

L'Univers en technicolor

PRINCIPE : L'OBSERVATION DU CIEL

L'Univers est peuplé de corps qui rayonnent dans les différentes longueurs d'onde du spectre électromagnétique, en fonction de leur énergie et de leur température. Ainsi, plus un corps est chaud et plus courte est sa longueur d'onde d'émission.

Toutes les longueurs d'onde ne peuvent pas être observées depuis le sol terrestre car elles sont absorbées par l'atmosphère (par exemple, une certaine partie de l'infrarouge et de l'ultraviolet) ; des télescopes sont alors envoyés dans l'espace.

Concernant la détection des rayons gamma : soit, ils sont observés directement depuis l'espace ; soit, ils le sont « au sol » à travers les gerbes de particules qu'ils produisent en pénétrant dans l'atmosphère, par effet Tcherenkov (lumière produite par une particule chargée se déplaçant dans un milieu avec une vitesse supérieure à celle de la lumière dans ce même milieu).

Système binaire
trou noir / étoile neutron

Supernovae
Cassiopeia A

Galaxie spirale
Messier 81

Amas d'étoiles
Messier

Nébuleuse d'Orion

Nuage Rho Ophiuchus

Télescopes
H.E.S.S.

Télescope
Herschel

Télescopes
VLT

Radiotélescope
de Parkes

1

Les rayons gamma sont les plus énergétiques, ils sont émis par des astres très compacts comme les étoiles à neutron ou lors d'événements violents comme l'effondrement d'une étoile. Ces messagers des plus lointaines galaxies jamais observées donnent des indications sur leur milieu d'origine ainsi que sur les régions de l'Univers traversées lors de leur voyage.

2

Les rayons X sont produits par des particules fortement accélérées ou dans des régions où le gaz est très chaud (plusieurs millions de degrés), ils sont émis par des pulsars, des restes de supernovæ ou des disques d'accrétion des trous noirs. Ils renseignent sur la composition, la température et la densité de ces environnements.

3

Les rayons ultraviolets sont émis en grande partie par les étoiles les plus chaudes, ils permettent de repérer les étoiles les plus brillantes d'une galaxie, c'est-à-dire les plus jeunes et les plus massives.

4

Le rayonnement visible est utilisé pour étudier les galaxies, les étoiles, les planètes et les comètes. Sa couleur dépend de la température de l'astre : pour une étoile, elle peut être bleue ou rouge, en passant par le jaune, ce qui donne des indications quant à son âge.

5

Le rayonnement infrarouge est produit par les gaz et les poussières, il révèle des nébuleuses ou cocons de poussières autour d'étoiles en formations : les jeunes étoiles rayonnent dans l'ultraviolet et sont entourées de poussières qui, « chauffées », émettent alors dans l'infrarouge.

6

Les micro-ondes sont émises par des nuages sombres de galaxies et par des gaz froids. Leur détection a permis d'obtenir la toute première image de l'Univers lorsque celui-ci avait 380 000 ans, renseignant ainsi sur ses structures aux tout premiers instants.

7

Les ondes radio sont produites par des particules chargées générées par les planètes, étoiles ou nuages de gaz, elles permettent d'en étudier la composition, la structure et le mouvement. Leur longueur d'onde étant très grande (supérieure à la taille d'un terrain de football), seuls des télescopes de grandes dimensions ronds (réseaux d'antennes) peuvent les détecter.

1

Rayons gamma

Fréquence (Hertz) : supérieure à 30 EHz (10^{18})
Longueur d'onde (Mètre) : inférieure à 10pm (10^{-12})

2

Rayons X

f : de 30 EHz (10^{18}) à 30 PHz (10^{15})
 λ : de 10 pm (10^{-12}) à 10 nm (10^{-8})

3

Ultraviolet

f : de 30 PHz (10^{15}) à 750 THz (10^{12})
 λ : de 10 nm (10^{-9}) à 400 nm (10^{-7})

4

Visible

f : de 750 THz à 430 THz
 λ : de 400 nm (10^{-7}) à 700 nm

5

Infrarouge

f : de 430 THz (10^{12}) à 100 GHz (10^9)
 λ : de 700 nm (10^{-7}) à 3 mm (10^{-2})

6

Micro-ondes

f : de 100 GHz (10^9) à 1 GHz
 λ : de 3 mm (10^{-2}) à 30 cm (10^{-1})

7

Ondes radio

f : inférieure à 1 GHz
 λ : supérieure à 30 cm

TOUT
S'EXPLIQUE



© Galaxie
Ultraviolet

© Neusz
Visible

© Spitzer
Infrarouge

Principales contributions de l'Irfu CEA

Rayons gamma

- **SIGMA** (1989 à 1994) : mise au point de la caméra à rayon gamma du télescope spatial Sigma.
- **INTEGRAL** (2002 à 2016) : développement de la caméra gamma nouvelle génération du télescope Ibis de la mission spatiale Integral, conception & administration de l'expérience.
- **H.E.S.S.** (depuis 2003) : développement de l'électronique de lecture (ASIC- ARSO) des photomultiplicateurs des caméras des quatre télescopes au sol H.E.S.S. / **H.E.S.S. II** (depuis 2012) : développement de la nouvelle génération ARSCI-ARSO pour le cinquième télescope au sol de H.E.S.S.
- **FERMI** (depuis 2008) : construction de deux éléments importants d'analyse de données du télescope spatial Fermi.
- **SVOM-MXT** (en 2021) : responsable pour la France de la mission spatiale SVOM, conception de la caméra du télescope MXT, du traitement numérique du télescope Eclairs.

Rayons X

- **XMM-NEWTON** (1999 à 2016) : participation à la réalisation de la caméra Epic du télescope spatial XMM-Newton (conception, réalisation, tests des contrôleurs des modes de fonctionnement et de l'électronique de commande d'Epic) ; implication dans le centre de surveillance scientifique (analyse et traitement numérique des données).
- **Solar Orbiter** (en 2018) : développement du spectro-imageur Caliste de l'un des dix instruments (STIX) du satellite Solar Orbiter.

Rayonnement visible

- **CFHT** (depuis 1979) : réalisation de l'ensemble de la caméra Megacam du télescope au sol CFHT.
- **SOHO** (depuis 1996) : responsabilité scientifique de l'interprétation des données pour la modélisation du Soleil et co-réalisation de l'un des 12 instruments (Golf) de la sonde spatiale Soho.
- **EUCLID** (en 2020) : initiateur du télescope spatial Euclid et engagé dans tous les postes clés : gestion du projet,

développement instrumental (imageur visible VIS, spectro-imageur proche infrarouge NISP), segment sol, surveillance scientifique.

- **PLATO** (en 2024) : développement des logiciels de la chaîne de traitement des données au sol et coordination de certaines activités scientifiques du télescope spatial Plato.
- **E-ELT** (en 2025) : participation à la construction du 3^e instrument du projet d'observatoire au sol, le spectro-imageur METIS.

Rayonnement infrarouge

- **ISO** (depuis 1995) : conception du premier des quatre instruments du satellite Iso : la caméra Isocam.
- **CASSINI** (2004 à 2015) : réalisation de la barrette de détecteur du plan focal du spectromètre infrarouge (CIRS) de la sonde spatiale Cassini et participation à l'analyse des données.
- **VLT** (depuis 1998) : responsabilité scientifique et technique de la caméra Visir du télescope numéro 3, sur les quatre de l'observatoire au sol VLT.
- **JWST** (en 2018) : responsabilité technique de l'un des quatre instruments du télescope spatial JWST, MIRI constitué d'une caméra et d'un spectromètre.

Micro-ondes

- **HERSCHEL** (2009 à 2013) : participation au développement de deux des trois instruments de l'observatoire spatial Herschel : la caméra à bolomètres Pacs et la caméra-spectromètre Spire ; et implication dans l'analyse des données et l'exploitation scientifique.
- **PLANCK** (2009 à 2013) : contribution à la mise en place de l'électronique bas-bruit, coordination des études de compatibilité électromagnétique de l'un des deux instruments (HFI) de satellite Planck ; et participation au traitement des données et à l'exploitation scientifique de la mission.
- **ALMA** (depuis 2011) : réalisation de la caméra ArTémis du télescope APEX de l'observatoire au sol Alma composé de soixante-six antennes.

les défis 216
du cea



L'Univers en technicolor

Depuis l'aube de l'humanité, le ciel est observé grâce à la lumière visible. Ainsi sont apparues dans les lunettes des astronomes, planètes, étoiles, galaxies et régions vides.

Puis, la détection des rayonnements émis par l'Univers dans toutes les longueurs d'onde du spectre électromagnétique a permis d'accéder à l'invisible ; ces régions vides se révélant alors peuplées de gaz et de poussières.

Des rayons gamma aux ondes radio que ses corps émettent, l'Univers dévoile tous ces aspects.

ENJEUX



L'observation du ciel répond autant à des impératifs philosophiques qu'à une quête scientifique. Depuis toujours, l'Homme regarde les étoiles briller ; et, dans les années 1930, de premiers détecteurs lui ouvrent la voie de l'observation de l'Univers dans toutes les longueurs d'onde du spectre électromagnétique. La communauté scientifique internationale s'est alors organisée pour réaliser des outils toujours plus performants. Un enjeu qui implique historiquement les chercheurs de l'Irfu, que cela soit dans la conception des instruments ou l'exploitation des données acquises.

Les ruptures technologiques à mettre en œuvre sont à la mesure des dimensions et de l'âge de l'Univers. D'une part, son observation se heurte aux limites de l'horizon cosmologique qui est la distance maximale au-delà de laquelle aucun signal, de quelque nature que ce soit, ne peut être reçu du fait du caractère fini de la vitesse de la lumière et de l'expansion de l'Univers. D'autre part, l'image de l'Univers fournie par tous ces instruments n'est pas celle de l'Univers réel tel qu'il

existe au moment où il est observé, justement parce que la vitesse « finie » de la lumière et l'expansion de l'Univers induisent des effets de distorsion et de retard. Par exemple : la lumière des objets lointains est décalée vers le rouge (froid) et devient de moins en moins énergétique (et donc visible). De même, la distance entre l'observateur et l'objet, au moment où sa lumière a été émise, et la distance au moment où elle est reçue, peut être très différente.

Néanmoins, les chercheurs sont parvenus à découvrir en 1992, grâce au satellite *Cosmic Background Explorer* (gamme des micro-ondes), la « première » lumière de l'Univers, émise 380 000 ans après le big bang : le fond diffus cosmologique contenant les premières fluctuations du ciel. Leurs recherches ne se résument toutefois pas à débusquer l'infini mais aussi à comprendre et décrypter les phénomènes cosmiques, de la formation des étoiles à la caractérisation de l'environnement des exoplanètes.