

# TP Coupole

Op

1



1- Téléchargez le  
poly de TP svp



2- Connectez-  
vous pour le  
choix des sujets

# TP Coupole

## *Option Astro M1*

Séance 1 — 2025-2026

Hervé Dole

Pacôme Estève, Louise Mousset, Laura Nardelli  
(Institut d'Astrophysique Spatiale)

(inspiré de Cateline Lantz)

# Séance du jour = séance 1

- Première partie :
  - ♦ A. Présentation des TP (organisation et sujets)
  - ♦ B. Cours d'introduction (traitement du signal)
  - ♦ C. Choix du sujet (vote en ligne Wooclap)

PAUSE

- Deuxième partie :
  - ♦ TD pour le traitement des données en salles info 305 et 306



# A. Contexte des TP

- TP obligatoire dans le cadre de l'option Astro (AA et ACO), sous forme d'un projet à mener en groupe
- But => vous donner les principes de base de **la démarche observationnelle, de la question astrophysique jusqu'aux résultats**, en passant par:  
l'observation, le traitement et de l'analyse de données à but scientifique, en vous donnant la possibilité d'étudier par vous-même, sur le ciel, les phénomènes physiques vus en cours.
- TP : projet de spectroscopie astrophysique

# Évaluation des TP

Note de TP :

- 70% = la note de soutenance orale le 9 janvier
  - ♦ 50% pour l'oral de groupe
  - ♦ 20% en individuel pour les réponses aux questions
- 30% = note individuelle reflétant votre implication
- + un bonus potentiel de +1 point sur le devoir maison (DM)

*Poids de la note de TP Coupole : 17,5% en ACO et 20% en AA*

# Organisation des TP

4 séances  
et travail personnel

- 1 séance plénière d'introduction au hbar (aujourd'hui)
- 1 devoir maison (DM) pour *point bonus* de note à rendre le 26/09 à 18h
- 1 séance d'observation *la nuit* par groupe (du lundi au jeudi, ~19h-23h30)  
*convocation 48h avant par email*
- 1 séance de tutorat par groupe: contact par mail avec votre encadrant dès que nécessaire
- 1 séance plénière de 2h au hbar avant Noël pour finaliser
- Examen oral le 9 janvier

# Ressources pour les TP : documentation

Le poly de TP est disponible sur le site web de l'archive de la Coupole :

<https://coupole.ias.u-psud.fr/>



Il regroupe toutes les informations dont vous aurez besoin.  
-> Avoir le pdf avec vous à chaque séance.

Il sera à étudier en complément des notions vues en cours pour vous préparer aux questions lors de la soutenance, et pour préparer la séance d'observation.

L'archive regroupe d'anciennes données ainsi que d'autres documents utiles.

Vous avez accès aux salles info toute l'année !

# Ressources pour les TP : matériel



Cf poly de TP section 2



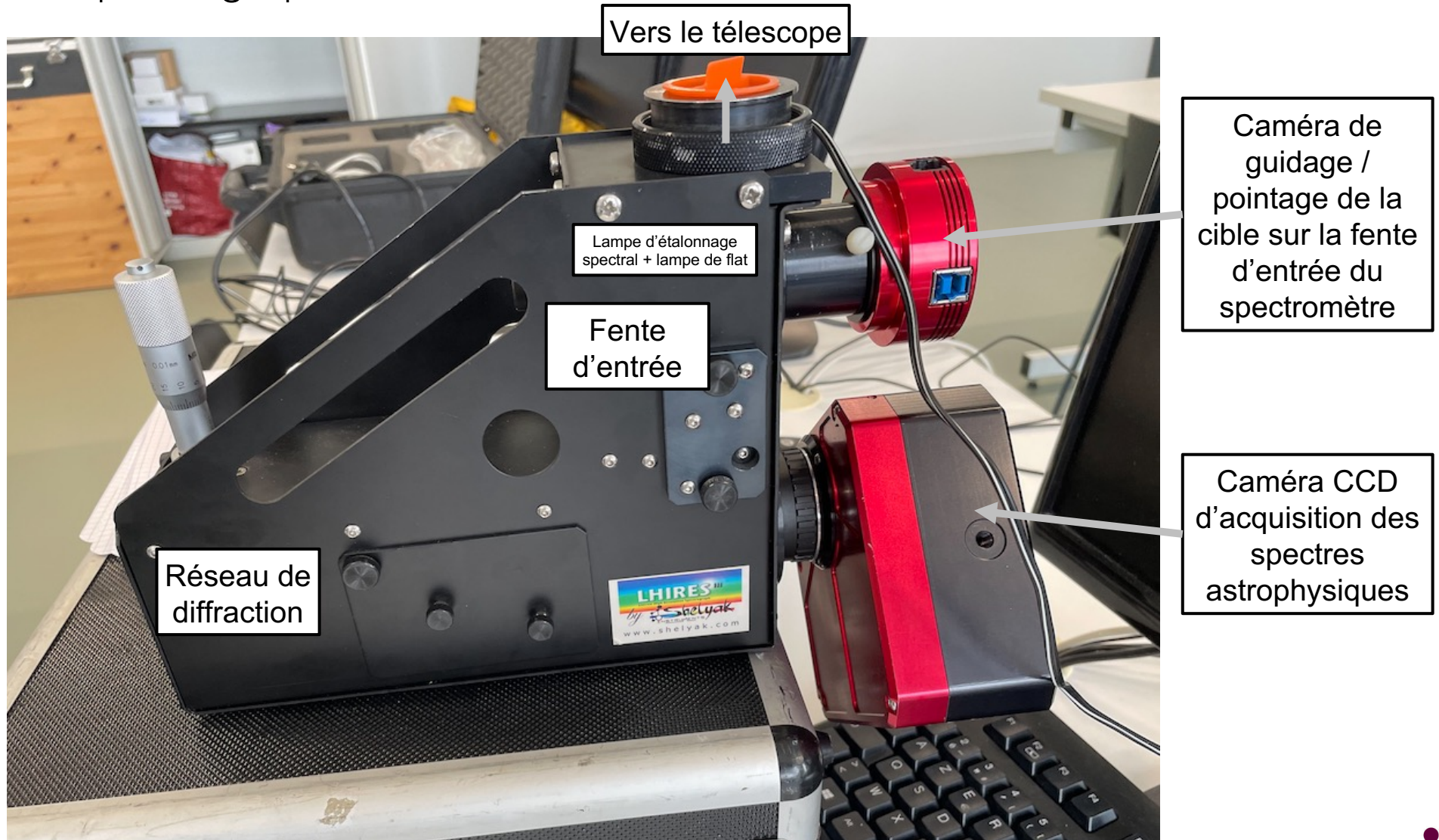
# Ressources pour les TP : matériel



Cf poly de TP section 2

# Ressources pour les TP : matériel

## Le spectrographe LHIRES III



Cf poly de TP section 2



# Ressources pour les TP : matériel

## Le spectrographe LHIRES III

Vers le télescope

Caméra de  
guidage /  
pointage de la

Longueurs d'onde

Réseau de  
diffraction

Caméra CCD  
d'acquisition des  
spectres  
astrophysiques

Cf poly de TP section 2

# Contenu du devoir maison (DM)

à rendre pour le 26/9 à 18h par email à votre encadrant

Dans un Jupyter Notebook (fichier ipynb, utilisation de Python) :

Ouverture des images .fits, opérations entre images, production de graphes, analyse

-> Executer le notebook et remplir les valeurs demandées

-> Répondre à des questions et commenter

Envoyer le fichier .ipynb final par mail (votre adresse universitaire) à votre encadrant avec [M1 TP coupole hbar] DM dans l'objet du mail



# Pour le devoir maison (DM)

## Index of /archive

| Name                                 | Last modified    | Size | Description |
|--------------------------------------|------------------|------|-------------|
| <a href="#">Parent Directory</a>     |                  | -    |             |
| <a href="#">Archives obs TP M1/</a>  | 2025-08-26 18:38 | -    |             |
| <a href="#">Archives projets L3/</a> | 2025-05-06 22:41 | -    |             |
| <a href="#">Documents TP/</a>        | 2025-08-26 16:05 | -    |             |
| <a href="#">autres observations/</a> | 2025-05-06 22:43 | -    |             |

Apache/2.4.62 (Ubuntu) Server at coupole.ias.u-psud.fr Port 443

## Index of /archive/Documents\_TP

| Name   | Last modified    | Size | Description |
|--|------------------|------|-------------|
| <a href="#">Parent Directory</a>                 |                  | -    |             |
| <a href="#">DM a rendre/</a>                     | 2025-08-26 22:06 | -    |             |
| <a href="#">Notebook de TP Astro Coupole/</a>    | 2025-08-26 22:06 | -    |             |
| <a href="#">TP M1 Astro Version2025_2026.pdf</a> | 2025-08-25 12:59 | 9.7M |             |
| <a href="#">Tutos/</a>                           | 2025-08-26 16:05 | -    |             |

Apache/2.4.62 (Debian) Server at coupole.ias.u-psud.fr Port 443

## Index of /archive/Documents\_TP/DM

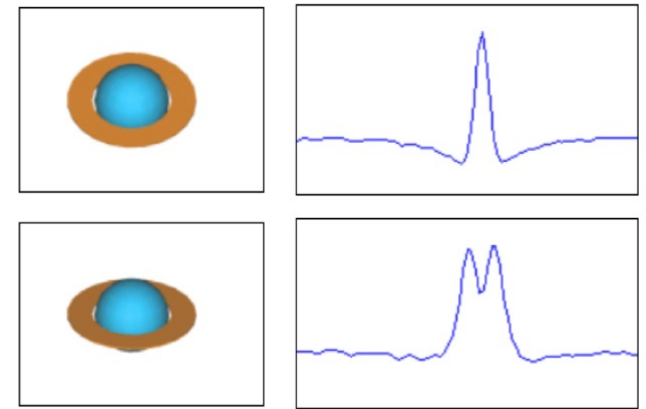
| Name   | Last modified    | Size | Description |
|--|------------------|------|-------------|
| <a href="#">Parent Directory</a>             |                  |      |             |
| <a href="#">DM.ipynb</a>                     | 2024-09-10 17:32 | 3.0M |             |
| <a href="#">DM notebook avec donnees.zip</a> | 2024-09-10 17:32 | 28M  |             |
| <a href="#">beta_aurigae/</a>                | 2024-07-26 10:55 | -    |             |

Apache/2.4.62 (Debian) Server at coupole.ias.u-psud.fr Port 443

Exécuter, compléter et envoyer  
DM\_NOM\_Prenom.ipynb

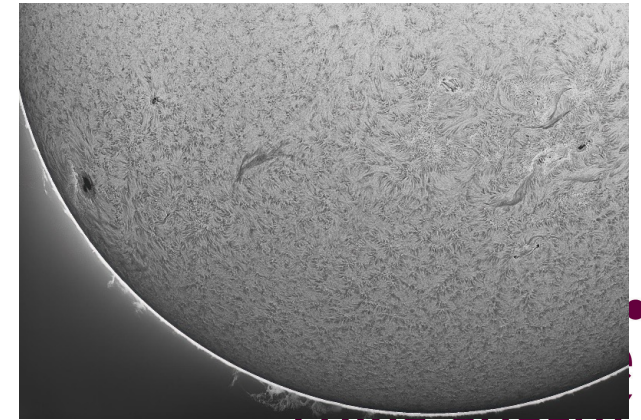
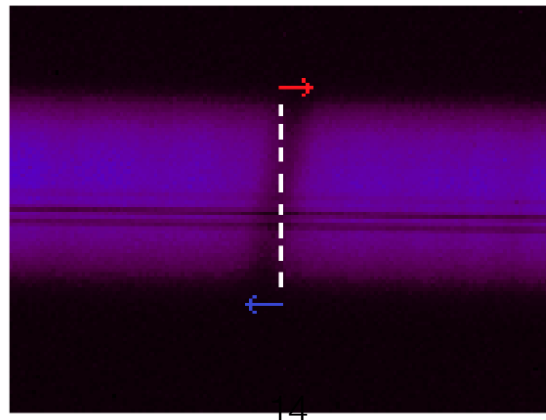
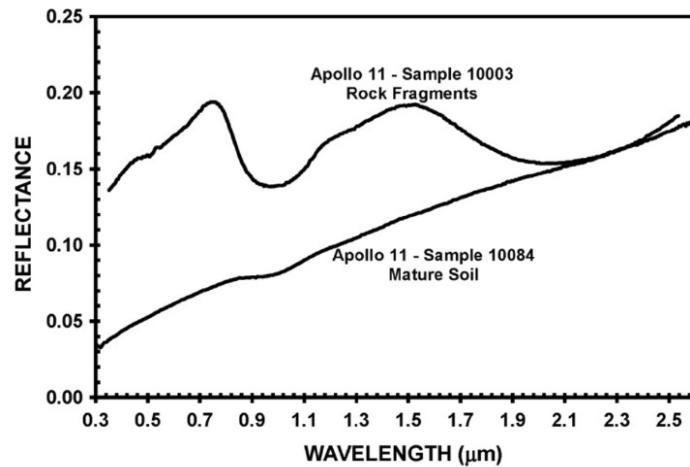


# Les 5 sujets en spectroscopie



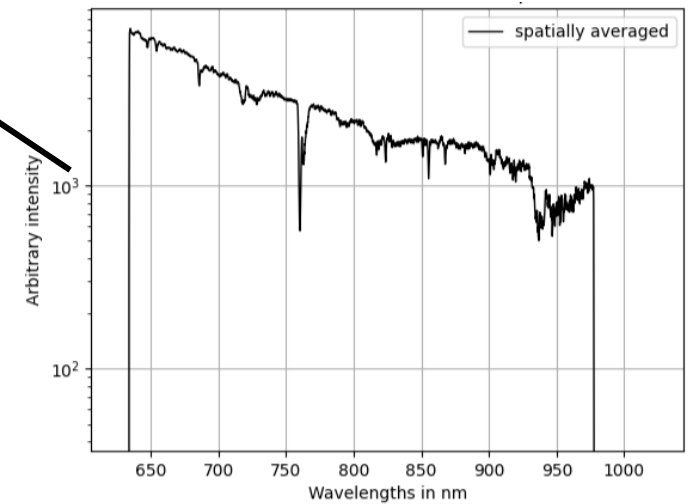
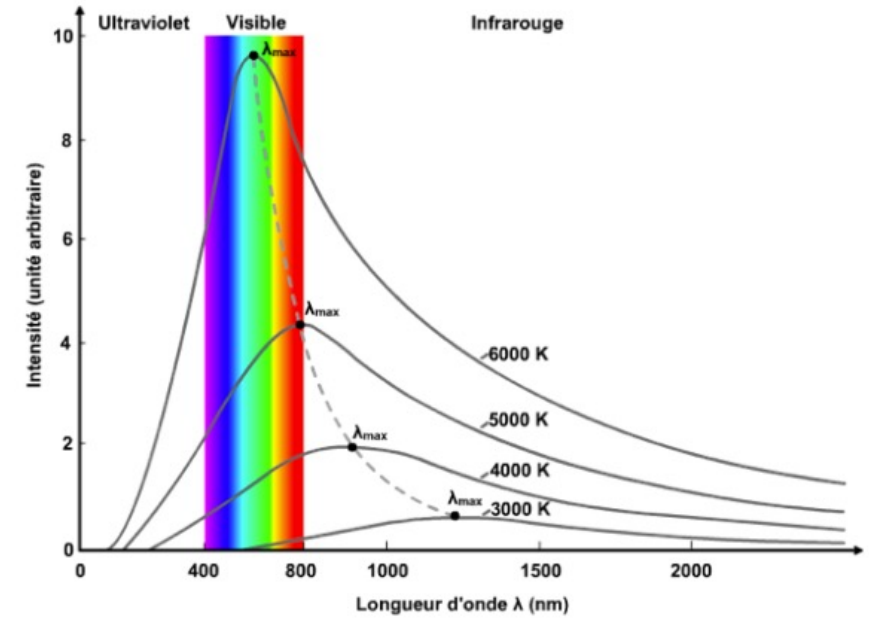
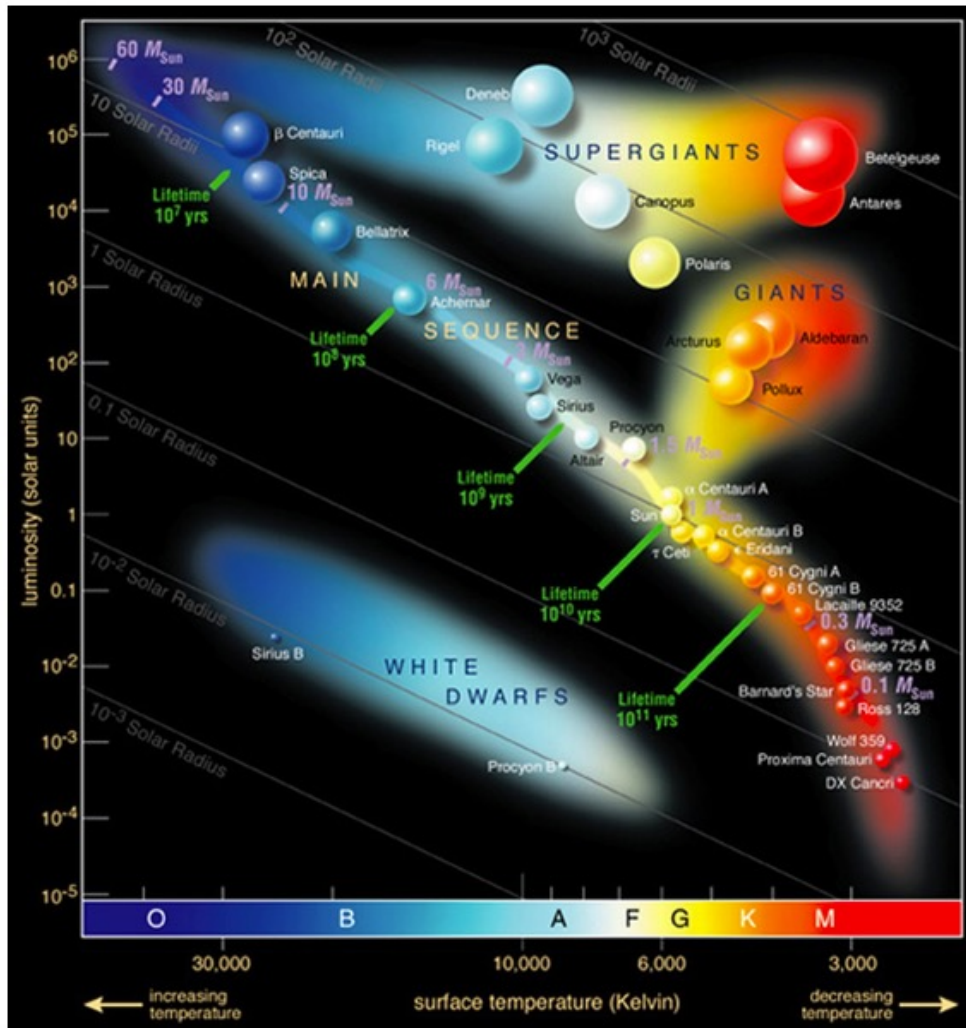
- 4.1 Évolution stellaire
- 4.2 Physique des étoiles Be
- 4.3 Comparaison des terrains lunaires
- 4.4 Vitesse de rotation des géantes gazeuses
- 4.5 Étude de l'atmosphère basse du Soleil *[de jour]*

Cf poly de TP section 4



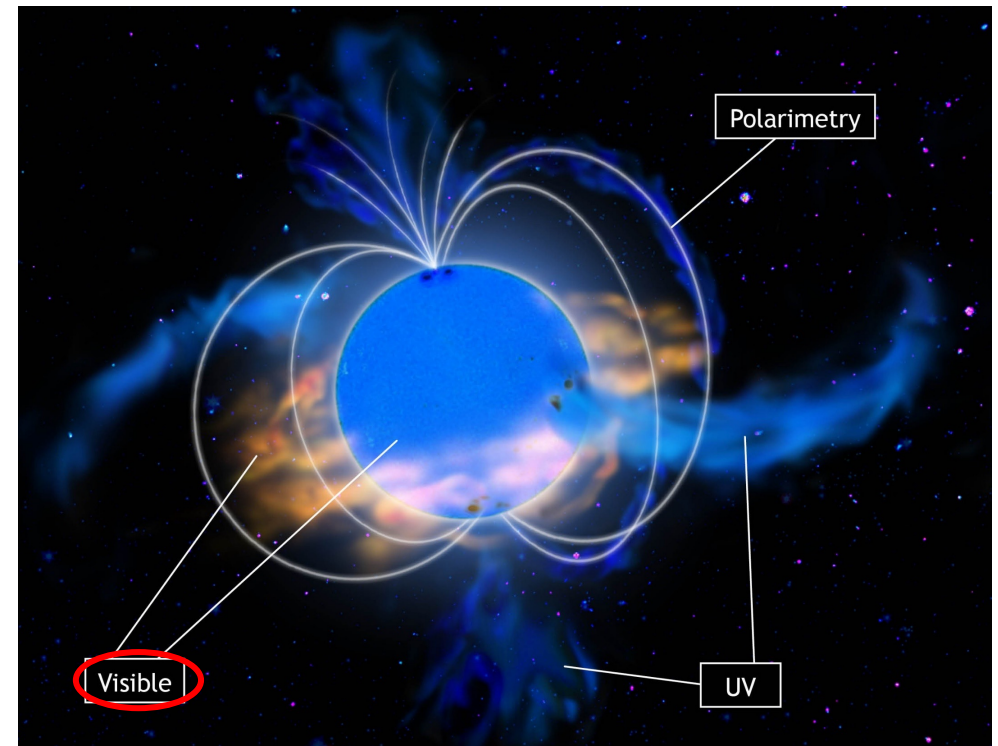
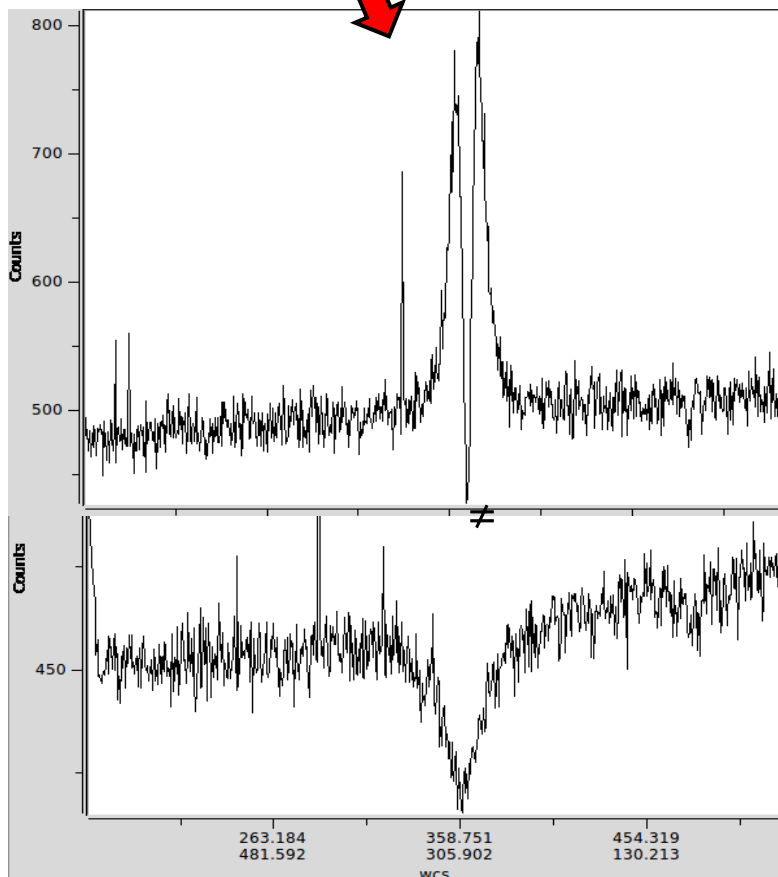
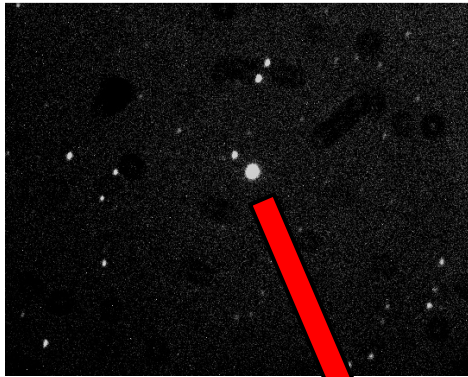
# 4.1 Évolution stellaire

Louise Mousset



## 4.2 Physique de l'émission / absorption des étoiles Be

Pacôme Estève

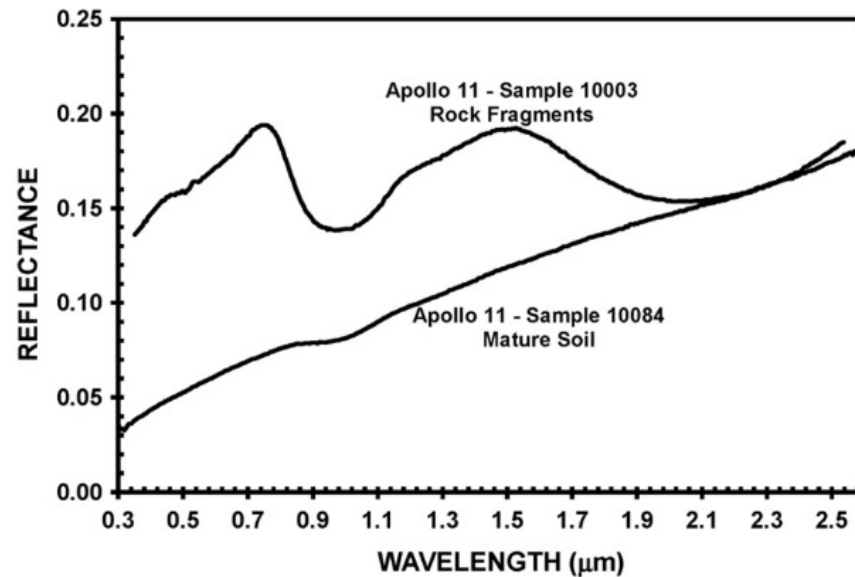


Ou comment récupérer des informations géométriques et chimiques sur une étoile juste en analysant sa lumière ☺

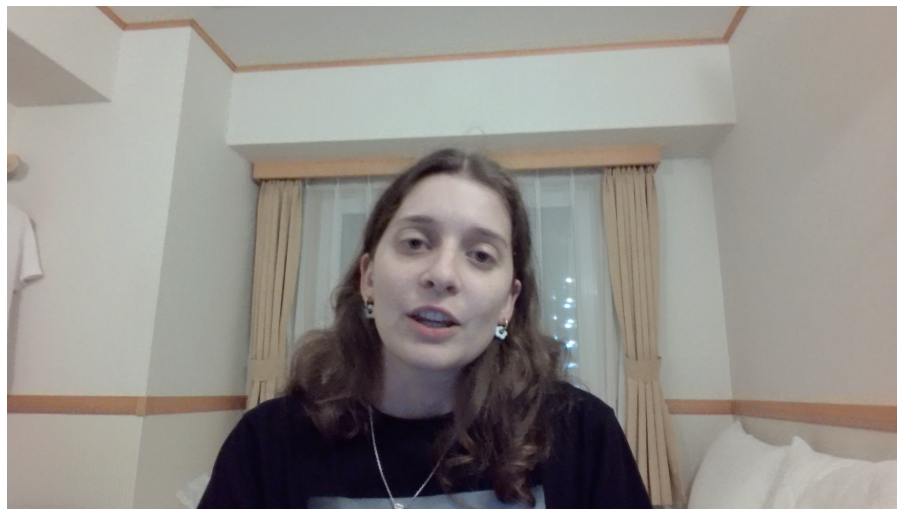
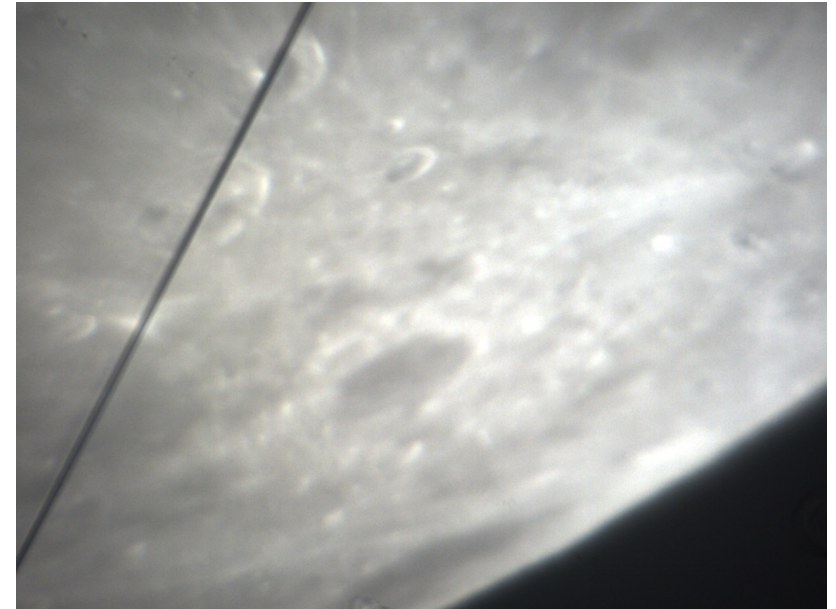


# 4.3 Comparaison des âges des terrains lunaires par spectroscopie

Laura Nardelli

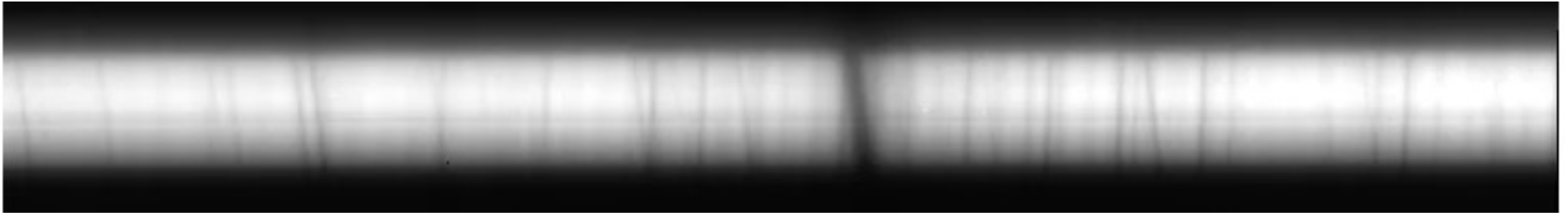


- Quelles sont les différences d'un point de vue spectral entre différents terrains lunaires?
- Qui est plus vieux de qui ?
- + contexte historique de la Lune !

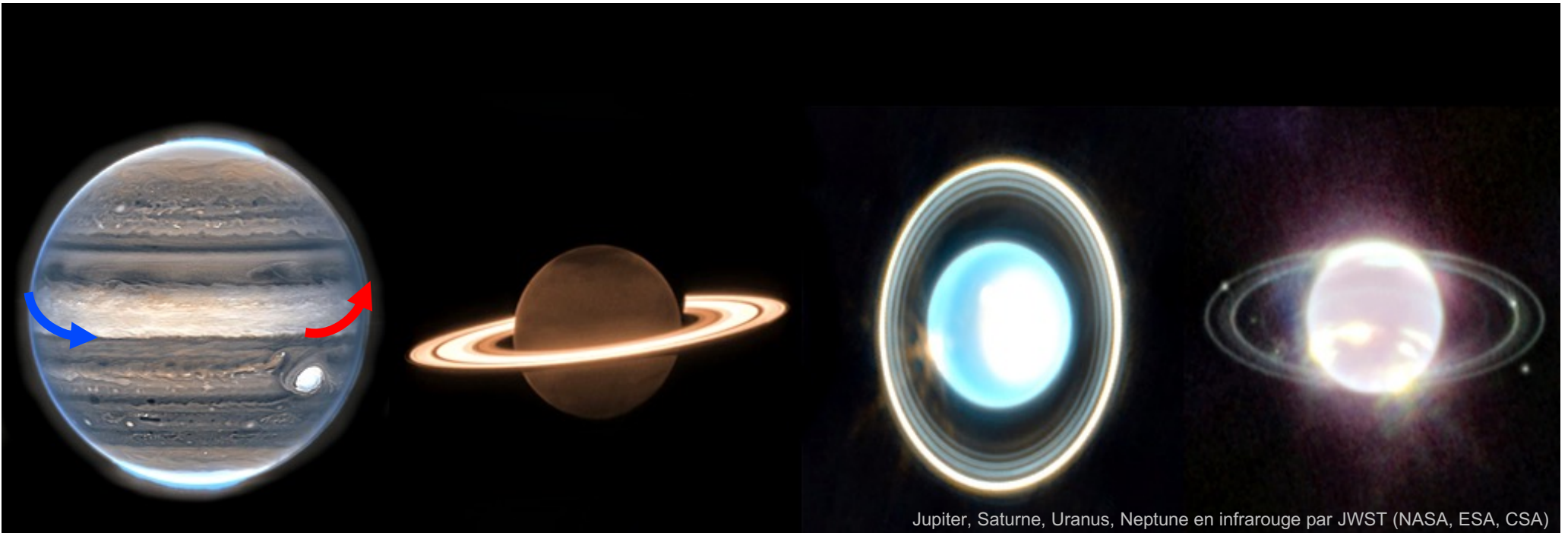


# 4.4 Vitesse de rotation, composition et autres caractéristiques physiques des planètes géantes

Hervé Dole



*Jupiter spectrum (5min exposure)* C. Buil

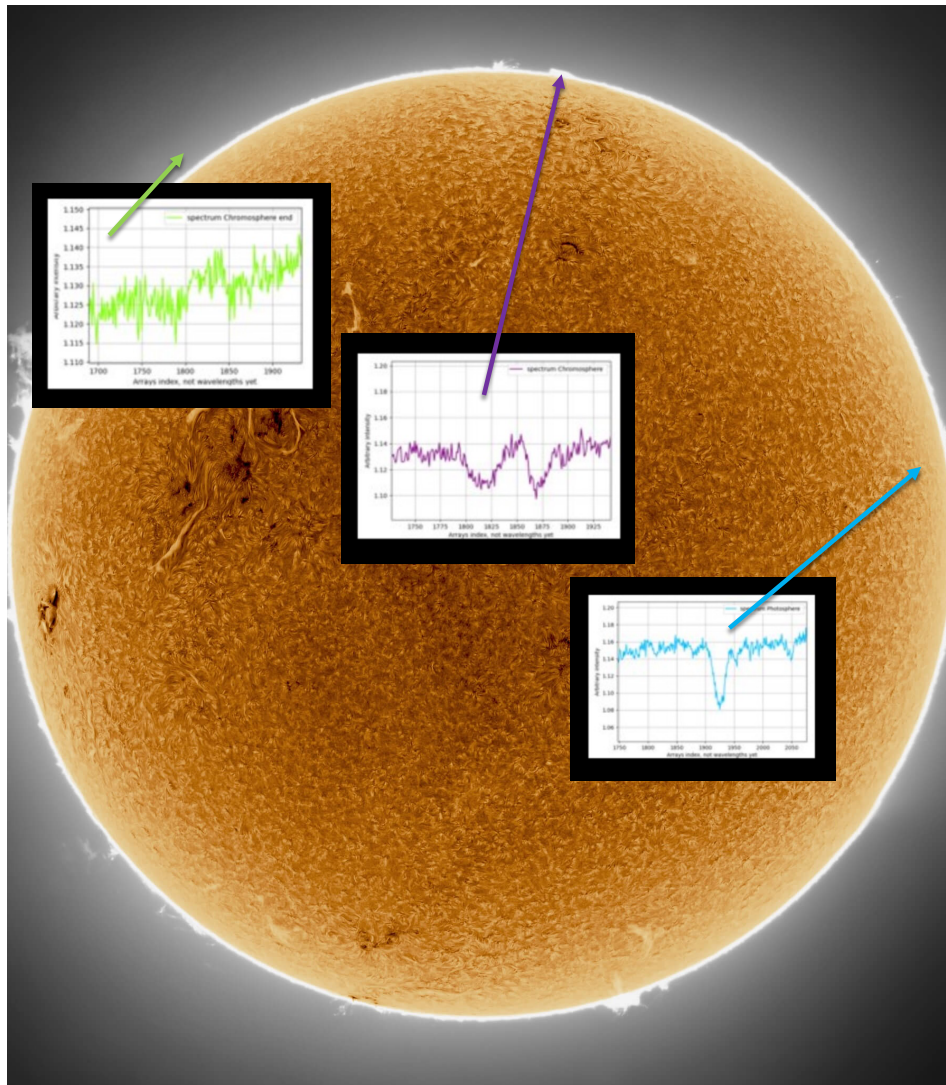


Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune en infrarouge par JWST (NASA, ESA, CSA)



## 4.5 Limbe solaire et raie Ha

Pacôme Estève



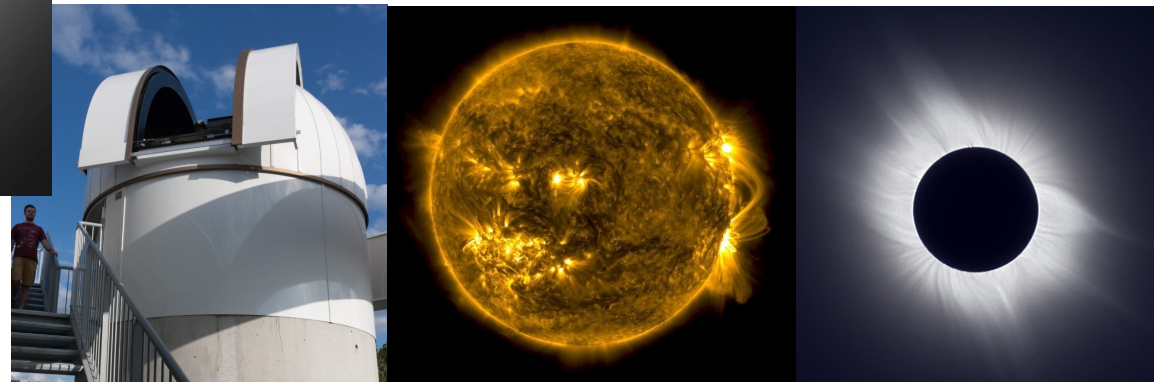
**Objectifs :** regarder l'évolution du profil d'une raie de l'hydrogène à la surface du soleil et l'interpréter.

### Avantages :

- TP de jour (vous ne vous coucherez pas à 2h du matin)
- Moins impacté par la météo (et oui, le soleil brille fort !!)
- Beaucoup d'applications possibles, vous êtes libres !!

### Inconvénient :

- Trouver un créneau en journée



# Choix des sujets 1/2

1. Votre adresse email académique (Paris-Saclay) svp
2. Optionnel: une autre adresse email pour vous contacter
3. Votre nom
4. Votre prénom
5. Votre formation actuelle      PA, magistère, ENS
6. Optionnel: seulement si Autre: votre formation actuelle ?
7. Optionnel: votre nom/numéro de groupe de M1 si vous en avez un
8. Votre option d'astro actuelle      AA ou ACO
9. Votre filière l'année passée ?
10. Votre CHOIX numéro 1 du TP spectroscopie coupole (sujet préféré)
11. Votre CHOIX numéro 2 du TP spectroscopie coupole (sujet de secours)      différent du 1er
12. Votre CHOIX numéro 3 du TP spectroscopie coupole (sujet de vraiment secours)      différent des 2 autres

## **B. Introduction théorique:**

### **Comment traiter les données acquises au télescope ?**

#### **Signal et bruit.**

Cf poly de TP section 3

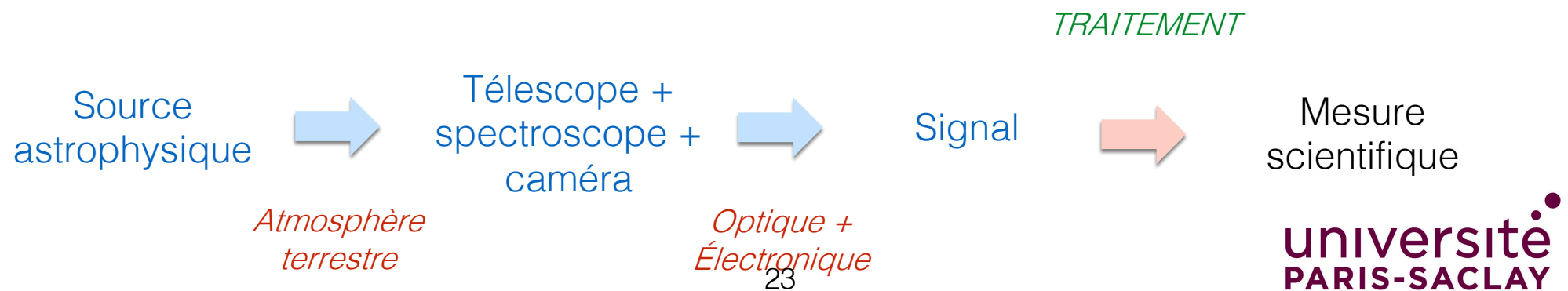
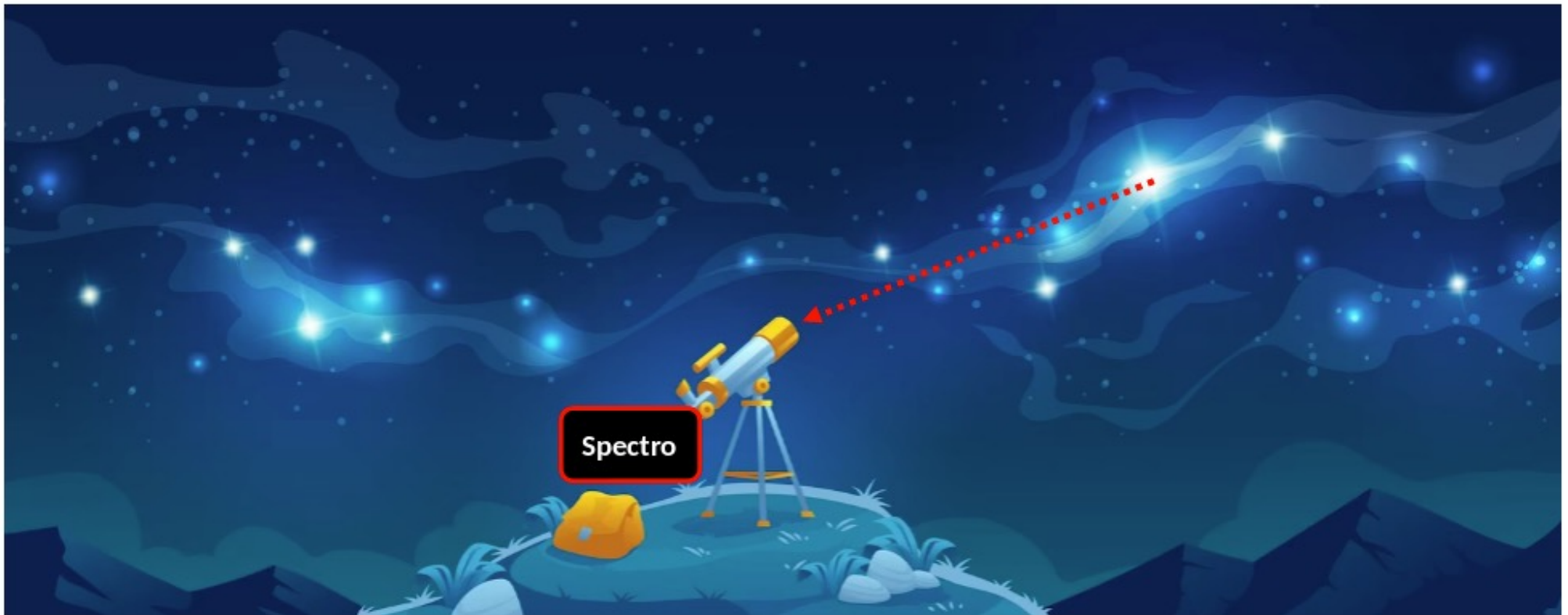
# Comment traiter les données acquises au télescope ?

## Signal et bruit.

(Inspiré de Pierre Guiot)

Cf poly de TP section 3

# 1. Une observation au sol





# Ce qu'il y a dans des données

Contribution du ciel  $\pm$  du bruit  
*systematique et aléatoire*

Data = Source + Contributions autres

Les  
observations  
qu'il faut traiter

Objet  
astrophysique  
d'intérêt

Agitation  
thermique

Non uniformité  
du détecteur

Électronique

Optique,  
Atmosphère,  
Rayons cosmiques

Signal à garder

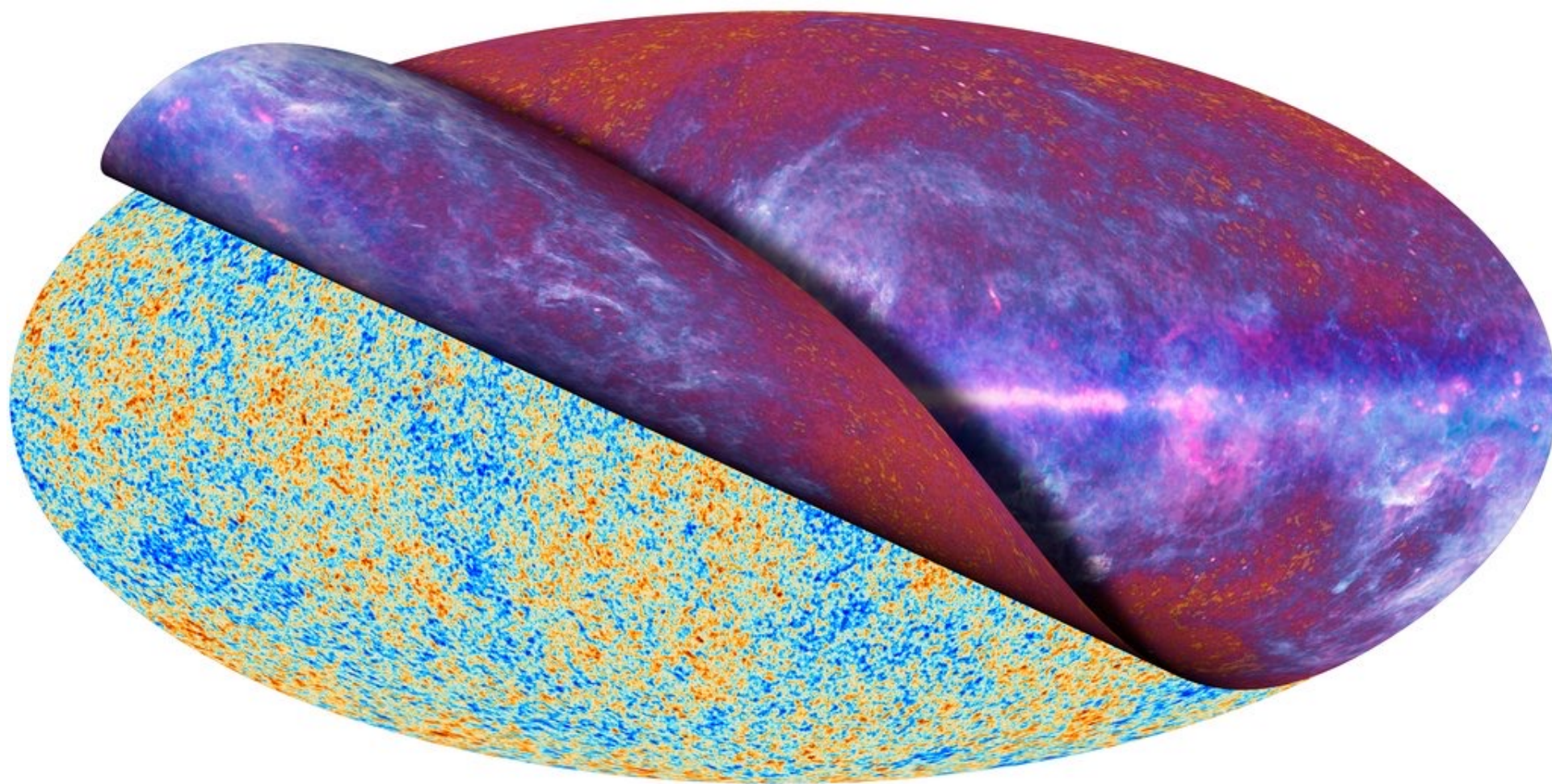
à minimiser !

# Signal ? Bruit ?

# Signal ? Bruit ?

Signal : information recherchée dans un contexte donné.

Bruit: toute information ou processus indésirable dans ce même contexte



## Planck CMB & foregrounds

ESA, Planck Consortium incl. IAS



# Euclid image

ESA, Euclid Consortium incl. IAS

## 2. Modèle linéaire des données

$$\text{Data} = A * \text{Source} + B1 + B2$$

Observation :  
ce qu'on  
mesure

un gain  
multiplicatif

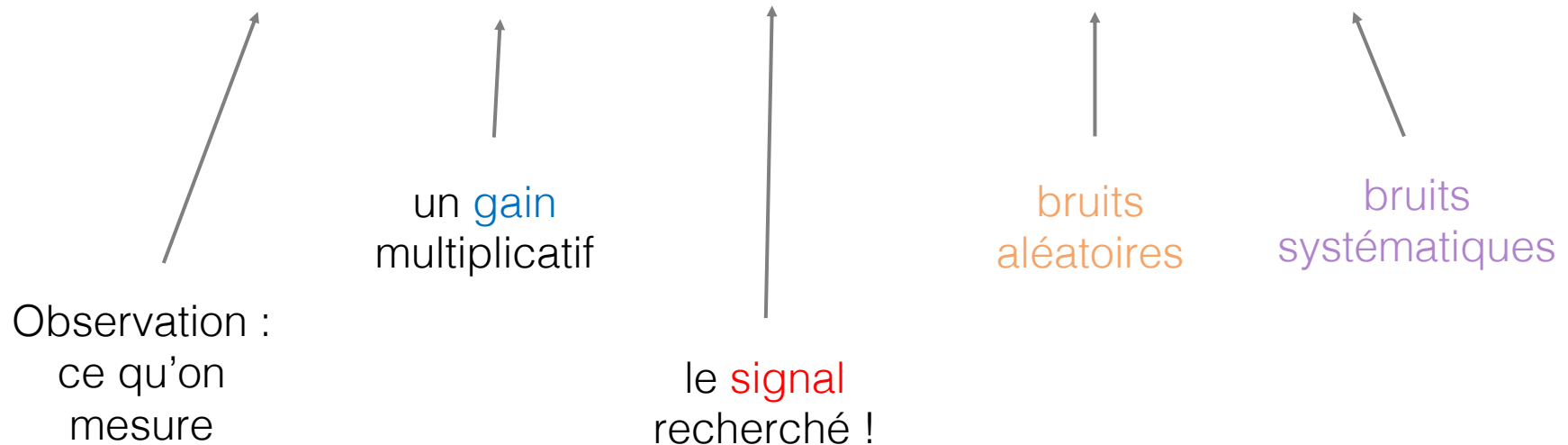
le signal  
recherché !

bruits  
aléatoires

bruits  
systématiques

## 2. Modèle linéaire des données

$$\text{Data} = A * \text{Source} + B1 + B2$$



**A** -> flat field

**B1** -> N obs

**B2** -> dark

## Réduction des données

Pour une image contenant les **intensités**  $I_{brute}$ , on détermine des étapes de correction de notre chaîne d'acquisition en vue d'obtenir le signal corrigé  $I_{corr}$  avec la formule de réduction des données:

**Flat** : image acquise sous un éclairage uniforme (on impose source =1)

→ Biais multiplicatif d'inhomogénéité spatiale corrigé

**Dark** : image acquise dans l'obscurité (on impose source=0)

→ Biais additif systématique (et un peu thermique) corrigé

$$I_{corr} = \frac{I_{brute} - \text{MasterDARK}}{\text{MasterFLAT}}$$

On ne soustrait pas un bruit !!!

Cf poly de TP section 3.4

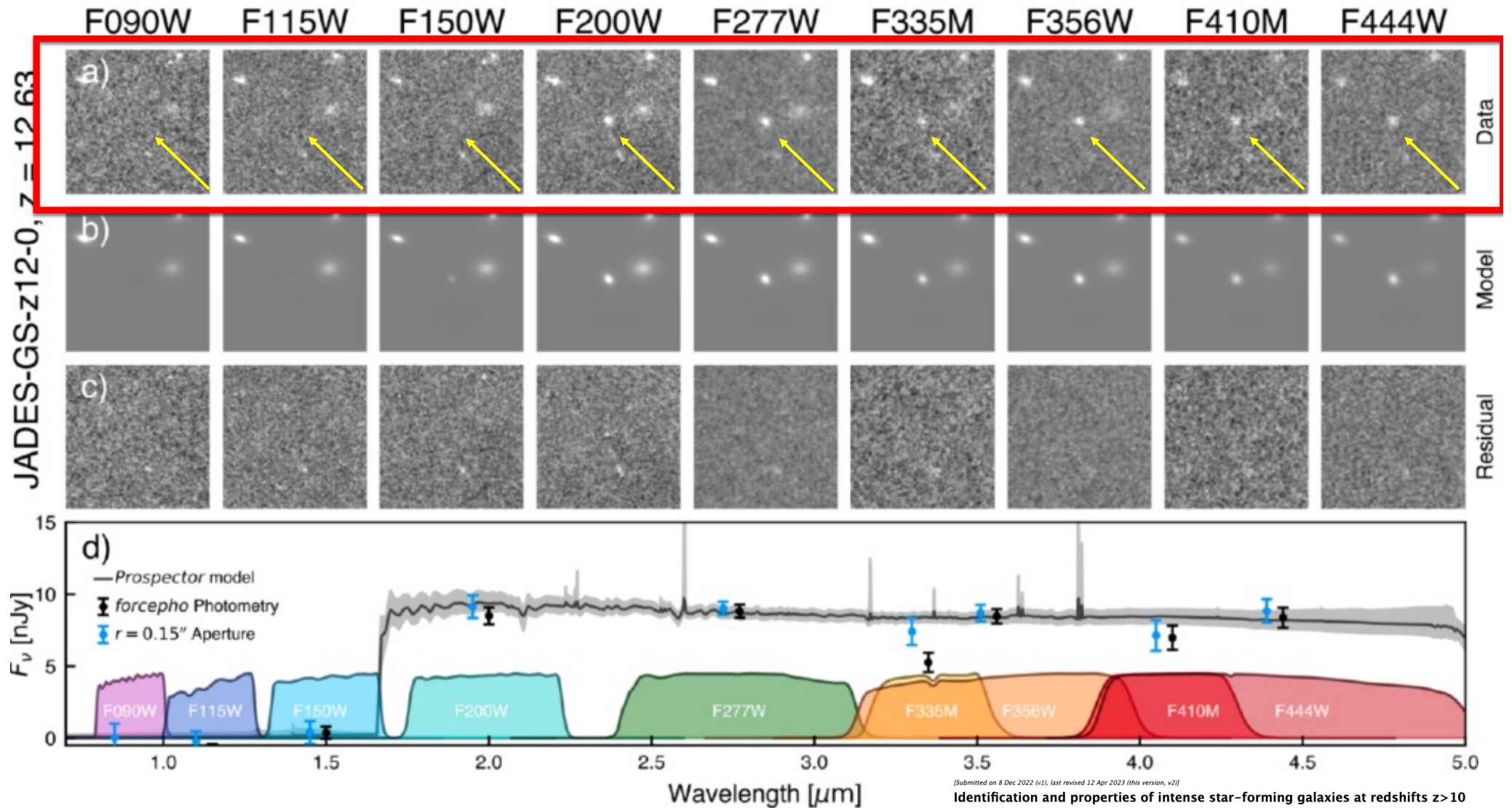
$$\text{MasterDARK} = \langle I_{Dark} \rangle \quad \text{MasterFLAT} = \frac{\langle I_{Flat} - \text{MasterDARK} \rangle}{\langle I_{Flat} - \text{MasterDARK} \rangle}$$



### 3. Signal, biais et bruits

Critère de qualité, indice de « confiance » :

le rapport signal sur bruit ou **SNR** (Signal to Noise Ratio)



[Submitted on 8 Dec 2022 (v1), last revised 12 Apr 2023 (this version, v2)]

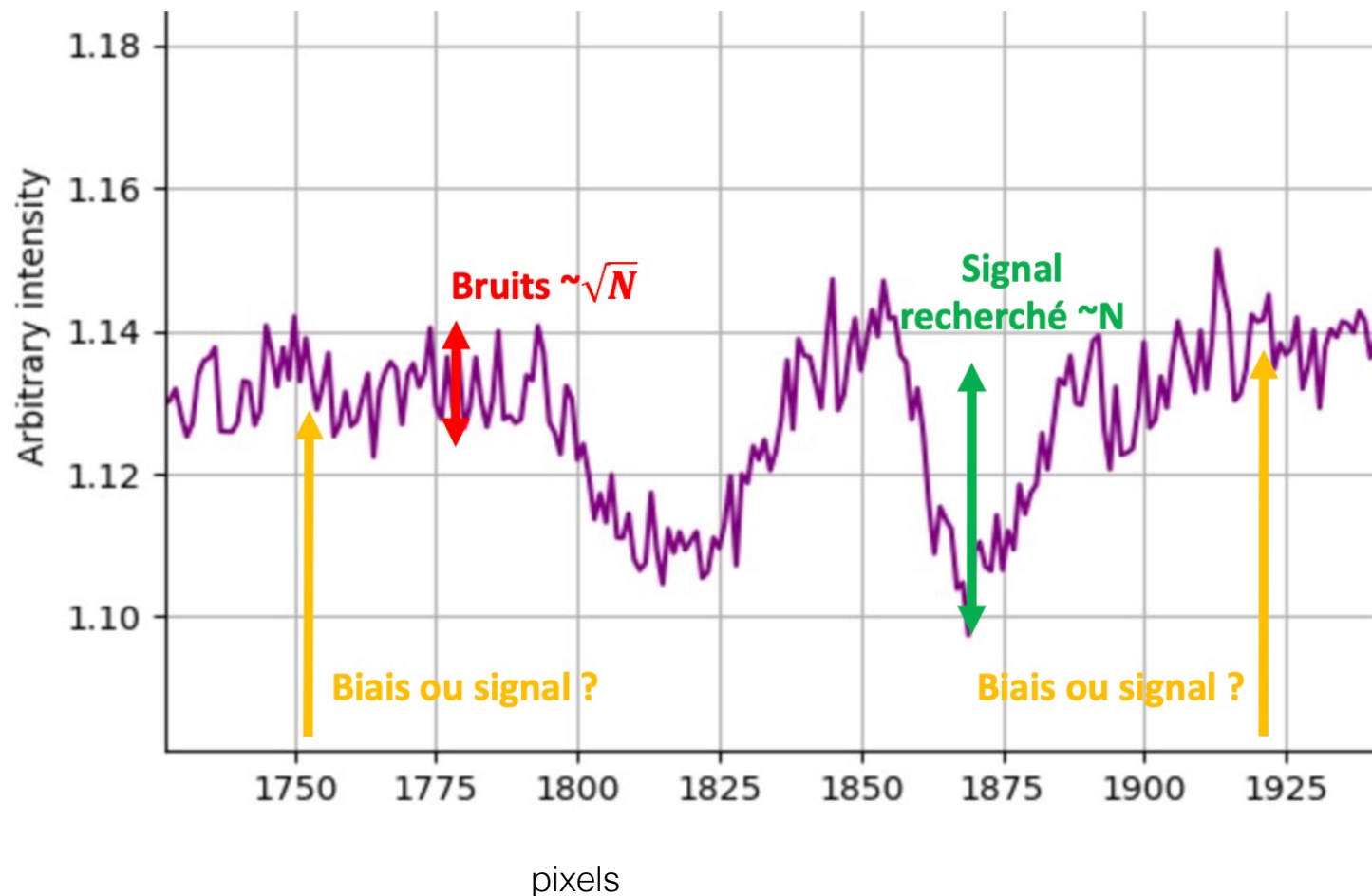
Identification and properties of intense star-forming galaxies at redshifts  $z > 10$

B. E. Robertson (1), S. Tacchella (2, 3), B. D. Johnson (4), K. Hainline (5), L. Whitler (5), D. J. Eisenstein (4), R. Endsley (6), M. Rieke (5)

### 3. Signal, biais et bruits

Critère de qualité, indice de « confiance » :

le rapport signal sur bruit ou **SNR** (Signal to Noise Ratio)



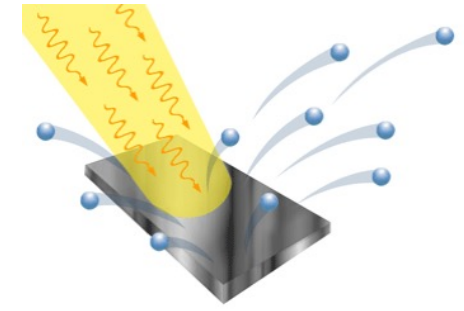
$$SNR = \frac{S}{B} = \frac{N}{\sqrt{N}}$$

## 4. Le détecteur CCD

### *Charge-Coupled Device*

Conversion de photons en électrons

Pixels (picture element) = cellules réceptrices

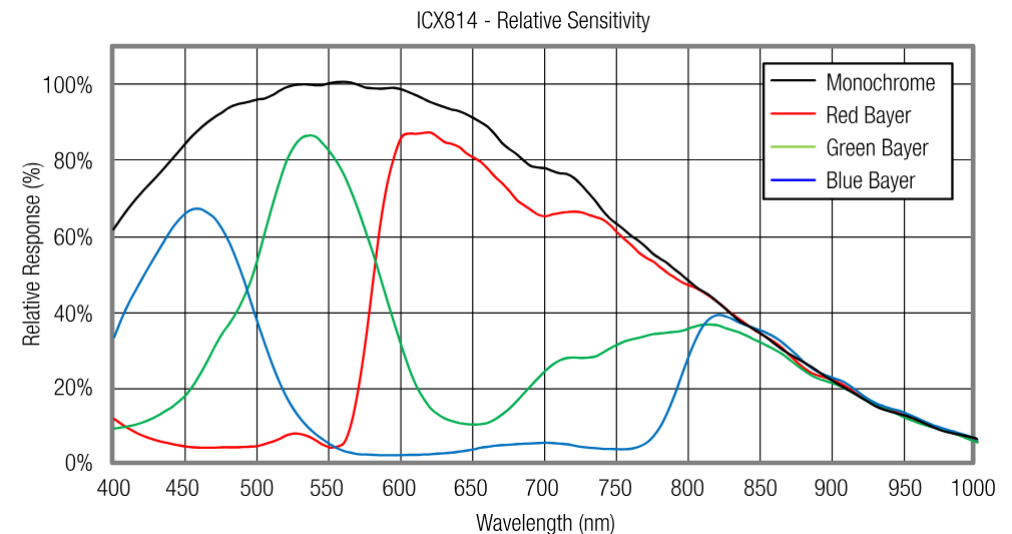


Le CCD compte les électrons :

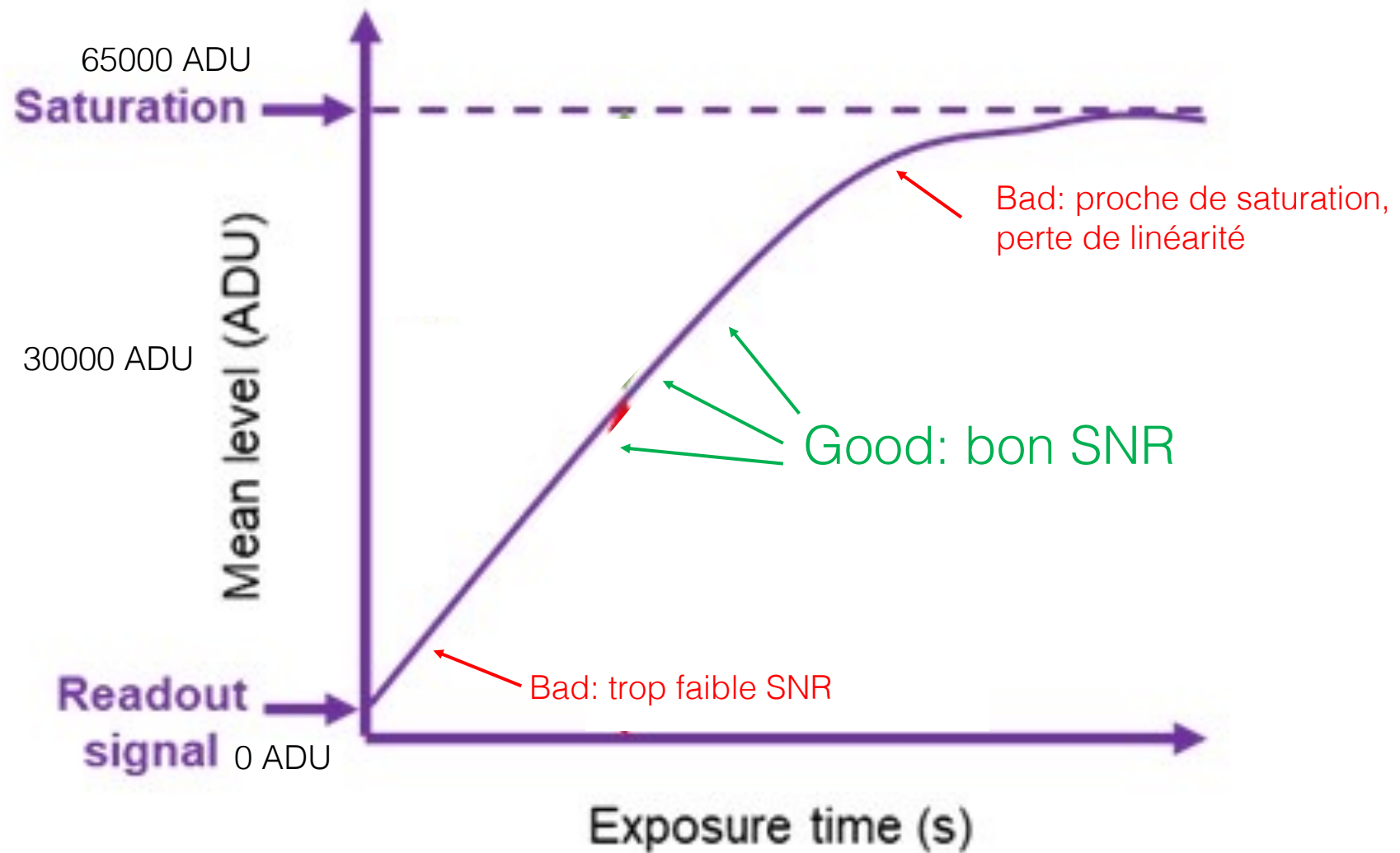
- issus des photons reçus de la cible
  - créés par agitation thermique ou rayons cosmiques
- > On le refroidit à -15C pour minimiser les effets thermiques

Conversion photon -> e- non constante  
car dépend :

- du pixel (pas tous identiques)
- de la sensibilité à la longueur d'onde (efficacité quantique)



## 5. Temps d'exposition





## 6. Acquérir des données: 4 étapes

### 0. Toujours avoir suffisamment de signal

=> augmenter le temps de pose pour augmenter  $N$  et donc le SNR.

Le signal idéal se situe vers 30000 ADU (~ la moitié de la saturation à 65000 ADU)

*Mais attention à ne pas saturer => ne pas exposer trop longtemps*

### 1. Observer vos cibles astrophysiques

### 2. Observer la lampe l'étalonnage spectral

(afin d'obtenir la correspondance pixel -> longueur d'onde)

### 3. Prendre des *flats* (inhomogénéité spatiale)

=> image de « champ plat »

### 4. Prendre des darks

=> prendre des images à temps équivalent dans l'obscurité

**+ refroidir le détecteur CCD constamment**

## C. Choix des sujets 1/2

1. Votre adresse email académique (Paris-Saclay) svp
2. Optionnel: une autre adresse email pour vous contacter
3. Votre nom
4. Votre prénom
5. Votre formation actuelle      PA, magistère, ENS
6. Optionnel: seulement si Autre: votre formation actuelle ?
7. Optionnel: votre nom/numéro de groupe de M1 si vous en avez un
8. Votre option d'astro actuelle      AA ou ACO
9. Votre filière l'année passée ?
10. Votre CHOIX numéro 1 du TP spectroscopie coupole (sujet préféré)
11. Votre CHOIX numéro 2 du TP spectroscopie coupole (sujet de secours)      différent du 1er
12. Votre CHOIX numéro 3 du TP spectroscopie coupole (sujet de vraiment secours)      différent des 2 autres

# **Choix des sujets 2/2**

## **à remplir d'ici 10 minutes svp**

(si pas de réponse : on vous affecte à un groupe et projet par défaut)



<https://app.wooclap.com/TPCOUPOLEM1/questionnaires/66d8bea4c3a1d81a8180c841>

**PAUSE et rdv en salles 305 et 306 dans 15 minutes**

# DEUXIÈME PARTIE

## TD traitement de données

Apprentissage de l'utilisation du JUPYTER NOTEBOOK  
pour traiter vos données

*en salles info 305-306*

Cf poly de TP section 3.6



Téléchargez le  
poly de TP



Finalisez votre  
choix de sujet  
maintenant



Accédez à  
l'archive coupole





← → ↺ 🔍 Pour aujourd'hui en TD

## Index of /archive

| Name                                 | Last modified    | Size | Description |
|--------------------------------------|------------------|------|-------------|
| <a href="#">Parent Directory</a>     | -                | -    | -           |
| <a href="#">Archives obs TP M1/</a>  | 2025-08-26 18:38 | -    | -           |
| <a href="#">Archives projets L3/</a> | 2025-05-06 22:41 | -    | -           |
| <a href="#">Documents TP/</a>        | 2025-08-26 16:05 | -    | -           |
| <a href="#">autres observations/</a> | 2025-05-06 22:43 | -    | -           |

Apache/2.4.62 (Ubuntu) Server at coupole.ias.u-psud.fr Port 443

## Index of /archive/Documents\_TP

| Name   | Last modified    | Size | Description |
|--|------------------|------|-------------|
| <a href="#">Parent Directory</a>                 | -                | -    | -           |
| <a href="#">DM a rendre/</a>                     | 2025-08-26 22:06 | -    | -           |
| <a href="#">Notebook de TP Astro Coupole/</a>    | 2025-08-26 22:06 | -    | -           |
| <a href="#">TP M1 Astro Version2025_2026.pdf</a> | 2025-08-25 12:59 | 9.7M | -           |
| <a href="#">Tutos/</a>                           | 2025-08-26 16:05 | -    | -           |

Apache/2.4.62 (Debian) Server at coupole.ias.u-psud.fr Port 443

## Index of /archive/Documents\_TP/DM

| Name   | Last modified    | Size | Description |
|--|------------------|------|-------------|
| <a href="#">Parent Directory</a>             | -                | -    | -           |
| <a href="#">DM.ipynb</a>                     | 2024-09-10 17:32 | 3.0M | -           |
| <a href="#">DM notebook avec donnees.zip</a> | 2024-09-10 17:32 | 28M  | -           |
| <a href="#">beta_auriga/</a>                 | 2024-07-26 10:55 | -    | -           |

Apache/2.4.62 (Debian) Server at coupole.ias.u-psud.fr Port 443

Télécharger le fichier zip, puis  
Upload sur Google Colab ou MyDockers UPSaclay

Lire le poly section 3.6

Travaux pratiques d'observations  
astronomiques  
Option astrophysique de M1



Catherine Lanté, Pierre Guélin, Lucie Degout, Théo Lebeun,  
Laure Nardelli, Hervé Dole

université  
PARIS-SACLAY



# Pour les observations : un notebook plus complet

## Index of /archive

| Name                                 | Last modified    | Size | Description |
|--------------------------------------|------------------|------|-------------|
| <a href="#">Parent Directory</a>     |                  | -    |             |
| <a href="#">Archives obs TP M1/</a>  | 2025-08-26 18:38 | -    |             |
| <a href="#">Archives projets L3/</a> | 2025-05-06 22:41 | -    |             |
| <a href="#">Documents TP/</a>        | 2025-08-26 16:05 | -    |             |
| <a href="#">autres observations/</a> | 2025-05-06 22:43 | -    |             |

Apache/2.4.62 (Debian) Server at coupole.ias.u-psud.fr Port 443

## Index of /archive/Documents\_TP

| Name   | Last modified    | Size | Description |
|--|------------------|------|-------------|
| <a href="#">Parent Directory</a>                 |                  | -    |             |
| <a href="#">DM a rendre/</a>                     | 2025-08-26 22:06 | -    |             |
| <a href="#">Notebook de TP Astro Coupole</a>     | 2025-08-26 22:06 | -    |             |
| <a href="#">TP M1 Astro Version2025_2026.pdf</a> | 2025-08-25 12:59 | 9.7M |             |
| <a href="#">Tutos/</a>                           | 2025-08-26 16:05 | -    |             |

Apache/2.4.62 (Debian) Server at coupole.ias.u-psud.fr Port 443

## Index of /archive/Documents\_TP/

| Name                                       | Last modified    | Size | Description |
|--|------------------|------|-------------|
| <a href="#">Parent Directory</a>           |                  | -    |             |
| <a href="#">reduction_de_donnees.ipynb</a> | 2024-09-13 10:26 | 2.1M |             |

Apache/2.4.62 (Debian) Server at coupole.ias.u-psud.fr Port 443

Télécharger le fichier ipynb, puis Upload sur Google Colab ou MyDocker UPSaclay avec vos données du télescope

Lire le poly section 3.6

Travaux pratiques d'observations astronomiques  
Option astrophysique de M1



Catherine Lanté, Pierre Guélin, Lucie Degout, Théo Lebeun, Laura Nardelli, Hervé Dole