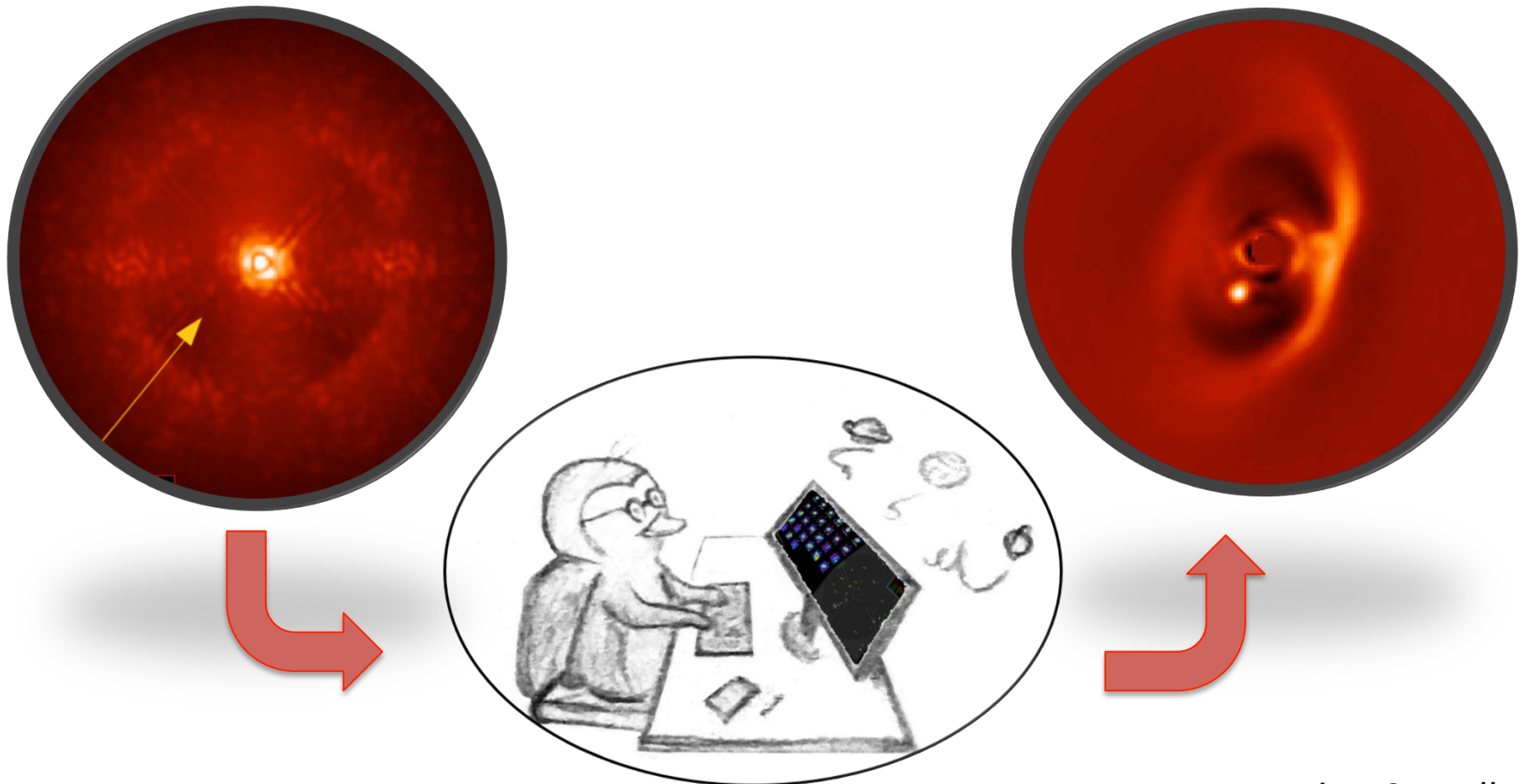


## DIY: Détecter des planètes dans des images d'archives



# Plan du jour

- 1- Rappel sur l'imagerie d'exoplanètes
- 2- Une observation comment ça se passe
- 3- État de l'art des traitements d'image
- 4- Les problèmes inverses
- 5- Application... (dépend de WiFi)

**-> Manuel pour le DIY envoyé par email**

# 1- Rappel sur l'imagerie d'exoplanètes

## Les problèmes

### Problème #1:

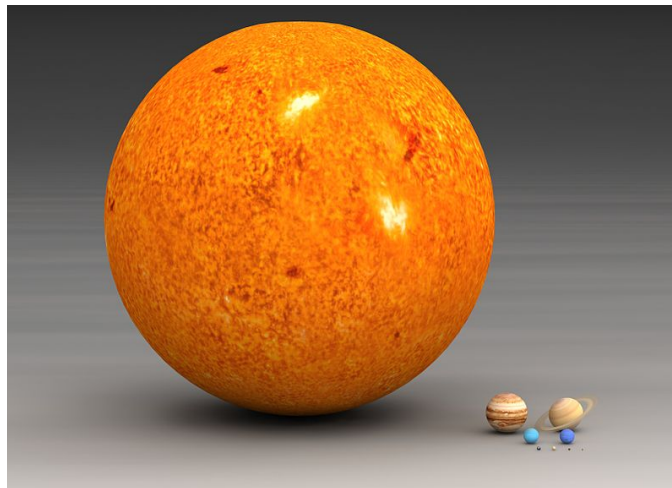
Une planète c'est **petit** -> n'émet pas beaucoup de lumière

### Problème #2:

Et l'étoile est **beaaaauuuccoooup** plus brillante -> elle cache la planète !

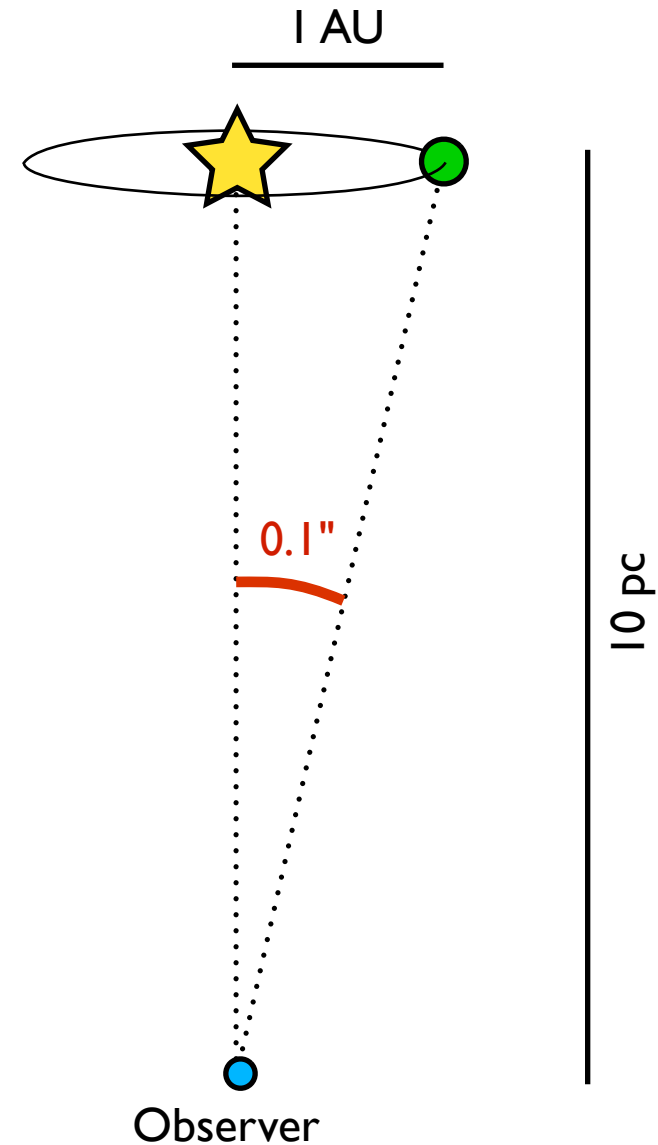
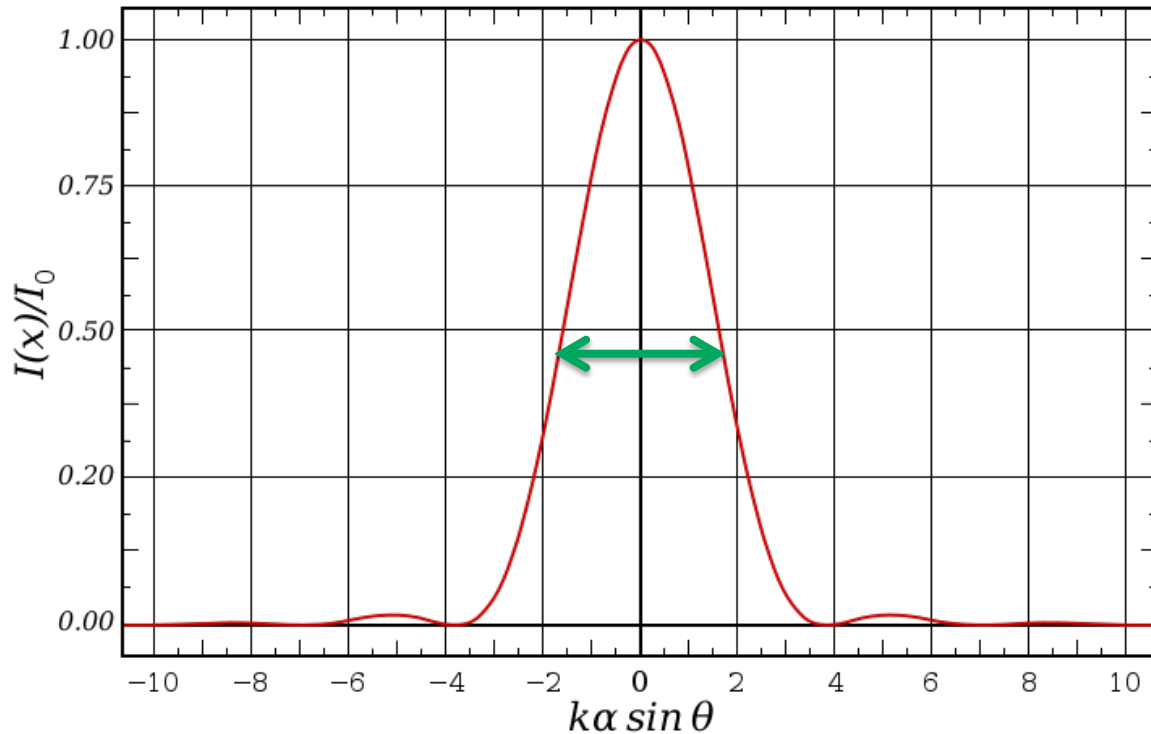
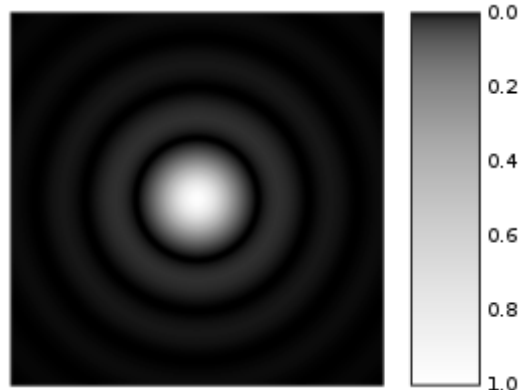
### Problème #3:

Et les étoiles sont **loin** de nous -> Une planète c'est très très proche de son étoile



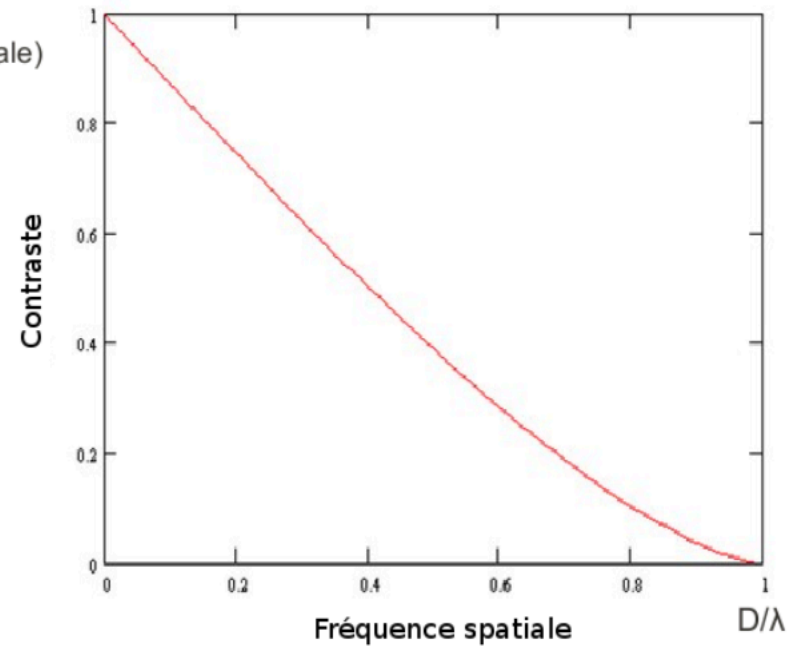
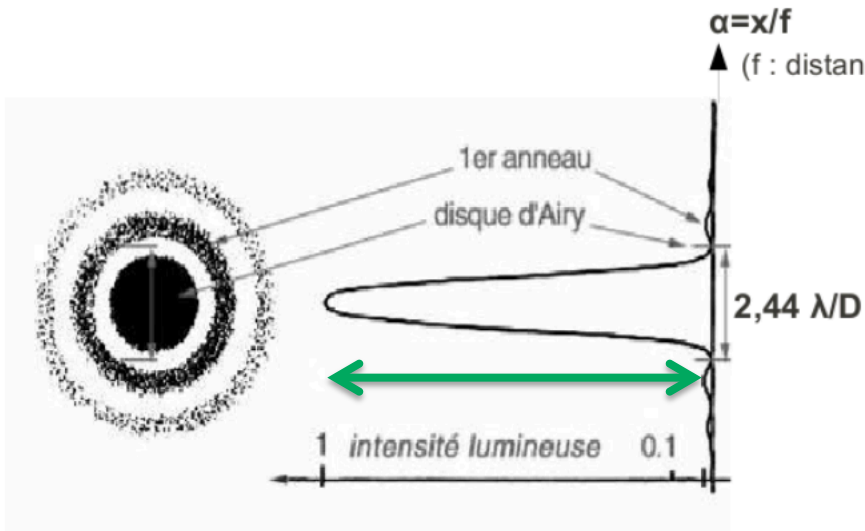
# 1- Rappel sur l'imagerie d'exoplanètes

## La résolution angulaire



# 1- Rappel sur l'imagerie d'exoplanètes

## Le contraste



# 1- Rappel sur l'imagerie d'exoplanètes

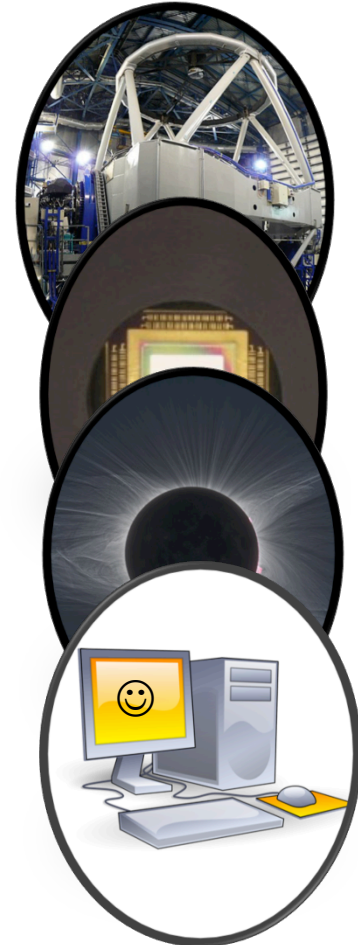
## Les ingrédients

**#1-** Un gros telescope en Visible / infrarouge

**#2-** Une optique adaptative

**#3-** Un coronographe

**#4-** Du traitement d'images



# La chaîne d'imagerie d'exoplanètes

Seeing-limited  
H-band

Optique adaptative

Coronagraphie

Post-traitement

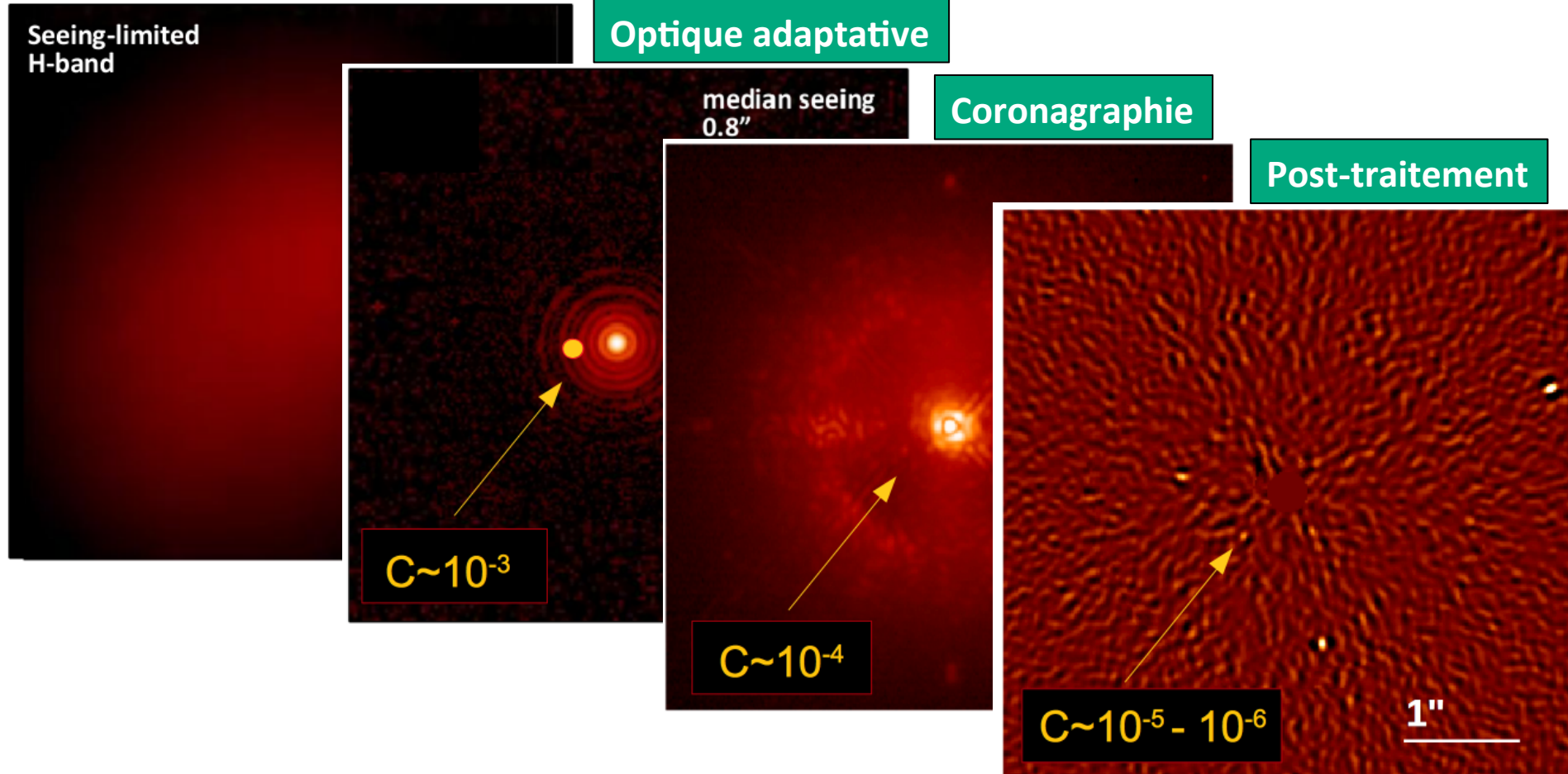
median seeing  
0.8"

$C \sim 10^{-3}$

$C \sim 10^{-4}$

$C \sim 10^{-5} - 10^{-6}$

1"



# 1- Séance d'observation

Phase1: Faire un **“proposal”** 6 mois avant...

Ex/ Call for Proposal ESO:

<http://www.eso.org/sci/observing/phase1/p101/proposalsopen.html>



# 1- Séance d'observation

Phase2: Aller au télescope avec ses “**Observation Blocks**”

- > Info source: Coordonnées de la sources, brillance etc.
- > Info calibrations (dithering pattern, calibrators etc.)
- > Temps d'exposition
- > Nombre d'expositions

Ex/ Manuel SPHERE:

[https://www.eso.org/sci/facilities/paranal/instruments/sphere/doc/VLT-MAN-SPH-14690-0430\\_v100\\_p2.pdf](https://www.eso.org/sci/facilities/paranal/instruments/sphere/doc/VLT-MAN-SPH-14690-0430_v100_p2.pdf)

# 1- Séance d'observation

Phase3: Récupérer les données et le rapport d'observation

-> Rapport: qualité de l'observation à décrypter

-> Bloc de données

Note les données sont souvent privées pour 6 – 12 mois (au choix) puis deviennent public

Ex/ Base de données ESO:

<http://archive.eso.org/cms.html>

Raw data:

[http://archive.eso.org/eso/eso\\_archive\\_main.html](http://archive.eso.org/eso/eso_archive_main.html)

**!!! Il faut se avoir un compte pour faire ça !!!**

Mais ne vous inquietez pas: il y en a d'autres ;-)

# 1- Séance d'observation

La séquence d'observation exoplanètes:

OBJECT, FLUX

OBJECT, CENTER

OBJECT, FLUX

Si en IR plus loin -> SKY BACKGROUND

Si demandé -> Calibration astrometrique

Les calibrations (valable pour tout le monde):

FLAT

DARK

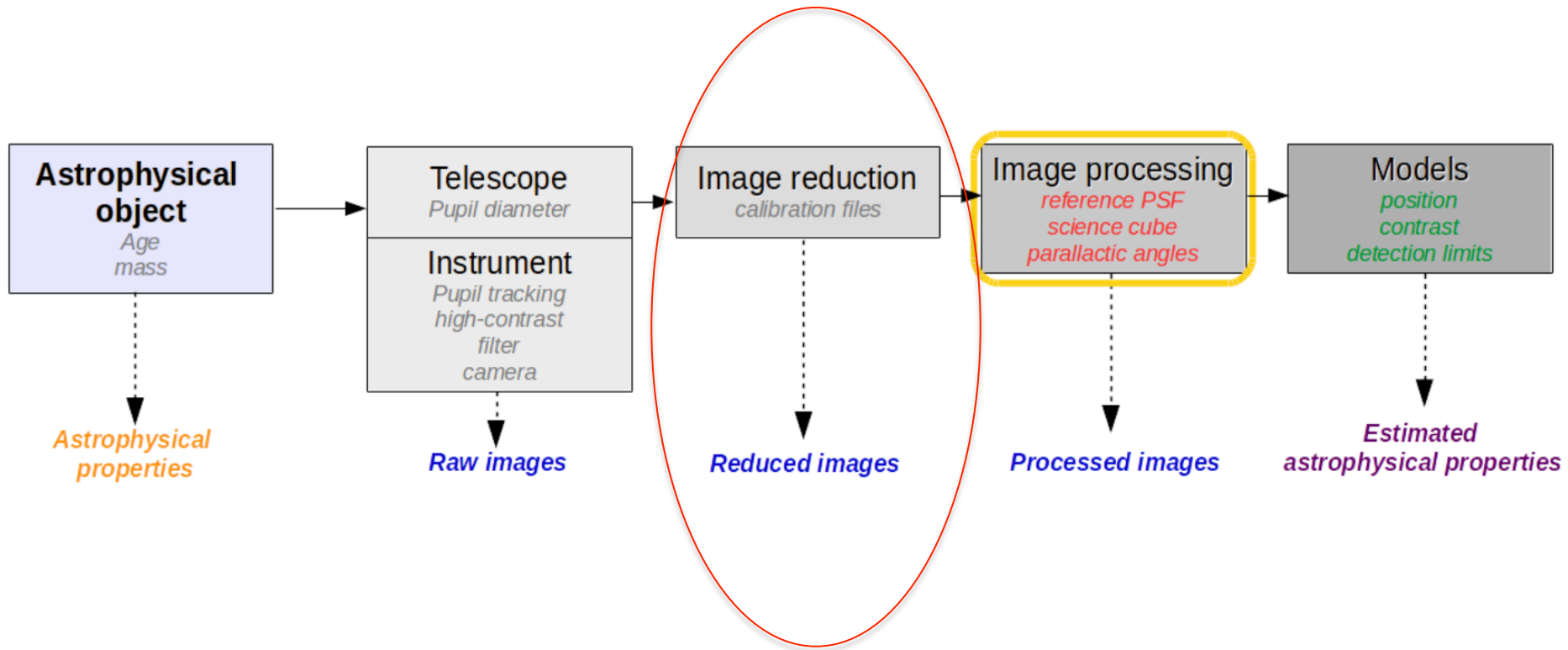
DISTORTION MAP

Et si spécifié:

SKY, BACKGROUND

CENTER FRAME

# 1- Séance d'observation



## 2- Réduction des données

**Les calibrations (valable pour tout le monde):**

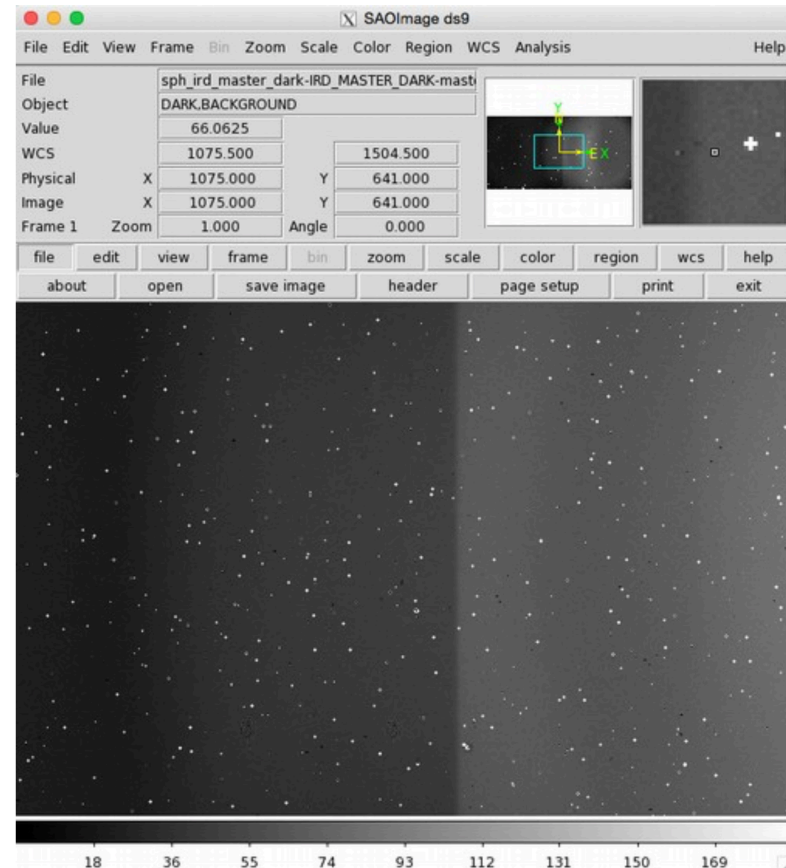
SKY, BACKGROUND

FLAT

DARK

### De raw a reduced data:

- Dark: taken the morning after the science data
  - Same filter
  - Same exptime
  - Same readout mode
  - Same neutral density
- Flat
- Centre “frames”
- Distortion
- Trier les “frames”



## 2- Réduction des données

**Les calibrations (valable pour tout le monde):**

SKY, BACKGROUND

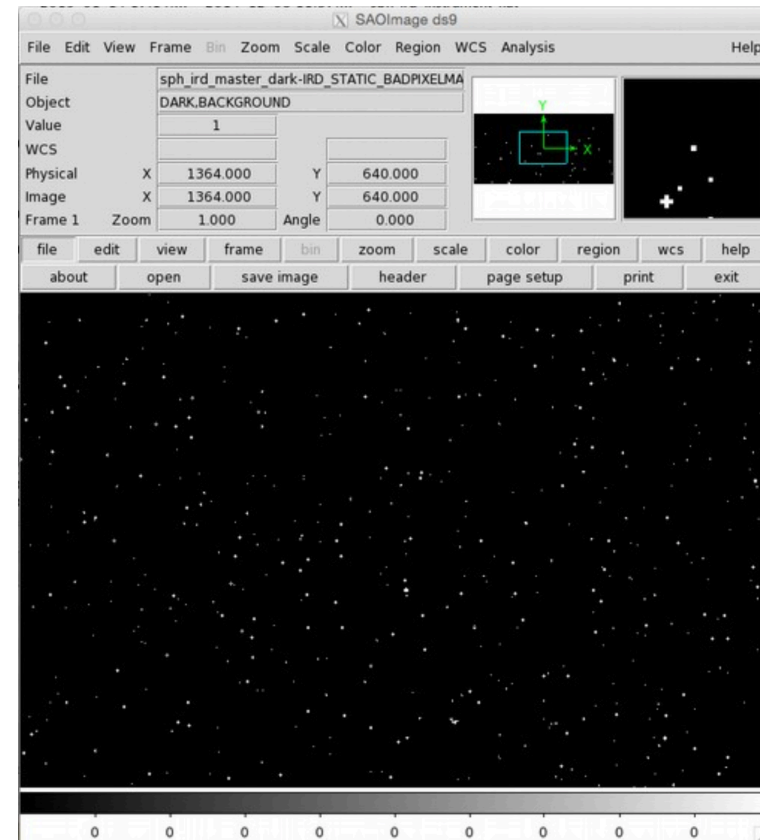
FLAT

DARK

### De raw a reduced data:

- Dark: taken the morning after the science data
    - Same filter
    - Same exptime
    - Same readout mode
    - Same neutral density
- Bad pixel map

- Flat
- Centre “frames”
- Distortion
- Trier les “frames”



## 2- Réduction des données

### Les calibrations (valable pour tout le monde):

SKY, BACKGROUND

FLAT

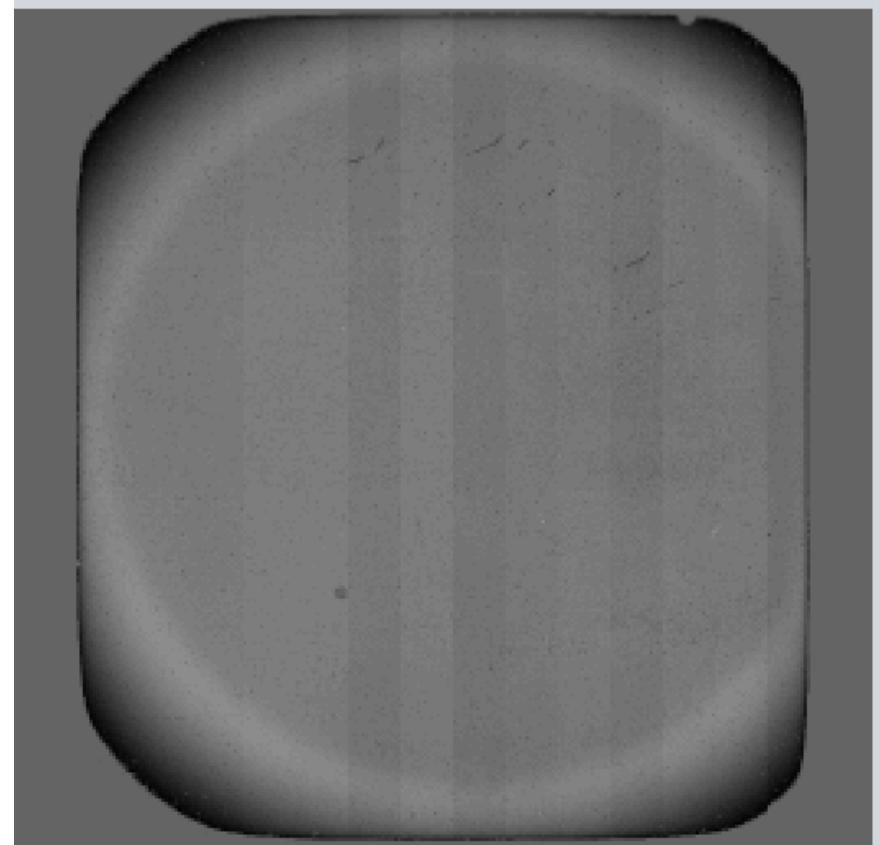
DARK

### De raw a reduced data:

- Dark → Bad pixel map
- Flat: taken the morning after
  - Same filter
  - Preferably from the same night
  - At least 2 different exposure time

→ Master flat

- Centre “frames”
- Distortion
- Trier les “frames”



## 2- Réduction des données

**Les calibrations (valable pour tout le monde):**

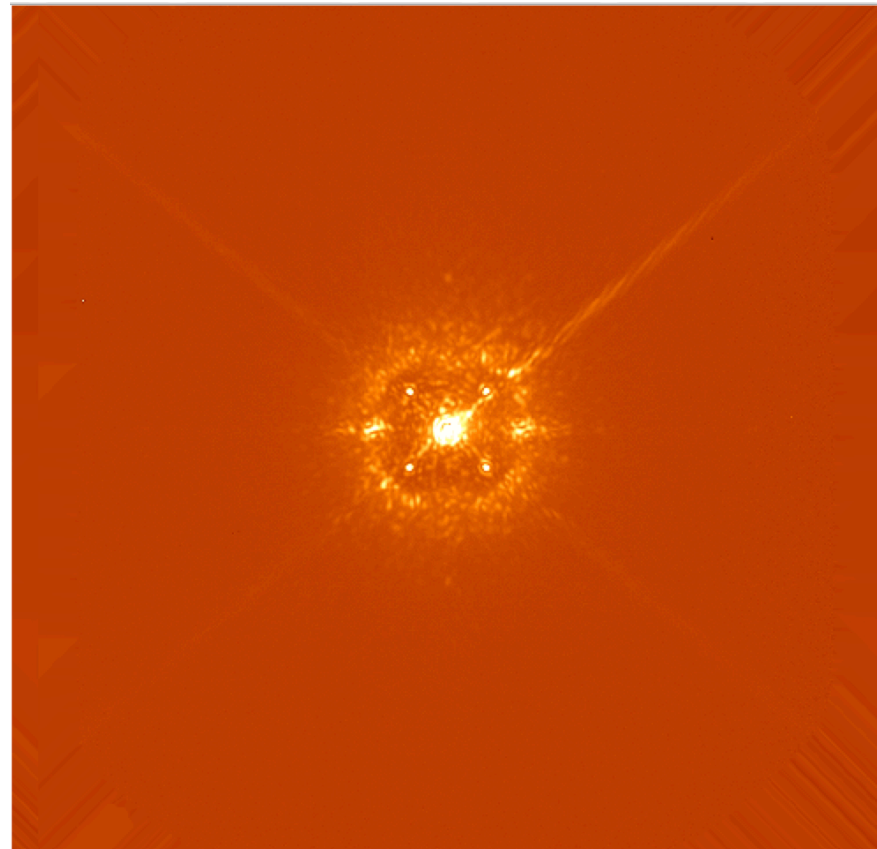
SKY, BACKGROUND

FLAT

DARK

### **De raw a reduced data:**

- Dark → Bad pixel map
  - Flat → Flatmap
  - Centre frame:
    - Utilise un science frame + “waffle mode”
- Table des centres
- 
- Distortions
  - Trier les “frames”





## 2- Réduction des données

### Les calibrations (valable pour tout le monde):

SKY, BACKGROUND

FLAT

DARK

### De raw a reduced data:

- Dark → Bad pixel map
  - Flat → Flatmap
  - Centre frame → Centroides
  - Distortions: toutes les semaines
    - Same coronograph
    - Same filter (Broad Band filter)
- Vecteur de position
- Trier les “frames”

## 2- Réduction des données

### Les calibrations (valable pour tout le monde):

SKY, BACKGROUND

FLAT

DARK

### De raw a reduced data:

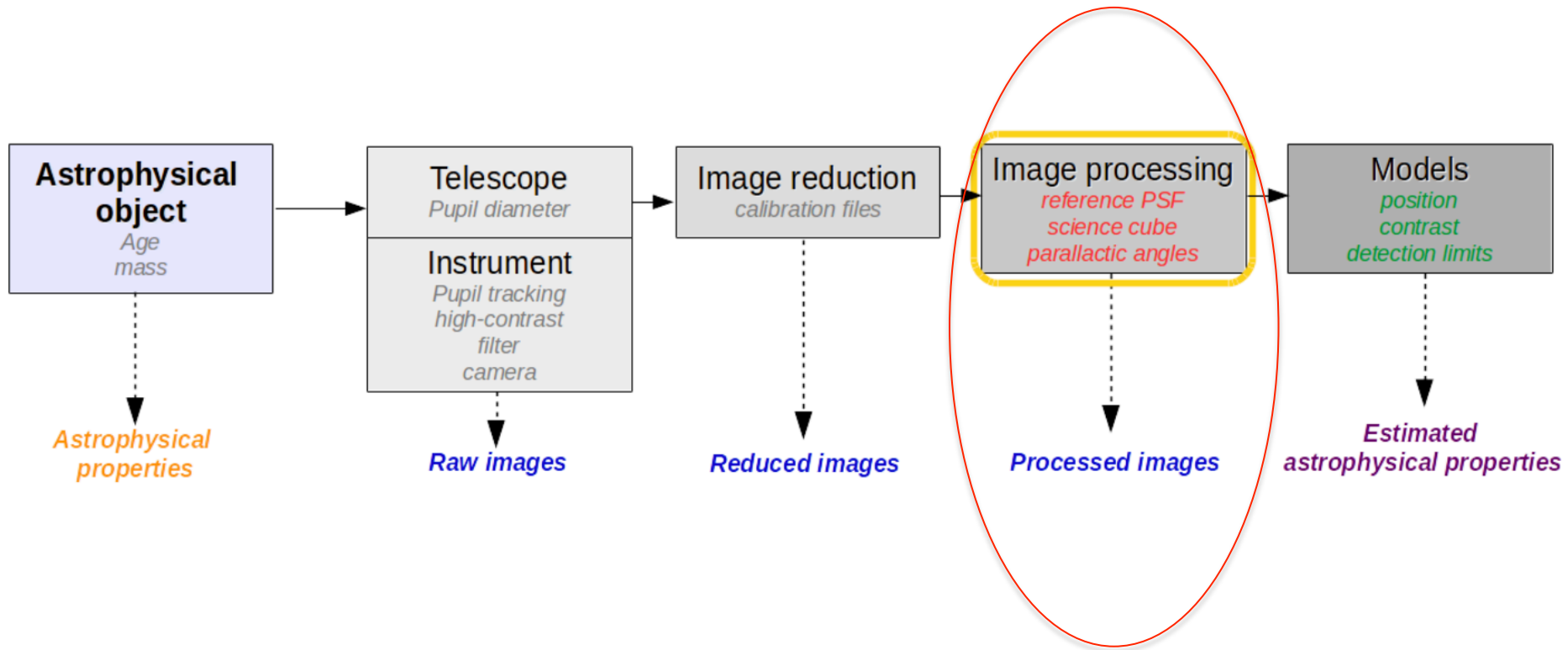
- Dark → Bad pixel map
  - Flat → Flatmap
  - Centre frame → Centroides
  - Distortions: toutes les semaines
    - Same coronograph
    - Same filter (Broad Band filter)
- Vecteur de position
- Trier les “frames” après réduction des données...

## 2- Réduction des données

Avant le post-processing, on a:

- Calibrations photométrique: median\_unsat.fits
- Le cube d'image: image\_center.fits
- Les angles parallactiques: rothnth.fits
- La longueur d'onde du filtre: lam.fits

# 3- Le post-processing

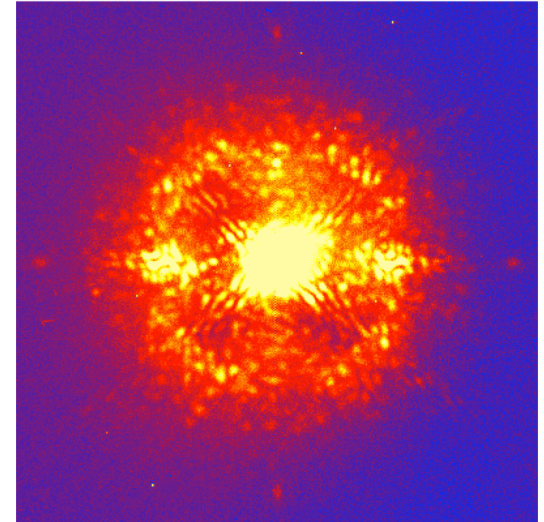


# 3- Le post-processing

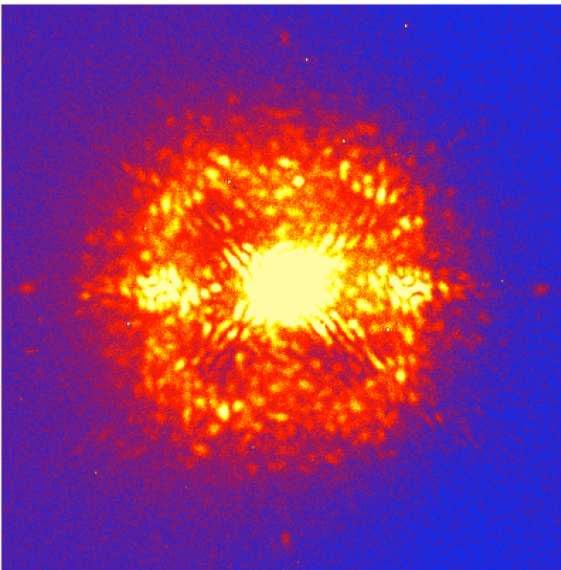
Idée de base:

Trouver un comportement qui est **différent**  
entre les résidus d'aberrations et les signaux planétaires  
→ Exploiter cette diversité pour retrouver le signal

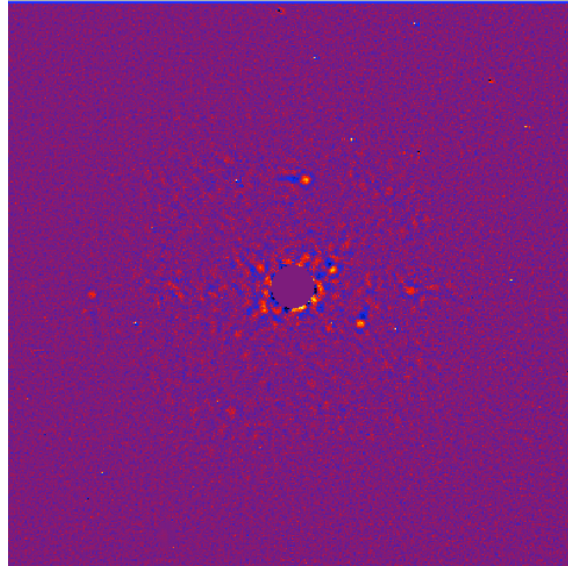
Aujourd'hui tous sont basés sur le **differential imaging**:



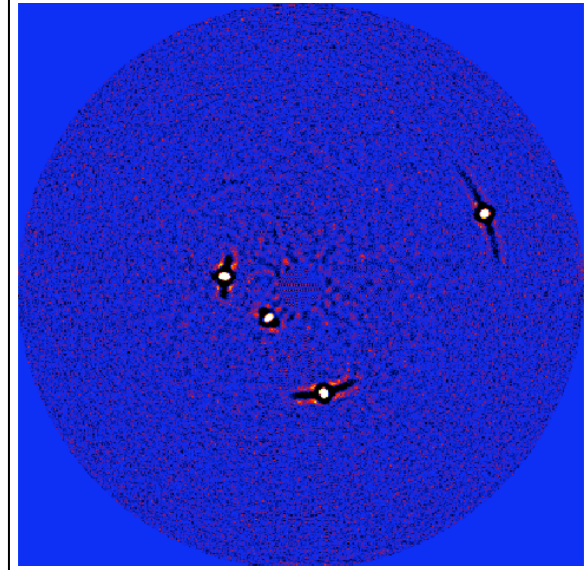
1. **Estimer** l'image de l'étoile



2. La **soustraire** à l'image



3. **Combiner** les images



# 3- Le post-processing

## 1- Type de diversité

Reference (RDI)

Polarimetric (PDI), Kuhn et al. 01

Spectral (SDI), Close et al. 05

Coherence (SCDI), Baudoz et al. 05

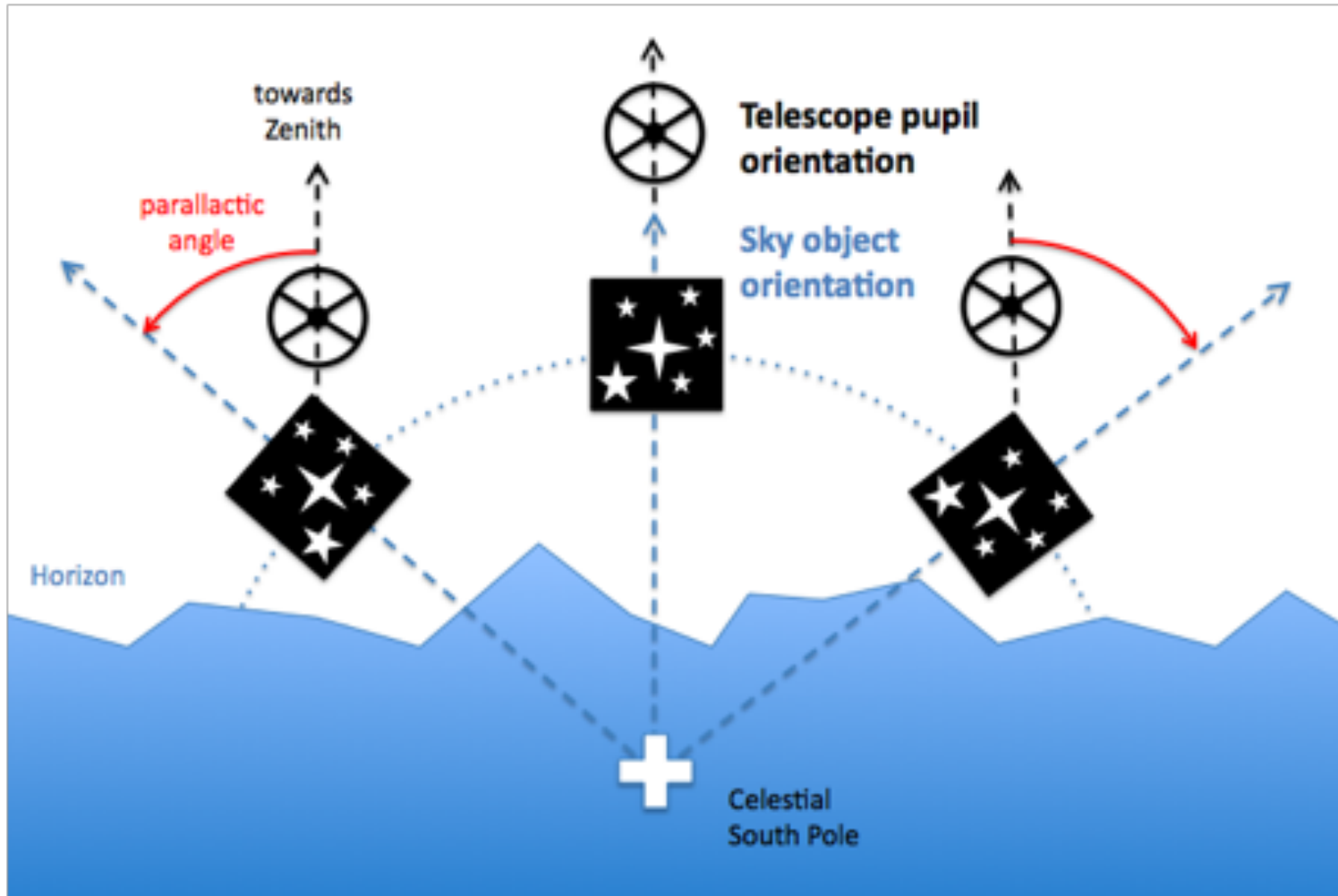
Binary Differential Imaging (BDI), Rodigas et al. (2015)

Orbital Differential Imaging (ODI), Maley et al (2015)

**Angular (ADI), Marois et al. 06**

# 3- Le post-processing

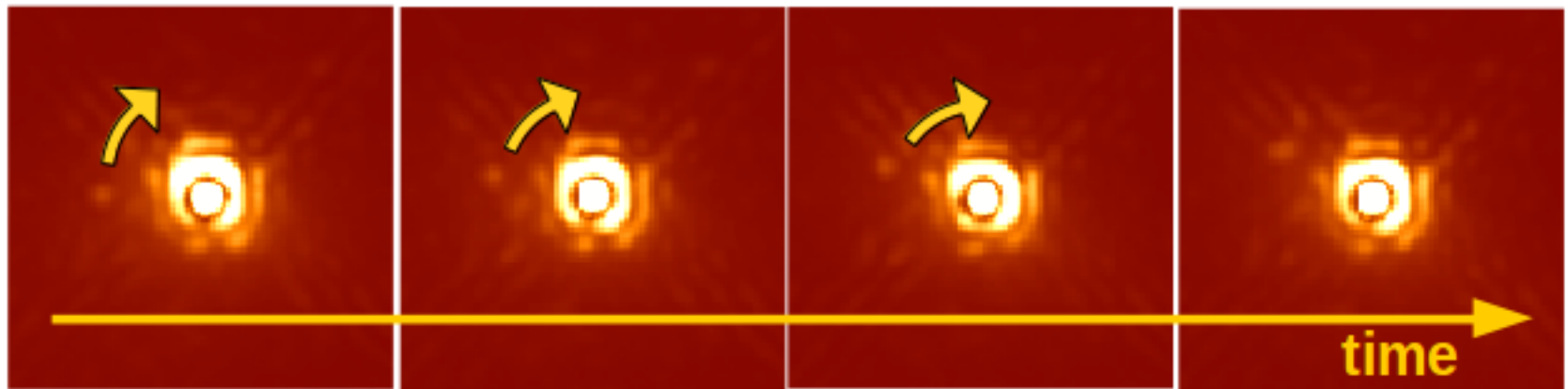
## 2- Diversité temporel, l'ADI



Possible avec une monture alt-az

### 3- Le post-processing

#### 2- Diversité temporel, l'ADI

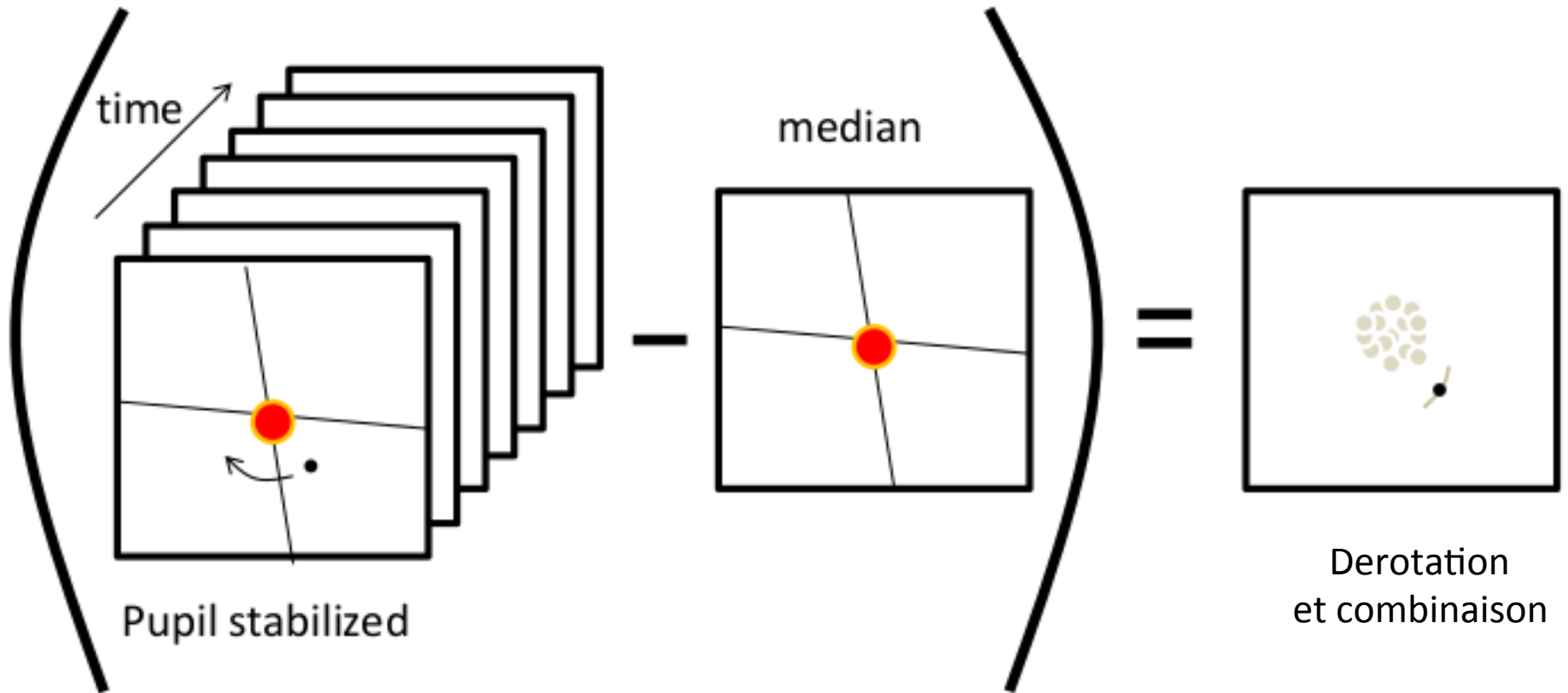




# 3- Le post-processing

## 2- Classical ADI ... et saveurs

*Marois et al. 2006*

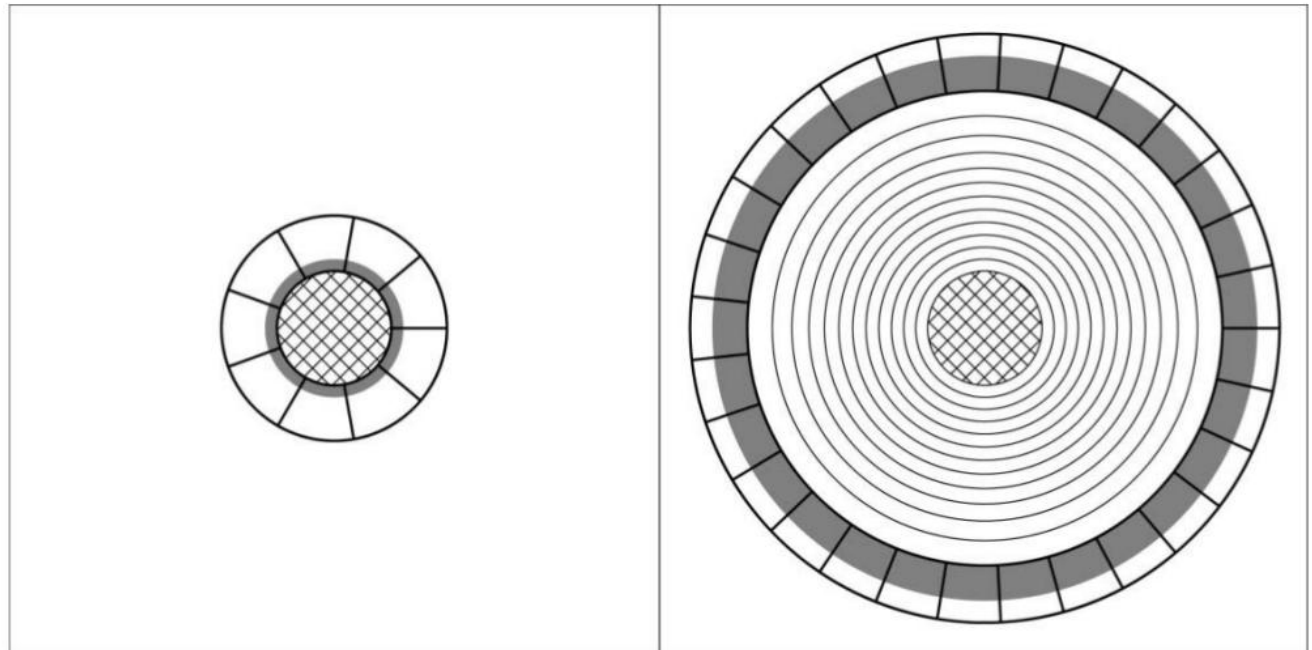


# 3- Le post-processing

## 2- LOCI

*Lafrenière et al. 2007*

- Define different optimization zones (radial and azimuthal).
- In each zone, build a “reference image” by linearly combining the images.
- This reference image must minimize the residual noise in the difference between the image and the reference in the zone (least square).
- To avoid self-subtraction, the subtraction zone  $\neq$  optimization zone (wider + mask SZ)



# 3- Le post-processing

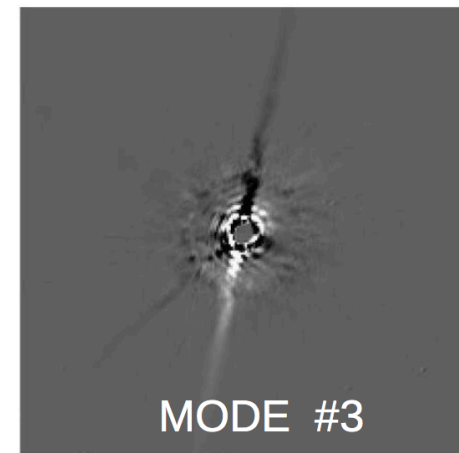
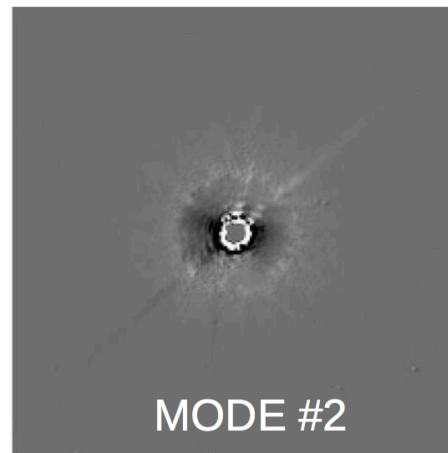
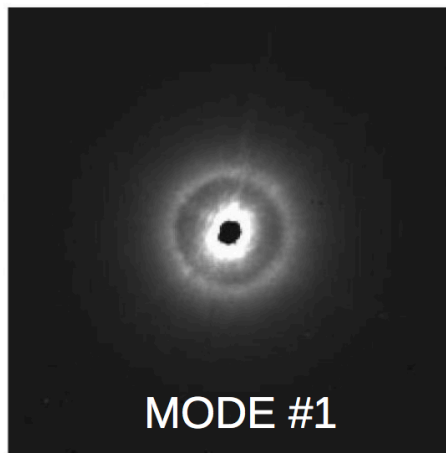
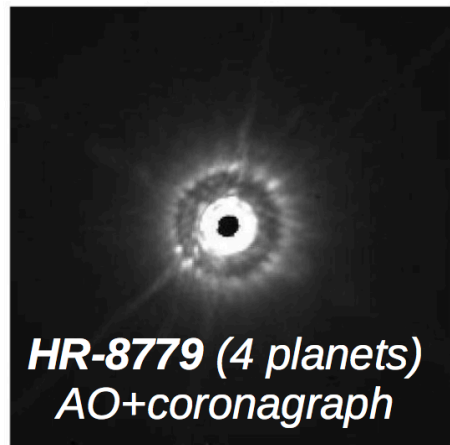
## 3- PCA

*Amara & Quanz, 2012*

*Soummer et al. 2012*

Decomposition on a set of orthonormal basis function

Basis functions: sine and cosine, GWH polynomial, **Karhunen-Loève...**



# 3- Le post-processing

## 3- Les problèmes inverses

### Problème direct:

Image = f(paramètres)

$$I = o * H + b$$

A partir de  $o$ , on fait une image.

### Problème inverse:

Un problème inverse consiste à trouver les paramètres dans un jeu de données qui dépendent de ces paramètres. Ces paramètres ne sont PAS ceux observés directement. A partir de  $I$ , on estime  $o$ .

### Problème mal posé au sens de Hadamard:

si il ne respecte pas l'une au moins des 3 conditions suivantes :

- Il y a existence de la solution
- Il y a unicité de cette solution
- Et enfin, si il y a stabilité de cette solution vis à vis du bruit

(c'est-à-dire si la solution dépend continûment des données) : une petite variation du bruit ne doit entraîner qu'une petite variation de la solution.

# 3- Le post-processing

## 3- Les problèmes inverses

Souvent mal posé, en pratique après une étape de “réduction” ou pré-traitement des données, dont le but est de corriger les défauts instrumentaux de façon à ce que les données puissent être correctement décrites par le modèle direct adopté.

### Cas générique simple : résolution par inversion

Cas non-bruité

Opérateur linéaire

### Exemple chouette : la deconvolution, avec et sans bruit

**Problème si bruit !!!**

Il est alors nécessaire d'inclure la connaissance statistique du bruit et du signal pour améliorer le résultat.

# 3- Le post-processing

## 3- Les problèmes inverses

C'est un problème de **minimisation** (optimisation):

$$\text{Min } J(\text{objet}) = f(\text{data} - \text{model})$$

-> Comment trouver le bon estimateur ?

**Approche déterministe:** Pas de modèle explicite du bruit

Estimateur moindres-carrés (MC):

$$J_{LS} = || \text{data} - \text{modele} ||_2$$

Existence et unicité garantie !

**Approche stochastique:** Prends en compte la statistique des différents bruits pour définir la norme qui minimise le critère J.

Ex: Maximum de vraisemblance (MV) –

Maximise la probabilité d'observer les données, sachant le modèle

$$\text{Max } \Pr(\text{data} | \text{model}) = p_n(\text{data-model}(\text{para}))$$

Si le bruit est **blanc** (stationnaire) et Gaussien, c'est équivalent à la solution MC

# 3- Le post-processing

## 3- Les problèmes inverses

C'est un problème de **minimisation** (optimisation):

$$\text{Min } J(\text{objet}) = f(\text{data} - \text{model})$$

-> Comment trouver le bon estimateur ?

**Régularisation:** La stabilité n'est pas garantie à cause du bruit  
Introduire des informations additionnelles (connaissances a priori) pour  
contraindre le problème (vers unicité, évite de fitter le bruit).

Il existe 2 types de régularisation:

(1) paramétriques: agit **directement** sur les inconnues du problème  
(forme, intensité etc.)

(2) non-paramétrique: consiste à **ajouter** un terme au critère J à minimiser  
(terme de *penalization*). -> Hyperparamètre  $\lambda \in [0,1]$  qui règle son poids.

$$J_{\text{MAP}} = J_{\text{MV}} + \lambda J_{\text{reg}}$$

Cadre Bayésien !

# 3- Le post-processing

## 3- Les problèmes inverses

C'est un problème de **minimisation** (optimisation):

$$\text{Min } J(\text{objet}) = f(\text{data} - \text{model})$$

-> Comment trouver le bon estimateur ?

### **Régularisation, exemples:**

Contrainte de positivité:

- (i) reparamétrisation,
- (ii) force les para de minimisation,
- (iii) penalize les termes négatifs

Contrainte spatiale:

Norme L2 pour lisser le bruit

Norme L1 pour les données parcimonieuses

Norme L1-L2 pour un mélange (utilise le gradient d'intensité dans une image)



# 3- Le post-processing

## 3- Les problèmes inverses

### Les modèles de bruit:

Bruit Gaussien

Bruit de Poisson

Bruit blanc

Etc.

### Ex:

Bruit de détecteur = bruit Gaussien, additif, stationnaire

Bruit de photon = bruit Poisson, multiplicatif, non-stationnaire

## **3- Le post-processing**

## **4- Exemple ANDROMEDA**

Au tableau !

Resultats après 😊

# 3- Le post-processing

## Conclusions

- Détection vs caractérisation
- Les limites de détections
- Et pour les disques ?
- Utiliser les méta-données...