

# SAE Image processing : combinaison d'images spectrales des télescopes spatiaux

Rémi Cozot & Samuel Delepoulle

6 janvier 2025



# Objet de la SAÉ

Développer un logiciel qui permette de :

- ▶ télécharger des images astronomiques ;
- ▶ afficher les résultats ;
- ▶ mixer les canaux de différentes longueurs d'onde pour visualiser des objets avec des combinaisons personnalisées.

Plan de la présentation :

1. Contexte scientifique
2. Technique de la capture multi-spectrale
3. Comment accéder aux données/images
4. Organisation de la SAÉ

# Partie I

## Contexte Scientifique

# Introduction

**Les télescopes spatiaux multispectraux** sont des instruments scientifiques placés en orbite autour de la Terre ou dans l'espace lointain pour observer le cosmos à travers différentes longueurs d'onde : **visible, infrarouge, ultraviolet, rayons X, et plus.**

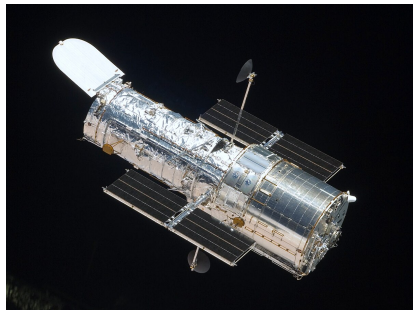
Leur missions principales

- ▶ approfondir notre compréhension de l'univers
- ▶ répondre aux grandes questions scientifiques
- ▶ produire des images du cosmos

# Le Télescope Spatial Hubble

**Objectif :** Observer l'univers dans le spectre visible, l'ultraviolet et l'infrarouge proche. **Applications :**

- ▶ Étude des galaxies lointaines.
- ▶ Observation des nébuleuses et amas d'étoiles.
- ▶ Contrainte des paramètres cosmologiques (expansion de l'univers).



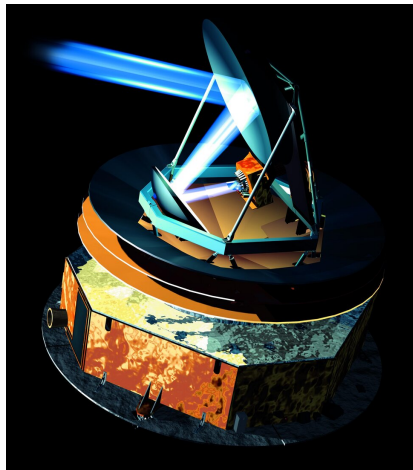
Hubble Space Telescope

# Observation du rayonnement cosmique

**Objectif :** Étudier l'origine et l'évolution de l'univers en observant le rayonnement cosmique. Exemple : le télescope

**Planck. Applications :**

- ▶ Étude de la structure à grande échelle de l'univers.
- ▶ Mesure de la densité de matière et d'énergie.
- ▶ Enregistre les micro-ondes (30 à 857 GHz).



# Observation dans l'infrarouge

**Objectif :** Observer les étoiles et galaxies cachées derrière des nuages de poussière cosmique.

Exemple : **James Webb Space Telescope (JWST)**.

**Applications :**

- ▶ Étude des premières galaxies.
- ▶ Formation des systèmes planétaires.



# Observation dans les rayons X

**Objectif :** Étudier les phénomènes énergétiques tels que les trous noirs et les supernovas.

Exemple : **Chandra X-ray Observatory.** Applications :

- ▶ Étude des trous noirs supermassifs.
- ▶ Analyse des explosions stellaires.



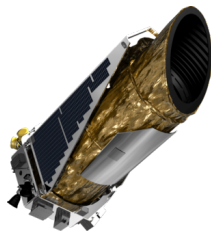


# Observation des exoplanètes

**Objectif :** Identifier et caractériser les planètes autour d'autres étoiles. Exemple : **Kepler Space Telescope.**

**Applications :**

- ▶ Détection des planètes habitables.
- ▶ Analyse des atmosphères planétaires.



# Conclusion

**Les télescopes spatiaux multispectraux** sont essentiels pour :

- ▶ Capturer des informations de l'univers à travers différentes longueurs d'onde.
- ▶ Répondre à des questions fondamentales sur l'origine et l'évolution de l'univers.
- ▶ Découvrir de nouveaux objets célestes et phénomènes.

Leur diversité technologique permet de combiner les observations pour une vision globale du cosmos.

## Partie II

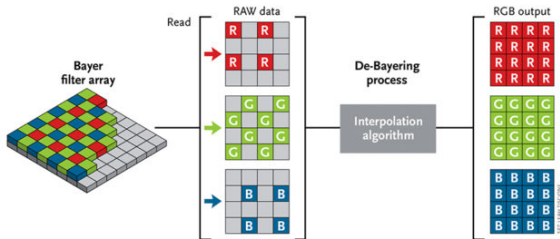
### Techniques de capture multi-spectrale

# Introduction

- ▶ La couleur est importante (surtout pour les humains !).
- ▶ Problème : par leur fonctionnement physique, les capteurs ne sont sensibles qu'à la lumière (plus ou moins indépendamment de la longueur d'ondes)
- ▶ Solution = filtrer
- ▶ Deux techniques courantes :
  - ▶ Ajouter une *mosaïque de Bayer* sur des capteurs.
  - ▶ Caméra monochromatique avec des filtres.

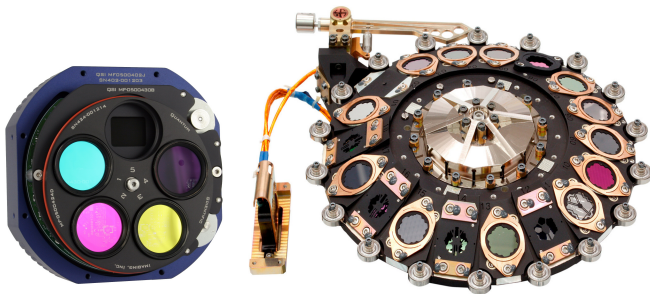
# Mosaïque de Bayer

- ▶ Une grille de filtres couleur RGB sur un seul capteur.
- ▶ Généralement arrangée en 50% Vert, 25% Rouge et 25% Bleu.
- ▶ Les algorithmes de dématricage reconstruisent l'image en couleur complète.
- ▶ Inconvénients : perte de sensibilité = pas optimal pour les télescopes.



# Caméra monochromatique avec filtres

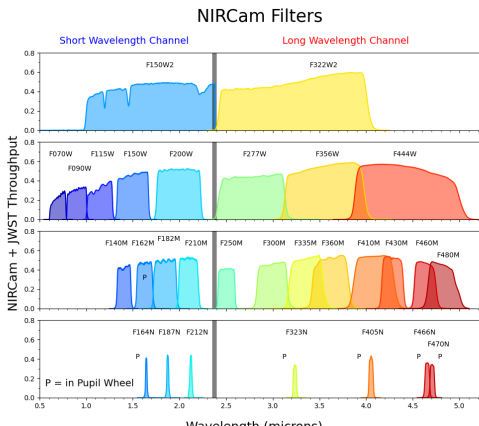
- ▶ Utilise un seul capteur pour capturer des images.
- ▶ Les filtres sont appliqués séquentiellement :
  - ▶ ex : pour les canaux Rouge, Vert et Bleu pour le visible
  - ▶ toute autre combinaison (Visible, IR, UV, rayons X...)
- ▶ La combinaison des images crée une image en couleur :  
"vraie" ou "fausse" couleur.



**Figure:** Comparaison entre une roue à filtre d'un télescope amateur et la roue du télescope spatial James Webb (JWST).

# Défis pour les télescopes spatiaux

- ▶ Les caméras monochromatiques avec filtres sont préférées pour leur précision.
- ▶ Capteurs et filtres spécialisés pour différentes longueurs d'onde (ex : infrarouge, ultraviolet).
- ▶ Exemple : le télescope spatial James Webb capture plusieurs images (caractérisées par leur bande passante).



# Avantages des filtres monochromatiques dans l'espace

- ▶ Résolution plus élevée grâce à la capture monocanal.
- ▶ Capacité à étudier des lignes spectrales spécifiques (ex : hydrogène-alpha).
- ▶ Flexibilité d'imagerie en combinant différents ensembles de filtres = votre travail.



# En résumé

- ▶ La capture d'images en couleur implique des compromis entre précision et praticité.
- ▶ La mosaïque de Bayer est efficace mais moins précise.
- ▶ Les caméras monochromatiques avec filtres sont polyvalentes, notamment pour les applications scientifiques.
- ▶ Les télescopes spatiaux utilisent l'imagerie monochromatique pour le niveau de détail et de précision. .

## Partie III

Comment accéder aux données/images

## Qu'est-ce que MAST ?

- ▶ MAST (Barbara A. Mikulski Archive for Space Telescopes) est l'archive des données des télescopes spatiaux.
- ▶ Gérée par le Space Telescope Science Institute (STScI).
- ▶ Contient des données de missions comme Hubble, TESS, Kepler, etc.
- ▶ Objectif : rendre les données accessibles à la communauté scientifique et au public.

## Principales missions couvertes par MAST :

- ▶ Hubble Space Telescope (HST)
- ▶ Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS)
- ▶ Kepler et autres missions.

# Comment sont classées les observations ?

- ▶ **Par mission** : Chaque télescope a une collection distincte.
- ▶ **Par type d'observation** : Images, spectres, courbes de lumière.
- ▶ **Par programme d'observation** : Programmes scientifiques spécifiques.
- ▶ **Par objet céleste** : Indexation des observations par objets (ex : étoiles, exoplanètes).

MAST permet une recherche avancée avec des requêtes pour affiner l'accès aux données.

# Formats utilisés : FITS

## FITS (Flexible Image Transport System) :

- ▶ Format standard pour les données astronomiques.
- ▶ Utilisé pour stocker des données numériques et des métadonnées.
- ▶ Organisé en *headers* (en-têtes) et *data arrays* (tableaux de données).

## Exemple d'en-tête FITS :

```
SIMPLE   = T
BITPIX   = -32
NAXIS    = 2
NAXIS1   = 1024
NAXIS2   = 1024
END
```

Cela décrit une image 2D de 1024x1024 pixels avec des données en 32 bits.

# Cycle des données

Une observation du JWST :

- ▶ Une proposition scientifique
- ▶ Les données capturées par NIRCam sont traitées par le pipeline STScI.
- ▶ Le chercheur principal analyse les données et publie les résultats.
- ▶ Après la période d'exclusivité (1 an en général), les données sont rendues publiques pour d'autres analyses.

# Structure des noms de fichiers JWST

## Format général :

`jwpppppppp-ooo_ccc_nnnn.fits`

## Description des composants :

- ▶ `jw` : Indique le télescope **James Webb Space Telescope**.
- ▶ `pppppppp` : **ID du programme** (proposition ou projet d'observation).
- ▶ `o` : **Numéro d'observation** (1 chiffre).
- ▶ `ee` : **ID d'exposition** (2 chiffres, unique pour chaque capture).
- ▶ `ccc` : Identifiant lié au **dithering** ou au détecteur (3 chiffres).
- ▶ `nnnn` : Numéro de version ou étape de traitement (4 chiffres).
- ▶ `.fits` : Format de fichier scientifique standard.

# Structure des noms de fichiers JWST

## Exemple :

`jw02731001001_02101_00001_nrca1.fits`

- ▶ 02731 : Programme ID (proposition 2731).
- ▶ nrca1 : Instrument et détecteur (NIRCam, module A, détecteur 1).



# Comment utiliser les données avec Python ?

## Outils nécessaires :

- ▶ `astropy` : Bibliothèque Python pour la gestion des fichiers FITS.
- ▶ `astroquery` : Utilitaire pour télécharger les données depuis MAST.
- ▶ `matplotlib` : Pour visualiser les données astronomiques.

## Ressources (sur Moodle):

- ▶ `imageWidgetPtQt6.zip` : Pour afficher proprement une image en Qt
- ▶ Jeux de données : pour tester les algorithmes sans télécharger

## Exemple : chargement et affichage ?

Code minimal en Python pour charger et afficher une image FITS :

```
from astropy.io import fits
import matplotlib.pyplot as plt

# Charger le fichier FITS
data = fits.getdata('image.fits')

# Afficher l'image
plt.imshow(data, cmap='gray')
plt.colorbar()
plt.show()
```

Ce code charge une image FITS et l'affiche à l'aide de matplotlib.

# Astroquery

- ▶ Astroquery = une bibliothèque Python pour interroger des bases de données astronomiques et récupérer des données pour la recherche. Elle offre une interface simple pour accéder à une large gamme de services.
- ▶ Archives de missions : Données de télescopes comme Hubble, Chandra, ou JWST. Catalogues astronomiques : Gaia, VizieR, SIMBAD, etc.
- ▶ Téléchargement automatisé : Accès rapide aux données spectrales, images et métadonnées.
- ▶ Documentation `astroquery.readthedocs.io`

# Conclusion

- ▶ MAST est une ressource pour les données astronomiques.
- ▶ Les formats comme FITS sont largement utilisés pour stocker ces données.
- ▶ Python, avec des bibliothèques comme astropy, permet de facilement analyser et visualiser ces données.

Pour en savoir plus, visitez <https://mast.stsci.edu>.

# Partie IV

## Organisation de la SAÉ

# Travail à réaliser

Logiciel en python qui permette de :

- ▶ télécharger des données des télescopes spatiaux à l'aide de bibliothèques comme **Astroquery** ;
- ▶ afficher les résultats sous forme d'images au format **FITS** ou de graphiques, et permettre la sélection d'objets spécifiques ;
- ▶ mixer les canaux de différentes longueurs d'onde (visible, infrarouge, rayons X, etc.) pour visualiser des objets avec des combinaisons personnalisées.

**Vous êtes libres d'organiser votre développement comme vous le souhaitez.**

# Principe de la SAÉ

- ▶ Travail en binôme
- ▶ Mode recherche
- ▶ Les enseignants ne savent pas tout !
- ▶ Mise à disposition de documentation et de boîtes à outils.
- ▶ Un forum sur Moodle
- ▶ Restitution sous forme d'un colloque (dernier jour).
  - ▶ Partage des découvertes et des difficultés rencontrées
  - ▶ Slides (5 au max) rendues avant
  - ▶ 5 min de présentation orale + 1 minute de questions

# Plan de la SAÉ

Titre	Lundi 6/1	Mercredi 8/1	Jeudi 9/1	Vendredi 10/1	Mercredi 15/1	Jeudi 16/1	Vendredi 17/01
<b>Matin</b>	Présent. du sujet	TP	TP	TP	TP	TP	TP
<b>Après- midi</b>		TP	TP	TP		TP	Colloque
<b>Livrables</b>			Partie algo			Slides	Fiche d'auto- éval. + Projet terminé

Table: Planification sur deux semaines