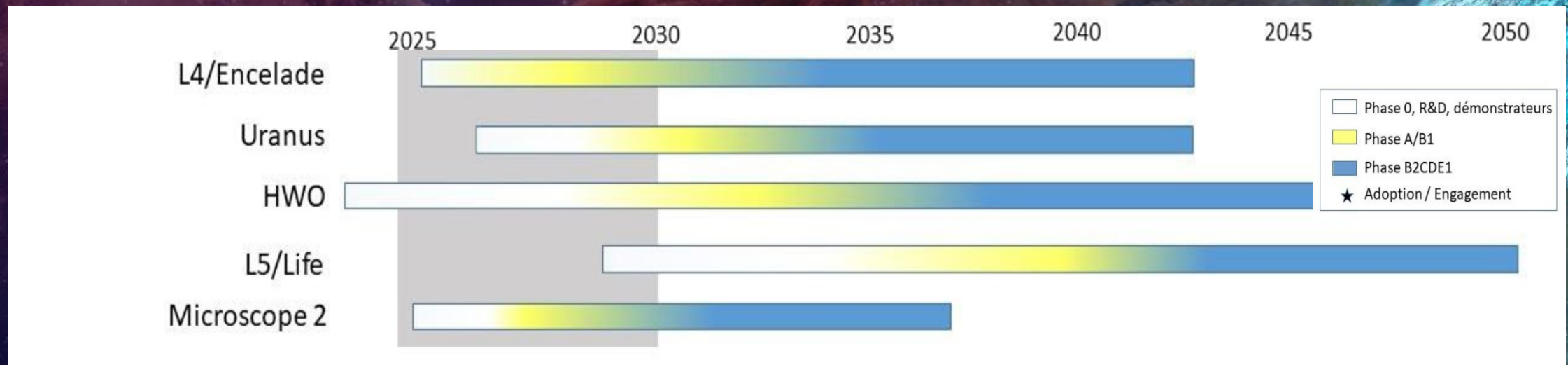
Synthèse des priorités majeures (2)

Assurer l'accès à l'espace au delà de 2030 pour les expériences micro ou zéro gravité en Sciences du vivant et Sciences de la matière



Synthèse des priorités majeures (3)

Démarrer les activités nécessaires pour contribuer à des missions dont l'engagement interviendra au delà de 2030



Programme de préparation du futur adéquat
(R&T, Phases 0, démonstrateurs, etc.)

Stratégie programmatique

- Les **programmes de l'Esa**, Science (SCI) et Exploration (HRE), sont **prioritaires**.
 - Les fondations du programme scientifique du Cnes sont le SCI.
 - Des opportunités de missions et accès à l'espace sont offertes par le programme HRE et Mars Sample Return (Nasa/Esa)
- Les **missions d'opportunité et collaborations bilatérales** sont **indispensables** pour compléter le programme scientifique
- Les **ballons** peuvent offrir des **possibilités** intéressantes pour démontrer la faisabilité de concepts instrumentaux et/ou compléter le programme scientifique
- La **gestion d'échantillons extra-terrestres**, la détection de traces de vie et l'évaluation des **risques biologiques** est un enjeu majeur. Des **services de références français**, certifiés au niveau international, devront être développés dans le cadre d'une **infrastructure distribuée pan-européenne d'analyse de risque et de curation**

Une prospective SUE ambitieuse

Résultat du dynamisme et de l'excellence de la communauté (Appel d'offre Esa M7: Implication FR dans 24 Lettres d'intention sur 26 → 7 propositions sur 10 à lead/co-lead FR → 3 projets en Phase de sélection, tous avec co-lead FR)

- **Essentiel** que le Cnes **accompagne** les communautés pour répondre aux Appels d'Offre et saisir les opportunités

Résultat des investissements et activités de préparation des décennies passées

- **Crucial** que le Cnes conserve un **programme important de préparation du futur**

Innovations (R&T) technologiques et numériques pour préparer l'avenir, e.g.:

- Concept de caméra plasma (spectromètre à particule 3D à haute cadence)
- Spatialisation et intégration de dispositifs médicaux
- Sismomètres basés sur des senseurs optiques très large bande
- Accéléromètres basés sur des capteurs à atomes ultra-froids (e.g. démonstrateur Carioqa)
- Méthodes avancées en Science des données (IA, inférence, démélange, exascale, etc.)

Une prospective SUE ambitieuse

Exploiter au mieux les missions en opération
Finaliser Cosmic Vision et **démarrer** Voyage 2050
Saisir les **opportunités**
Préparer l'**avenir**

- ❖ **Accroissement du niveau de ressource Esa**, notamment dans SCI
- ❖ **Ressources budgétaire et humaines** au Cnes à la hauteur des ambitions scientifiques
- ❖ **Modèle Cnes–Laboratoires et Industries** unique à préserver et adapter
- ❖ **Coordination** avec les organismes et établissements pour **préparer et mettre en place le programme Science de l'Univers et Exploration**

Merci

Membres du Ceres: Aghanim N., Amsif K., Blouvac J., Boutelier M., Bret-Dibat T., Coustenis A., Decourchelle A., Gauquelin-Koch G., Grasset O., Marques J., Kretschmar M., Lallement R., La Marle O., Laudet P., Morbidelli A., Morel J.-L., Mustin C., Petiteau A., Petrelis F., Rocard F., Szopa C.