





# Groupe thématique

## Astronomie et Astrophysique

BASA Stéphane

Pour l'ensemble du groupe: AUBERT Dominique, BORDE Pascal, DECOURCHELLE Anne, DESERT François-Xavier, LECAVELIER DES ETANGS Alain, NEINER Coralie, PAGANI Laurent, PIAT Michel, PIRON Frédéric, POINTECOUTEAU Etienne et VALLS-GABAUD David

Thématicien CNES: LA MARLE Olivier



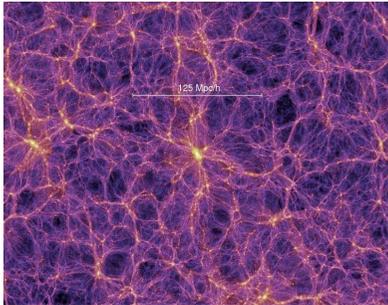
# Objectifs de la prospective

- **Faire un bilan des activités** en regard des orientations du séminaire de Biarritz (2009).
- **Remettre à jour les priorités scientifiques, en particulier en tenant compte du contexte international** pour:
  - Emettre des recommandations pour les nouvelles missions et identifier les Phases 0 à démarrer.
  - Donner des entrées pour la prospective ballons.
  - Identifier les axes de R&T et démonstrateurs prioritaires.

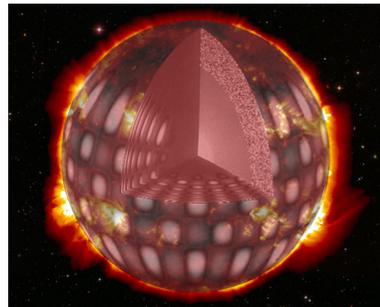


# La thématique Astronomie et Astrophysique

La formation des structures



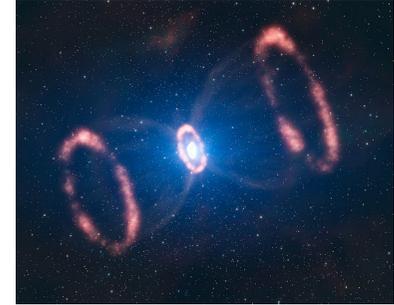
Les étoiles



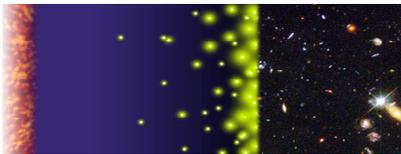
Formation des systèmes planétaires



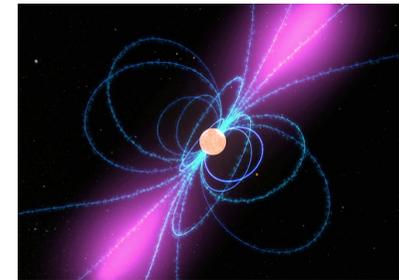
Les supernovae



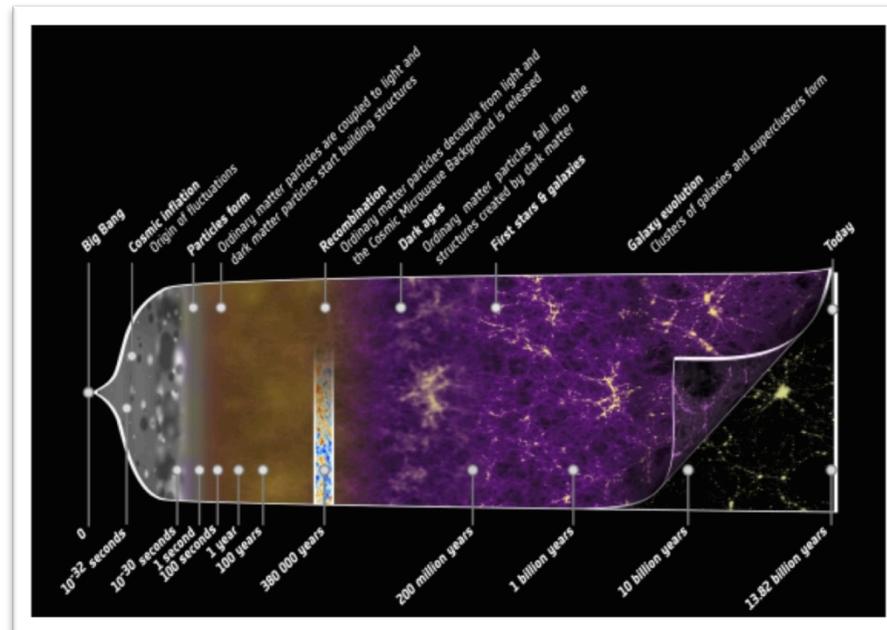
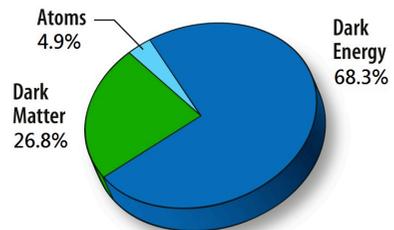
Les tout premiers instants



Les objets compacts



Le contenu de l'Univers



Les rayons cosmiques

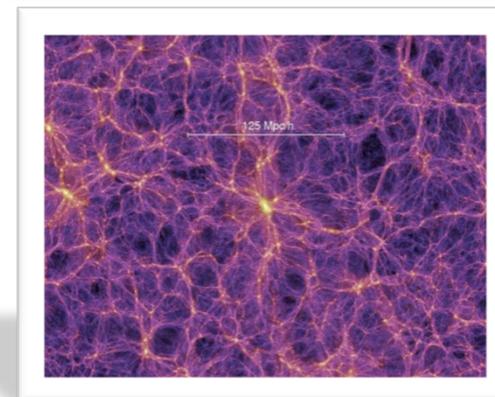
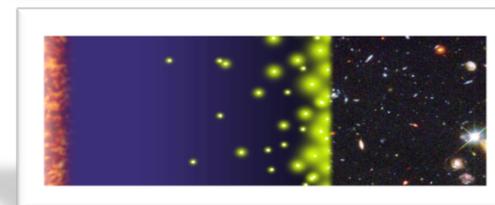
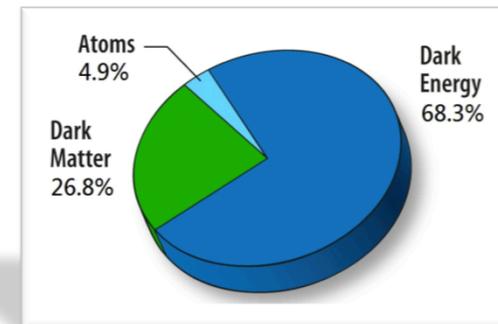




# Les prochains enjeux scientifiques

## Evolution de l'Univers: des premiers instants aux grandes structures

- *Comprendre la phase d'inflation de l'Univers primordial.*
- *Caractériser l'énergie sombre et la matière sombre.*
- *Comprendre la fin des âges sombres et étudier la formation des premiers objets.*
- *Comprendre les mécanismes d'échange de matière et d'énergie aux différentes échelles, des étoiles aux trous noirs et aux galaxies.*

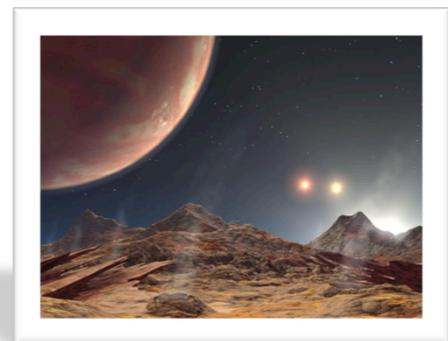
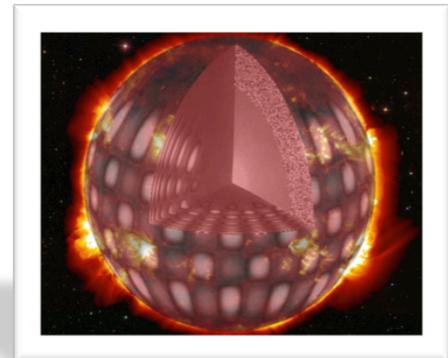




# Les prochains enjeux scientifiques

## Formation et évolution des étoiles et des planètes

- *Comprendre la formation des étoiles et des planètes.*
- *Comprendre l'évolution des étoiles et des planètes.*
- *Caractériser les exoplanètes et chercher les biosignatures.*

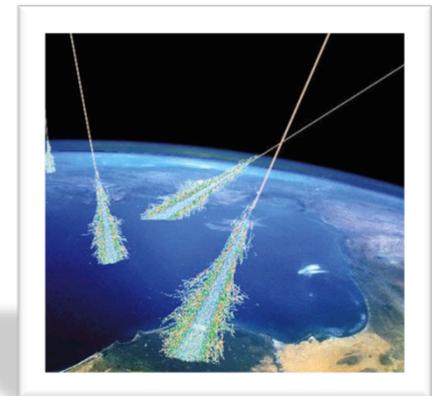
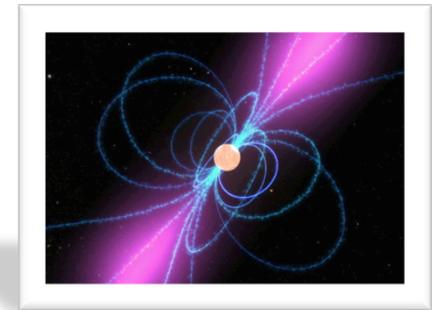
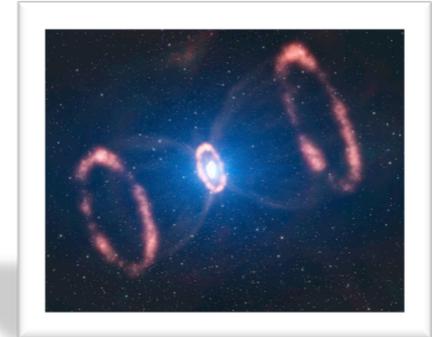




# Les prochains enjeux scientifiques

## Etudier l'Univers énergétique

- *Comprendre les explosions stellaires et la naissance des objets compacts.*
- *Comprendre l'environnement des objets compacts.*
- *Identifier l'origine des rayons cosmiques.*
- *Utiliser l'Univers comme laboratoire de physique fondamentale.*





## Bilan programmatique

### Succès scientifique des missions:

- ESA: **Planck** (2009-2013)
- ESA: **Herschel** (2009-2013)
- National: **CoRoT** (2006-2012)

### Lancement de la mission:

- ESA: **Gaia** (2013)

### Poursuite de l'exploitation scientifique:

- ESA: **XMM-Newton** (depuis 1999) et **INTEGRAL** (depuis 2002)
- NASA: **HST** (depuis 1990), **Fermi** (depuis 2008), **GALEX** (2003-2013), **Spitzer** (depuis 2003), **Kepler** (depuis 2009)

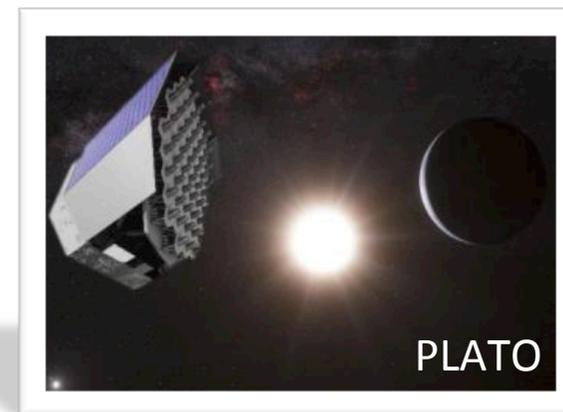
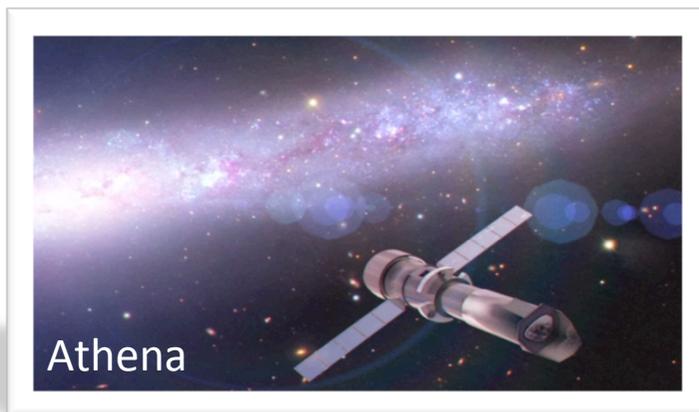
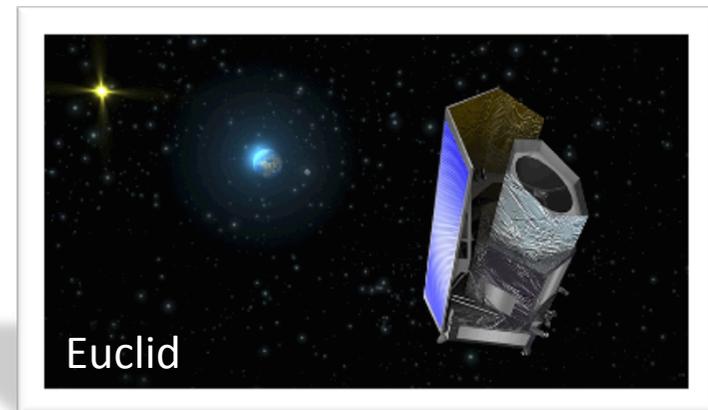




# Bilan programmatique

## Mise en place du programme ESA *Cosmic Vision*:

- S1 (2017): **CHEOPS**
- M2 (2020): **Euclid** (avec un PI français)
- M3 (2024): **PLATO**
- L2 (2028): « **the Energetic Universe** »
- L3 (2034): « **the Gravitational Universe** »

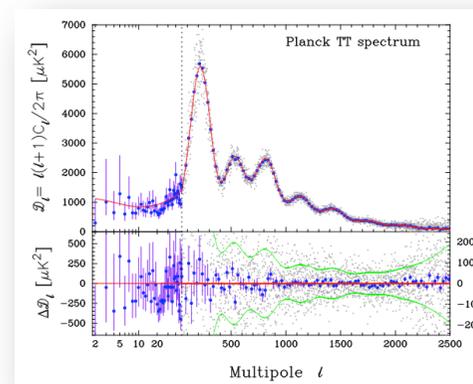
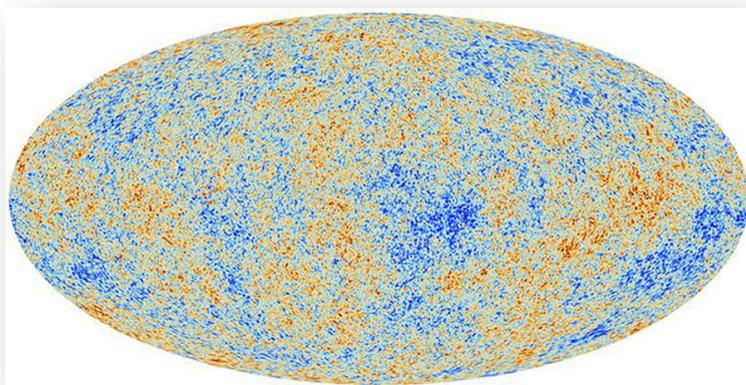




# Une cosmologie de précision avec Planck

## Le modèle $\Lambda$ CDM conforté par les mesures:

- Principaux paramètres cosmologiques mesurés avec une précision de 1-2%.
- L'énergie sombre (68%) et la matière sombre (27%) toujours de natures inconnues, mais très précisément mesurées; la matière ordinaire (5%) très minoritaire.
- Première confirmation d'un spectre primordial ( $n_s=0.9675$ ) en accord avec les modèles inflationnaires.



## Une science des avant-plans également très riche.



## Le suivi sol, une nécessité

### **Les méthodes d'observation en astronomie ont considérablement évolué:**

- Avènement de l'observation multi-longueurs d'onde et multi-techniques.

### **Un exemple emblématique, Euclid:**

- Pour atteindre les objectifs scientifiques: besoin de couvrir 15000 degrés<sup>2</sup> avec des télescopes au sol dans 4 bandes visibles.
- Données photométriques indispensables à la réussite d'Euclid: à ce jour, l'hémisphère Sud est consolidé, des pistes sont en cours d'exploration pour l'hémisphère Nord.

### **Important que les principaux partenaires, CNES, CNRS et CEA, parviennent à une solution permettant de garantir l'accès au suivi sol pour Euclid:**

- ✓ Solution pouvant également s'appliquer pour de futures missions, comme SVOM et PLATO, également très demandeuses.
- **Depuis le SPS: endossé par l'INSU lors de sa prospective (octobre 2014).**



## Propositions du groupe A&A

### Basées sur:

- les grandes questions scientifiques à aborder lors des prochaines années;
- le contexte programmatique national et international, en particulier les conséquences de la sélection des missions *Cosmic Vision* de l'ESA;
- la maturité des propositions de la communauté française soumises via l'appel à idées du CNES ;
- l'historique de la communauté française (implication sur des missions passées, les développements en R&T, etc.).



## Les missions européennes en cours de sélection

### “The Hot and Energetic Universe” (priorité P0):

- **Soutien à la mission Athena associée à ce thème scientifique:** a toujours été une priorité dans les différents exercices de prospective.
- La France doit jouer un rôle important dans sa réalisation, tout en assurant un retour scientifique au moins proportionnel à son implication.
- **Depuis le SPS: PI et maître d’œuvre sur le XIFU, petite participation au WFI et nomination d’un animateur scientifique pour la France.**

### “The Gravitational Universe”:

- Communauté invitée à se mobiliser pour cette mission, en particulier via l’organisation du suivi.



# Les futures missions européennes et contributions d'opportunité

## Priorité P0

**“Comprendre la phase d'inflation de l'Univers primordial”** via la recherche et l'étude des modes B de la polarisation du fond diffus cosmologique.

- ✓ **Soutien à une participation à une future mission européenne de type M4 (type CoRE).**
- **PI français envisageable sur ce thème.**
  
- ✓ **En cas de non sélection, soutien à une contribution d'opportunité sur une mission NASA (type Pixie) ou JAXA (type LiteBIRD).**



# Les futures missions européennes et contributions d'opportunité

## Priorité P1

**“Comprendre les mécanismes d'échange de matière et d'énergie aux différentes échelles, des étoiles aux trous noirs et aux galaxies”** via l'observation de l'Univers proche ( $z < 2$ ) dans l'ultraviolet à l'Univers lointain (jusqu'à  $z \approx 6$ ) dans l'infrarouge lointain.

- ✓ Soutien, en fonction du contexte programmatique, à une participation à une future mission européenne de type M (type SPICA, tel que défini au début 2013) ou à une participation à une mission d'opportunité (type MIGAL avec la NASA).
- Depuis le SPS: SPICA répondra à M5 (pas à M4), MIGAL pas proposé à la NASA.

***“Caractériser les exoplanètes et chercher les biosignatures: quelles sont les conditions physiques qui règnent à la surface des petites planètes et à l'intérieur des planètes gazeuses, et sont-elles favorables à l'apparition de la vie ?”*** via l'étude des atmosphères des exoplanètes

- ✓ Soutien à une participation à une future mission européenne de type M ou à une mission d'opportunité.
- PI français envisageable sur ce thème.



# Les futures missions européennes et contributions d'opportunité

## Priorité P2

***“Comprendre la fin des âges sombres et étudier la formation des premiers objets”***  
via l'observation de l'Univers lointain dans l'infrarouge proche.

- ✓ **Soutien à une petite participation à une petite mission d'opportunité.**
- **Mais attention: Euclid est la priorité sur ce thème scientifique.**

***“Comprendre les explosions stellaires (et la nucléosynthèse associée), la physique des objets compacts” et “comprendre l'origine des rayons cosmiques galactiques”***  
en observant l'Univers dans le domaine du MeV.

- ✓ **Proposition de R&T.**

***“Comprendre la formation et l'évolution des étoiles et des planètes”*** en observant les étoiles dans l'ultraviolet et le visible.

- ✓ **Proposition d'une Phase 0.**



## Besoins de feuilles de route

### Deux thèmes scientifiques méritent plus de réflexion:

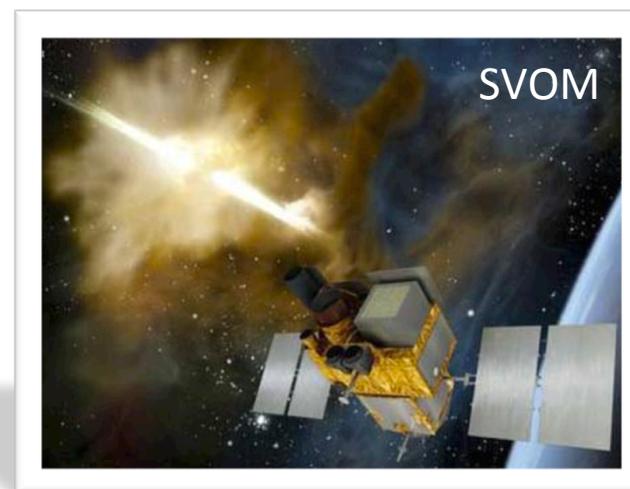
- Un observatoire post-Herschel afin de ***“comprendre la fin des âges sombres et étudier la formation des premiers objets”, “comprendre la formation et l’évolution des étoiles et des planètes”, etc.***
  - ✓ Les Programmes Nationaux doivent proposer une feuille de route identifiant les grandes questions scientifiques devant être abordées par cette future mission, ainsi que les performances nécessaires pour y parvenir.
- Un observatoire capable d’observer des objets à très faible brillance de surface dans le visible et l’ultraviolet pour ***“comprendre les mécanismes d’échange de matière et d’énergie aux différentes échelles, des étoiles aux trous noirs et aux galaxies”.***
  - ✓ La communauté doit se structurer afin de mieux définir sa stratégie et ses besoins.
  - Depuis le SPS: uniquement une petite opportunité envisageable (cadre ESA-CAS). Les proposants doivent laisser la responsabilité technique et scientifique à une autre nation.



## Les missions nationales ou multilatérales

### Une seule mission multilatérale toujours soutenue, SVOM:

- Compte-tenu du retard, intérêt scientifique de la mission évalué par le groupe qui a confirmé que SVOM a toujours une réelle valeur scientifique.
  - **Depuis le SPS: mission officiellement en phase B.**



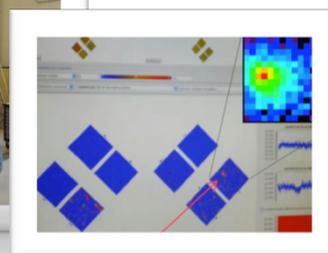
En dehors de ce projet, pas de recommandation pour une nouvelle mission nationale ou multilatérale.



## Les missions ballons

### Plusieurs projets sur ballon déjà décidés:

- EUSO-Ballon (premier vol en 2014).
- Pilot (premier vol en 2015).
- FIREBall 2 (premier vol en 2016).



En dehors de ces projets, pas de recommandation pour une nouvelle mission ballon.



## Les axes de R&T

### **Priorités aux futures missions européennes et contributions d'opportunité :**

- ***Observer l'Univers dans le domaine des rayons X*** : chaînes de détection et cryogénie associée.
- ***Étude des modes B de la polarisation du fond diffus cosmologique*** : chaînes de détection et cryogénie associée.

Puis :

- ***Observer l'Univers dans le domaine du MeV*** : chaînes de détection.
- ***Observer les étoiles dans l'ultraviolet*** : spectropolarimètre embarqué.

Les développements doivent s'inscrire systématiquement dans le cadre d'une feuille de route établie par les différents partenaires (tutelles, LabEx, laboratoires, etc.):

- ✓ Le CNES doit prendre l'initiative de la définition de ces feuilles de route.
  - **Depuis le SPS: mise en place d'un comité inter-organisme.**



# Synthèse des priorités

Méthode d'observation	Cadre de réalisation	Priorité	R&T associée	Thème scientifique
Observer l'Univers dans le domaine des rayons X	L2 (ESA)	P0	Chaîne de détection et cryogénie	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Comprendre la fin des âges sombres et étudier la formation des premiers objets</li> <li>– Comprendre les mécanismes d'échange de matière et d'énergie aux différentes échelles, des étoiles aux trous noirs et aux galaxies</li> </ul>
Observer les modes B de la polarisation du fond diffus cosmologique	M (ESA) ou Opportunité (NASA/JAXA)	P0	Chaîne de détection et cryogénie	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Comprendre la phase d'inflation de l'Univers primordial</li> </ul>
Observer l'Univers lointain dans l'infrarouge lointain ou l'Univers proche dans l'ultraviolet	M (ESA) ou Opportunité (NASA)	P1		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Comprendre les mécanismes d'échange de matière et d'énergie aux différentes échelles, des étoiles aux trous noirs et aux galaxies</li> </ul>
Observer par spectrophotométrie les atmosphères des exoplanètes	M (ESA) ou Opportunité	P1		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Caractériser les exoplanètes et chercher les biosignatures</li> </ul>
Observer l'Univers dans le domaine du MeV	M (ESA) ou Opportunité	P2	Chaîne de détection	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Comprendre les explosions stellaires, la physique des objets compacts.</li> <li>– Comprendre l'origine des rayons cosmiques galactiques.</li> </ul>
Observer les étoiles dans l'ultraviolet	M (ESA) ou Opportunité	P2	Spectro-polarimètre	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Comprendre la formation et l'évolution des étoiles et des planètes.</li> </ul>
Observer l'univers lointain dans l'infrarouge proche	Opportunité	P2		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Comprendre la fin des âges sombres et étudier la formation des premiers objets</li> </ul>

Phase 0 également demandée pour « Observer les étoiles dans l'ultraviolet ».