

Groupe Thématique Astronomie Astrophysique

Prospective pour la période 2025-2030

Braine Jonathan, Dartois Emmanuel, Foglizzo Thierry, Grosso Nicolas, Gry Cécile, Hébrard Guillaume, Halloin Hubert, Knödlseher Jürgen, Laudet Philippe (thématicien), Maffei Bruno, Marques João (président), Prunet Simon, Ristorcelli Isabelle

Questions scientifiques actuelles : rappel

L'origine et évolution primordiale de l'Univers

- Quelle est la nature de la matière noire et celle de l'énergie noire ?
- Quelles sont les conditions prévalant après l'inflation cosmique ?
- Comment les premières perturbations de matière issues de l'inflation ont-elles donné naissance à la toile cosmique, aux premières galaxies, aux premiers trous noirs ?

L'évolution et la structuration de la matière baryonique

Aux grandes échelles :

- Comment le gaz est-il accrété et transformé à l'échelle des amas de galaxies, des galaxies et de leurs trous noirs centraux ?
- Comment les trous noirs centraux et les étoiles rétroagissent à leur tour sur le milieu intergalactique ?

Dans les galaxies :

- Comment se forment les étoiles et les planètes ?
- Quelle est la physique des intérieurs stellaires ?
- Comment la dynamique façonne l'aspect multi-phase du milieu interstellaire ?
- Comment le cycle de la matière accroît la complexité moléculaire ?

La fin des étoiles massives :

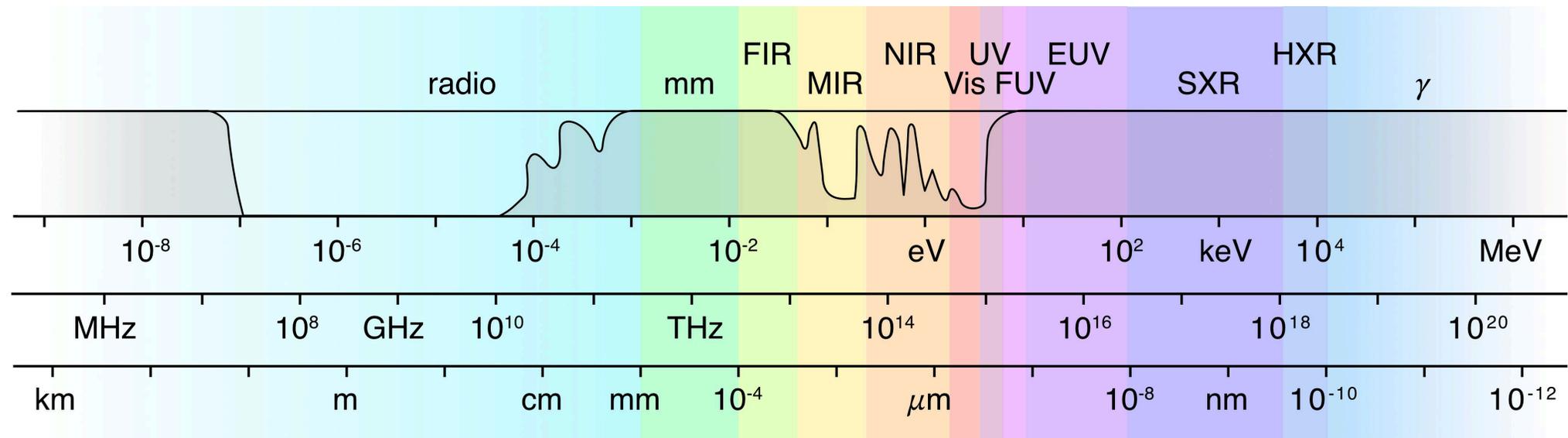
- Comment explosent les supernovæ ?
- Quels sont leurs progéniteurs ?
- Quel est le rôle des kilonovæ dans l'origine des éléments ?

Moyens d'observation

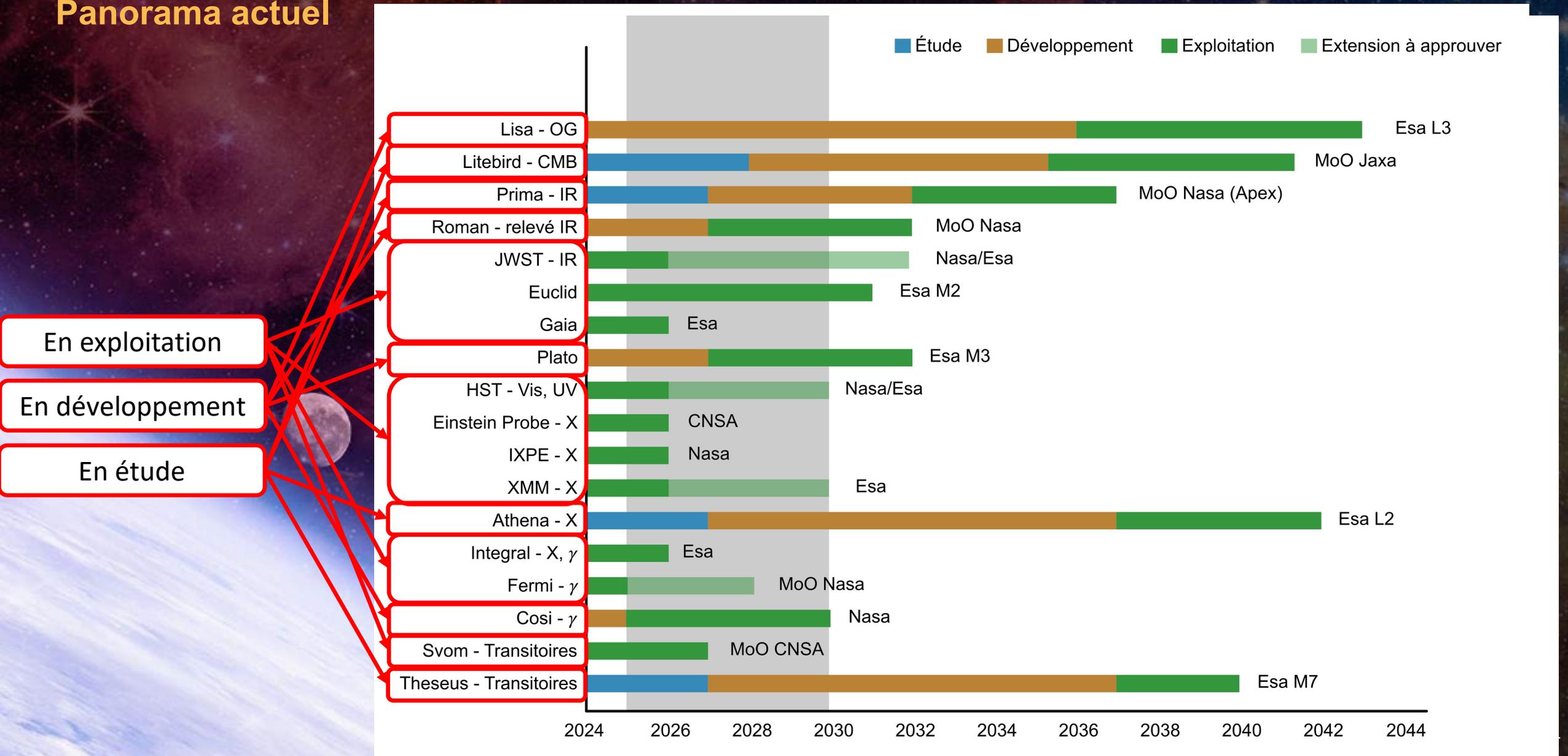
Diversité de champs d'étude : moyens d'observation complémentaires

- Rayonnement électromagnétique (en photométrie, spectroscopie, polarimétrie, imagerie), neutrinos, rayons cosmiques, ondes gravitationnelles.
- Accès à l'espace : absorption de l'atmosphère, scintillation, seeing.

Opacité de l'atmosphère terrestre



Panorama actuel



En exploitation

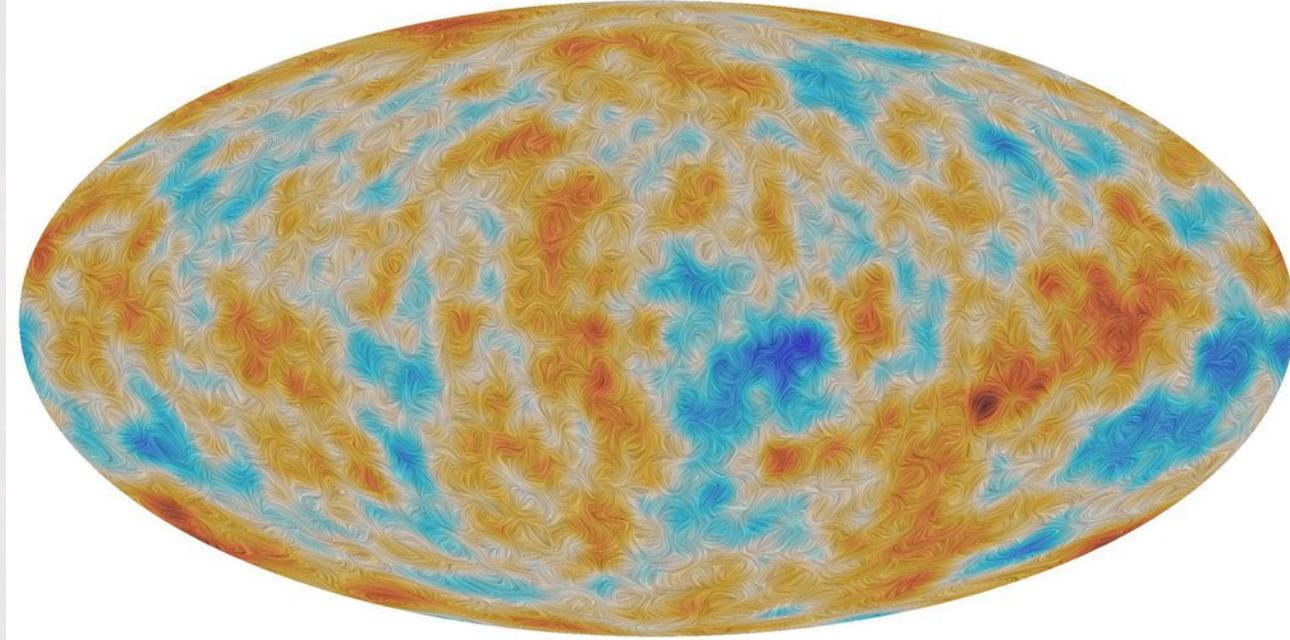
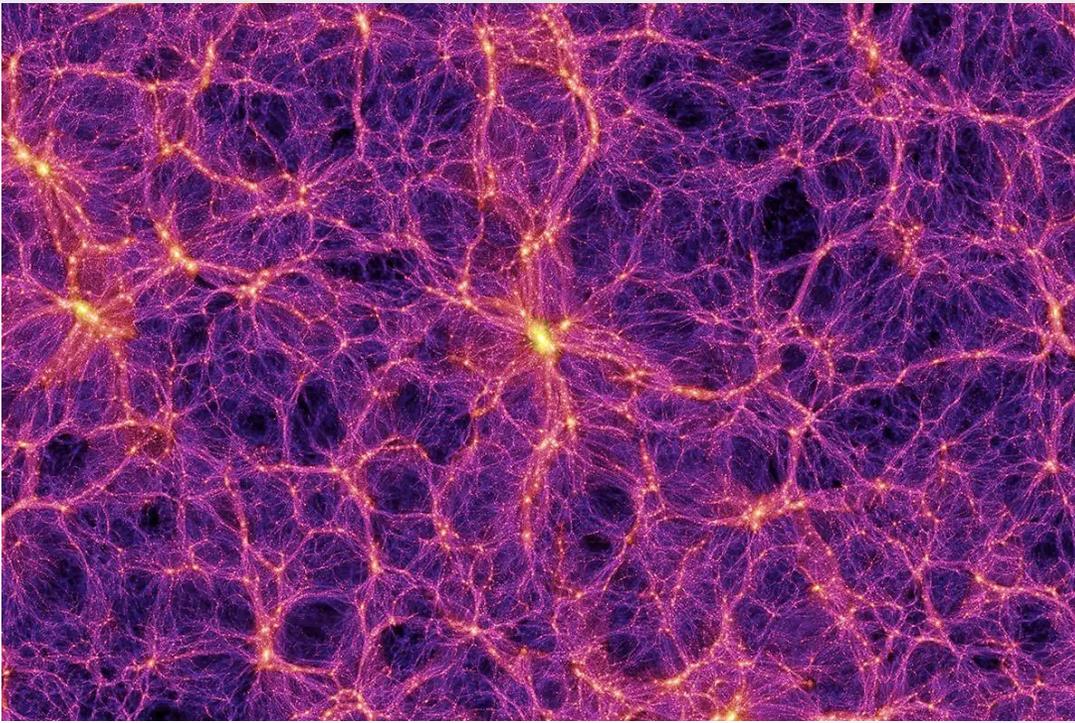
En développement

En étude

Thématiques scientifiques

L'origine et évolution primordiale de l'Univers

- Origine des structures de l'Univers : fluctuations de densité initiales propagées par l'inflation jusqu'aux échelles cosmologiques.
- Fond stochastique d'ondes gravitationnelles : modes-B de polarisation du CMB.
- Polarisation du CMB : sonder les OG primordiales.



- Les modes-E permettent de mesurer l'âge de l'Univers à l'époque de la réionisation.

Litebird est la seule mission en étude dédiée à la polarisation du CMB.

- Distorsions spectrales : informations sur l'évolution thermique de l'univers depuis le Big Bang.

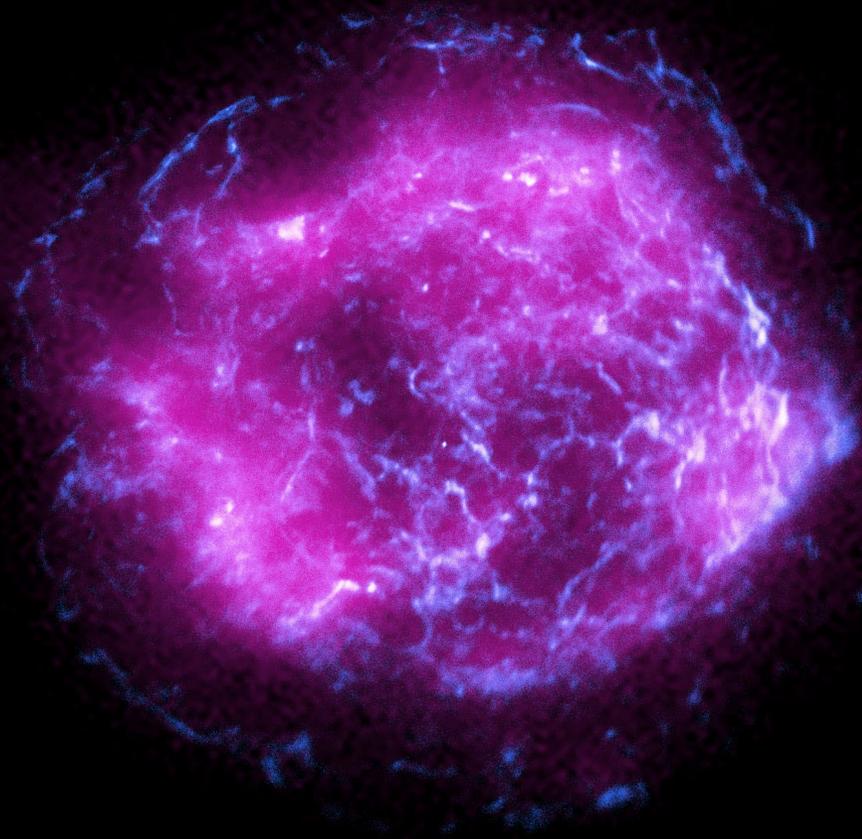
Thématiques scientifiques

Le gaz chaud

- La moitié des baryons : intra-amas, intergalactique, et circumgalactique ; restes de supernova ; couronnes et vent stellaires.
- Les **rayons X** : accès à l'Univers chaud, tracent des phénomènes gravitationnels intenses.
- Questions ouvertes : Comment le gaz chaud se structure dans les filaments cosmiques ? Comment coévoluent les galaxies et leurs trous noirs supermassifs ? Comment les trous noirs supermassifs accrètent de la matière et lancent des jets ?

Thématique **spectroscopie haute résolution en rayons X, spatialement résolue** identifié comme prioritaire depuis plusieurs prospectives.

Mission NewAthena : observatoire dédié à l'exploration de l'Univers en imagerie et spectroscopie haute résolution X et spatialement résolue.



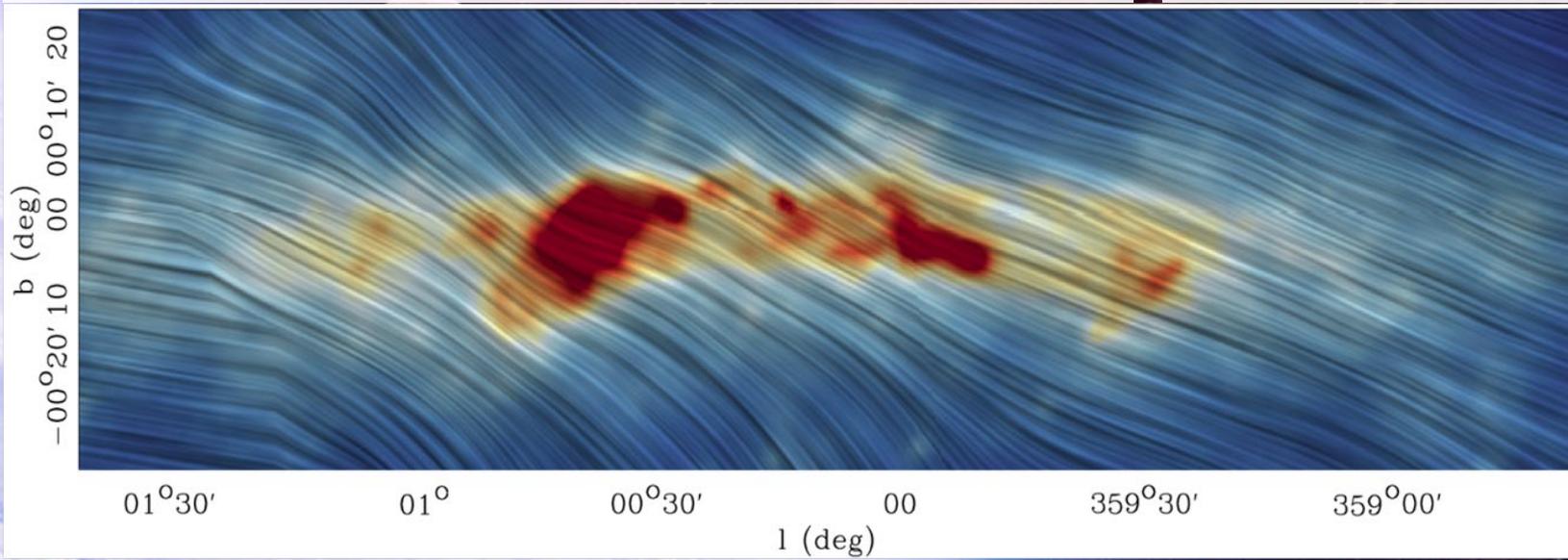
Reste de supernova Cas A en X (IXPE + Chandra, crédit Nasa)

Thématiques scientifiques

La composante baryonique froide et dense

- Origine de la formation des étoiles et des planètes dans les galaxies.
- Les observations de cette composante permettent d'étudier l'origine et l'évolution des galaxies, des éléments lourds et de la poussière ainsi que la formation stellaire dans la Voie Lactée et les galaxies proches et de caractériser les signatures chimiques de la genèse des systèmes planétaires.

- Beaucoup de raies et de bandes moléculaires se trouvent dans l'**infrarouge lointain (FIR) – spectroscopie FIR**.
- La **polarimétrie** donne accès au champ magnétique
- **Communauté française impliquée dans réponses à l'appel Nasa Apex sur un projet dans le FIR : *Prima***, sélectionnée pour une Phase-A compétitive.



Région du centre galactique avec le ballon Pilot. Lignes de champ magnétique déduites à partir de la polarisation.

Thématiques scientifiques

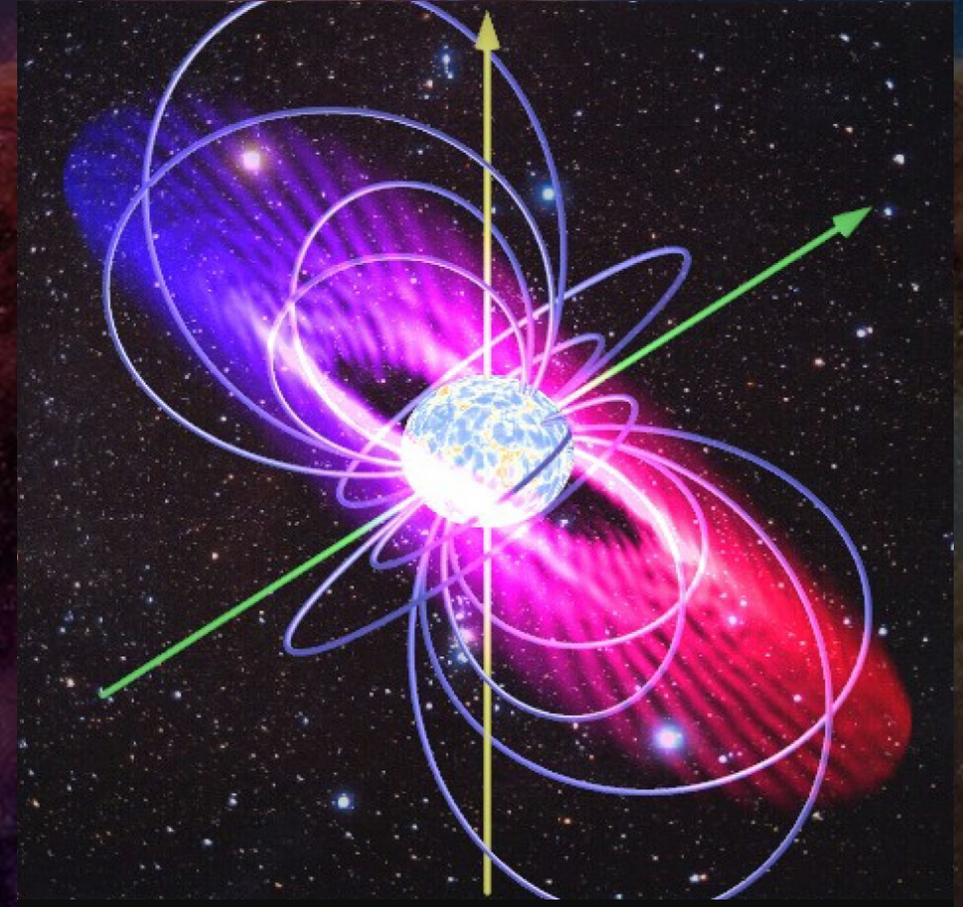
La perte de masse des étoiles chaudes ou évoluées - phases du milieu interstellaire

- Impacte fortement évolution stellaire et milieu interstellaire.
- Les mécanismes associés sont encore débattus.
- Rôle du champ magnétique : confine les vents stellaires magnétisés et rétroagit sur l'étoile, notamment en freinant sa rotation.

La spectropolarimétrie dans l'UV permet de détecter et de caractériser les champs magnétiques et les environnements locaux des objets astrophysiques.

- Spectropolarimétrie : une spécialité française.
- Spectroscopie avec haute résolution spectrale dans le UV aussi essentielle pour l'étude du milieu interstellaire dans toutes ses phases.

Communauté française impliquée dans le **projet Pollux**, un spectropolarimètre UV-Visible à haute résolution pour HWO (Habitable Worlds Observatory).



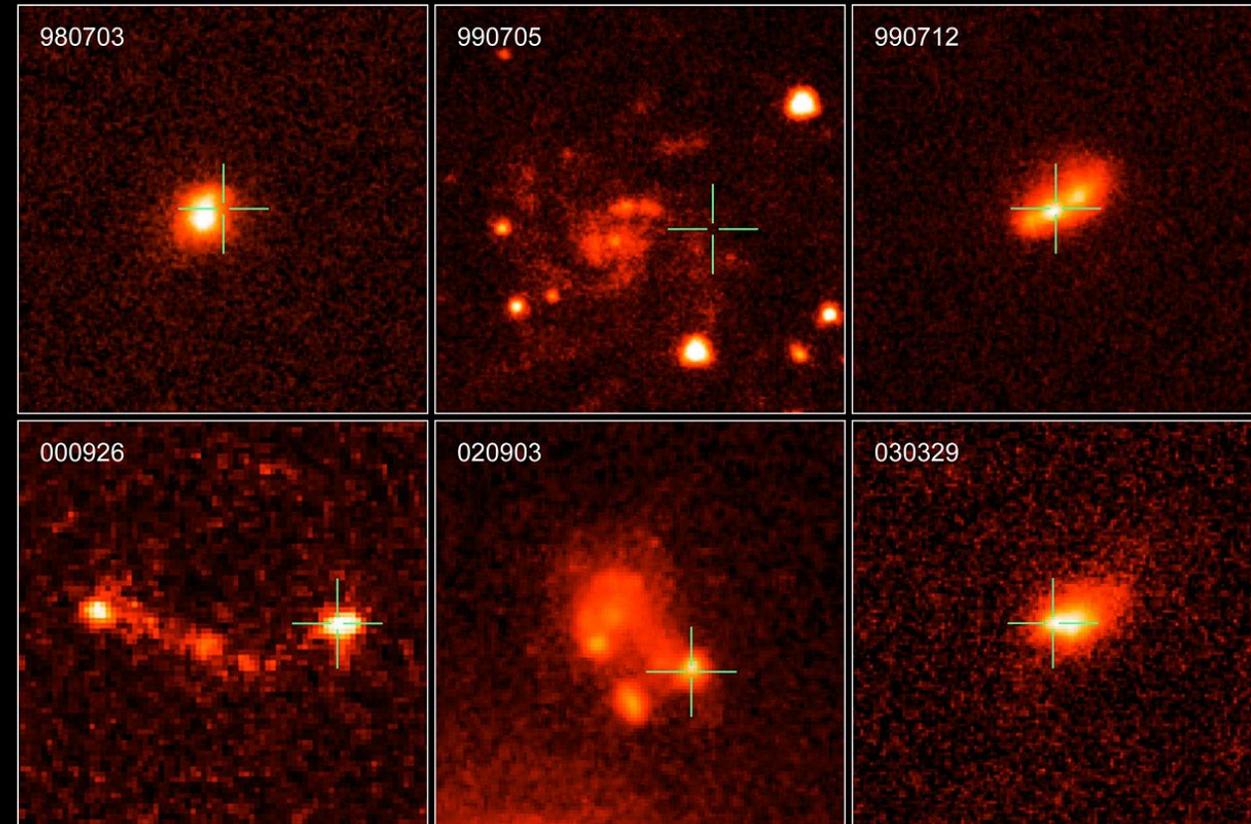
Thématiques scientifiques

Les phénomènes énergétiques et/ou transitoires.

- Sursauts gamma courts : fusion d'étoiles à neutrons (kilonovæ).
- Sursauts gamma longs : associés à l'effondrement du cœur des étoiles très massives.
- Plusieurs questions ouvertes : comment explosent les supernovæ ? Quels sont leurs progéniteurs ? Quel est le rôle des kilonovæ dans l'origine des éléments ?
- Les sursauts gamma peuvent aussi servir de sondes cosmologiques.

La **Surveillance en X très grand champ** permet de détecter le plus tôt possible et le plus grand nombre possible de contreparties de sursauts gamma. La spectroscopie rapide dans le NIR permet de déterminer la position et le décalage spectral de la galaxie hôte.

C'est le but de **Theseus** (phase A compétitive pour une mission M7 de l'Esa).



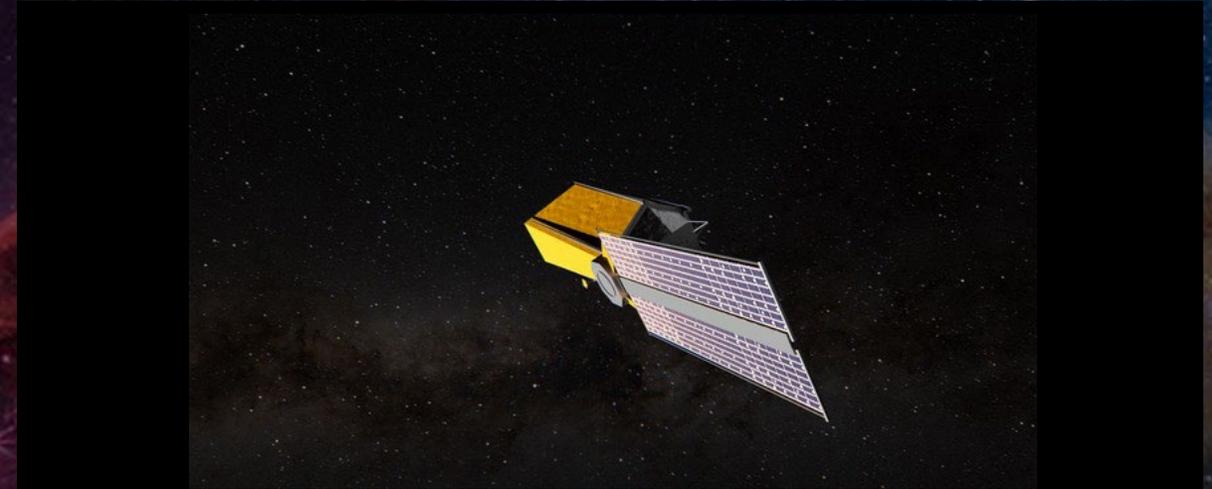
Gamma-Ray Burst Host Galaxies
Hubble Space Telescope

Thématiques scientifiques

L'univers non thermique

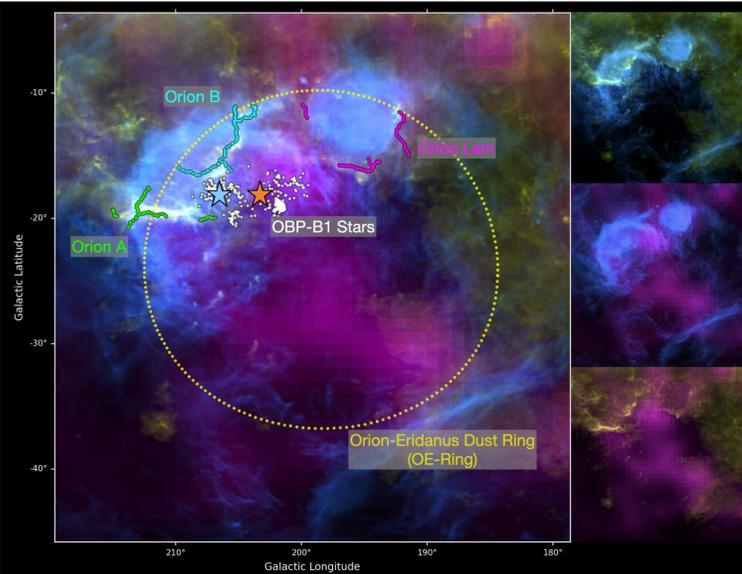
- Origine du rayonnement cosmique, mécanismes d'accélération de particules, nature des particules accélérées et leur impact sur l'environnement.
- Observation de raies gamma : isotopes radioactifs, annihilation électrons-positrons, chimie du milieu interstellaire induite par les rayons cosmiques.

Pas de mission prévue dans ce domaine en Europe.



Systèmes de petite dimension angulaire ou haut contraste

- Régions des disques protoplanétaires proches de l'étoile, les étoiles évoluées et leurs éjections de matière, et les régions centrales des noyaux actifs de galaxies, où résident des trous noirs supermassifs.
- Deux projets en étude : le projet européen **Life** (Large Interferometer For Exoplanets), un interféromètre IR, et l'instrument **HCI** (High-Contrast Imaging) proposé pour HWO.
- Implication de la communauté dans cette thématique dès maintenant.



Recherche et technologie, données, accompagnement scientifique, moyens au sol

Recherche et technologie

- X / distorsions spectrales CMB / FIR :
 - Détection basse température très sensible, chaînes cryogéniques actives et passives atteignant 100 à 50 mK dans l'espace.
 - Intégration des fonctionnalités de polarisation et de spectroscopie basse résolution directement dans les détecteurs.
- Spectropolarimétrie UV :
 - matériaux et revêtements
 - techniques d'adhérence moléculaire des composants des modulateurs
 - efficacité des revêtements UV
 - lames dichroïques
 - performance des détecteurs CMOS dans l'UV
 - efficacité des réseaux et des cross-disperseurs.

Validation des concepts à travers ballons et nanosats.

- Bisou (ballon distorsions spectrales) ;
- Casstor (nanosat spectropolarimétrie UV).

Nanosats pour la science : transitoires.

Données, accompagnement scientifique, moyens au sol

- Moyens au sol :
 - Crucial pour le retour scientifique d'Euclid.
 - Pour les transitoires : bonne couverture géographique pour le suivi.
- Soutien du Cnes très important pour développer techniques d'analyse sophistiquées et innovantes, avec une utilisation de plus en plus courante de l'apprentissage automatique et de l'intelligence artificielle.
- Importance des simulations pour un retour scientifique : accompagnement scientifique.
- Importance de la documentation, pérennisation et libre accès aux données issues des missions spatiales.

Tableau récapitulatif

Objectifs scientifiques	Observations ou mesures	Cadre de réalisation, phase et niveau de priorité
Structuration du gaz chaud dans les filaments cosmiques. Coévolution des galaxies et de leurs trous noirs supermassifs. Physique de l'accrétion dans les trous noirs supermassifs.	Spectroscopie X haute résolution spatialement résolue	Mission NewAthena, L2 Esa – phase A <p style="text-align: center;">Majeure</p>
Formation des structures en IR et rôle du champ magnétique. Milieu interstellaire galactique et extragalactique.	Spectroscopie et polarimétrie du MIR au FIR	Prima (Apex Nasa), future L Esa <p style="text-align: center;">Majeure</p>
Formation des premières structures. Nature de l'énergie sombre et de la matière sombre. Histoire thermique de l'univers.	Spectroscopie et polarimétrie en submillimétrique	Litebird (MoO Jaxa) – phase A Future M ou L Esa <p style="text-align: center;">Majeure</p>

Tableau récapitulatif

Objectifs scientifiques	Observations ou mesures	Cadre de réalisation, phase et niveau de priorité
Supernovæ, kilonovæ, origine des éléments. Histoire de la formation des trous noirs et de leur fusion. Les premières étoiles, galaxies.	Surveillance en X très grand champ et NIR	Theseus, M7 Esa – phase A compétitive Substantielle
Rétroaction des étoiles sur le milieu interstellaire. Milieu interstellaire galactique et extragalactique. Interaction étoiles-planètes. Activité stellaire.	Spectroscopie haute résolution et polarimétrie en UV et FUV	MoO Nasa, nanosats, Pollux-HWO (Nasa) Substantielle
Explosions de supernovæ, kilonovæ. Origine des éléments chimiques. Origine des rayons cosmiques.	Observations dans le domaine du MeV	MoO Nasa, nanosats, future M Esa Modérée
Formation stellaire, disques proto-planétaires. Disques d'accrétion autour d'objets compacts.	Accès à haute résolution angulaire / haut contraste	HCI-HWO (Nasa), Life (Esa) Modérée

Conclusion

- Les données spatiales ont permis des avancées remarquables dans tous les domaines de l'astrophysique.
- Grâce à l'accompagnement scientifique du Cnes, la communauté bénéficiera de l'exploitation des missions XMM-Newton, Fermi, Gaia, JWST, Euclid, Svom et bientôt Plato.
- A part Lisa, aucune mission de la thématique astronomie et astrophysique n'a été adoptée par l'Esa depuis Plato (2017), ou sélectionnée depuis Athena (2014).
- De nombreux objectifs scientifiques majeurs de la précédente prospective restent fortement d'actualité.
- Les moyens d'observation considérés comme prioritaires n'ont pas évolué de façon significative.

