

Avancées et statut de l'infrarouge

Workshop StarDICE@LPNHE - Novembre 2023

Kélian Sommer, Bertrand Plez, Johann Cohen-Tanugi

Sommaire

1. Rappels
2. Calibration

Discussion

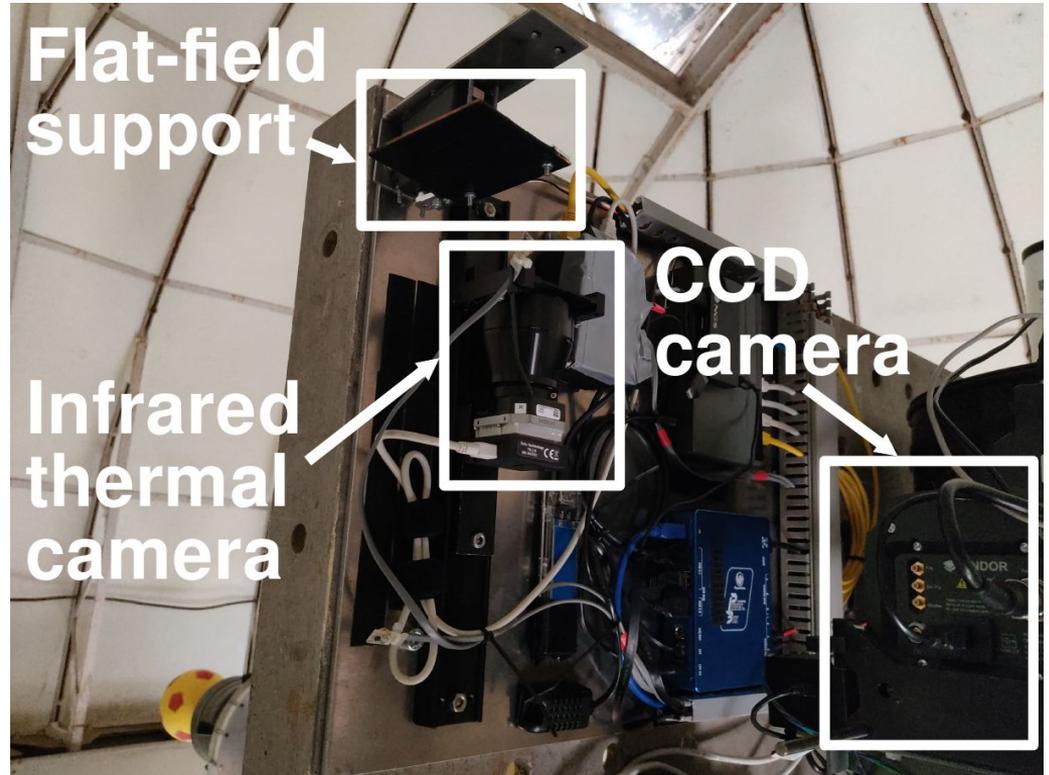
3. Pre-processing
4. Aperçu des premières données

Discussion

1. Rappels

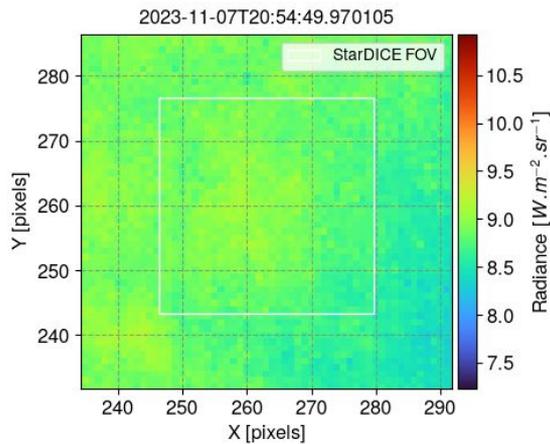
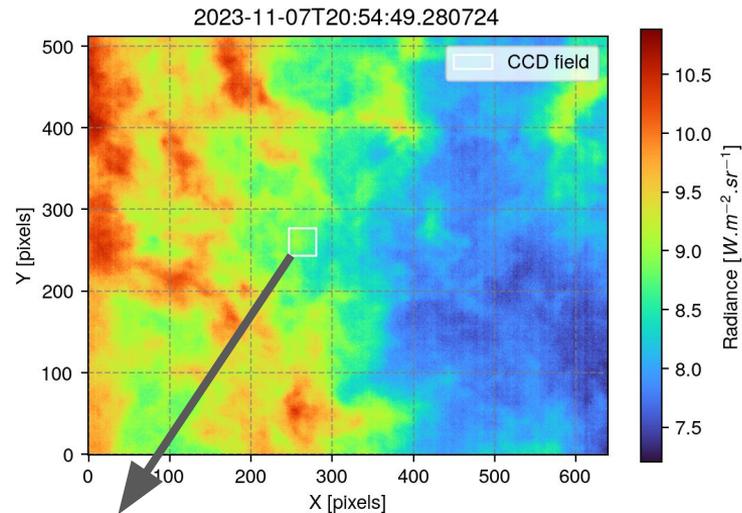
Instrument IR@OHP

- Instrument installé depuis mars 2023
- 640 x 512 pixels
- ~ 1 arcmin/px
- FOV = 10.38 x 8.31 deg
- Images radiométriques (radiance et non pas *brightness temperature*)
- Support de flat-field externe + servomoteur
- Contrôlé par Raspberry Pi 4



D'autres chiffres importants

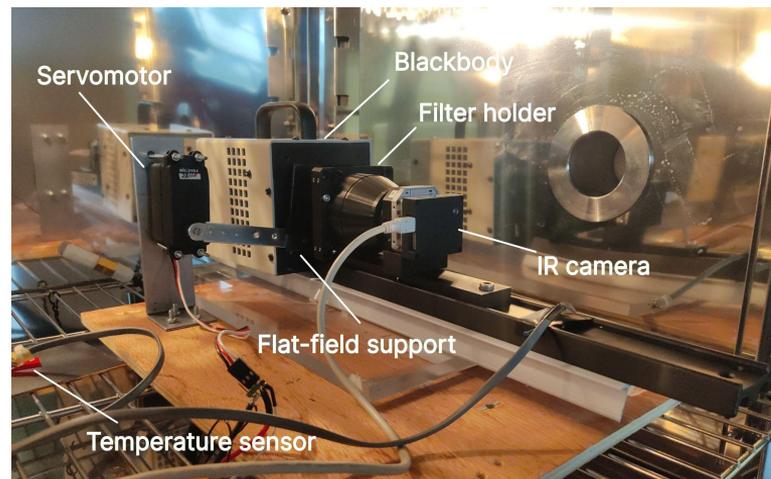
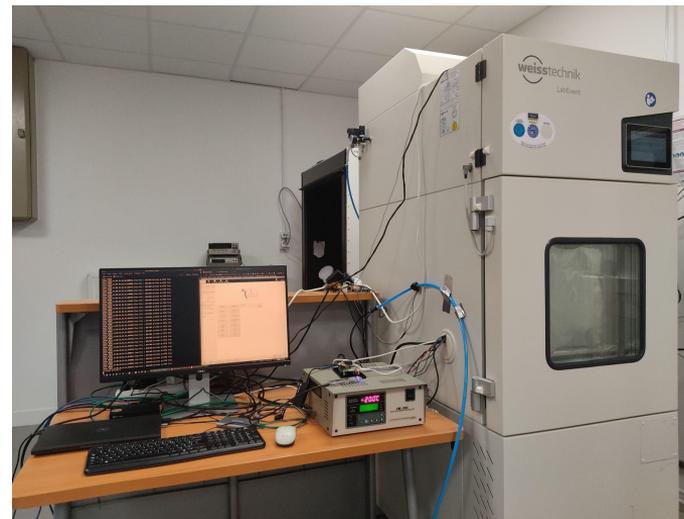
- Champ StarDICE ~ 32 x 32 pixels
- 8.33 images / seconde
- 1 image brute ~ 650 ko
- 10h obs ⇒ 80 Go
- 2 To SSD en local uniquement



2. Calibration (in progress)

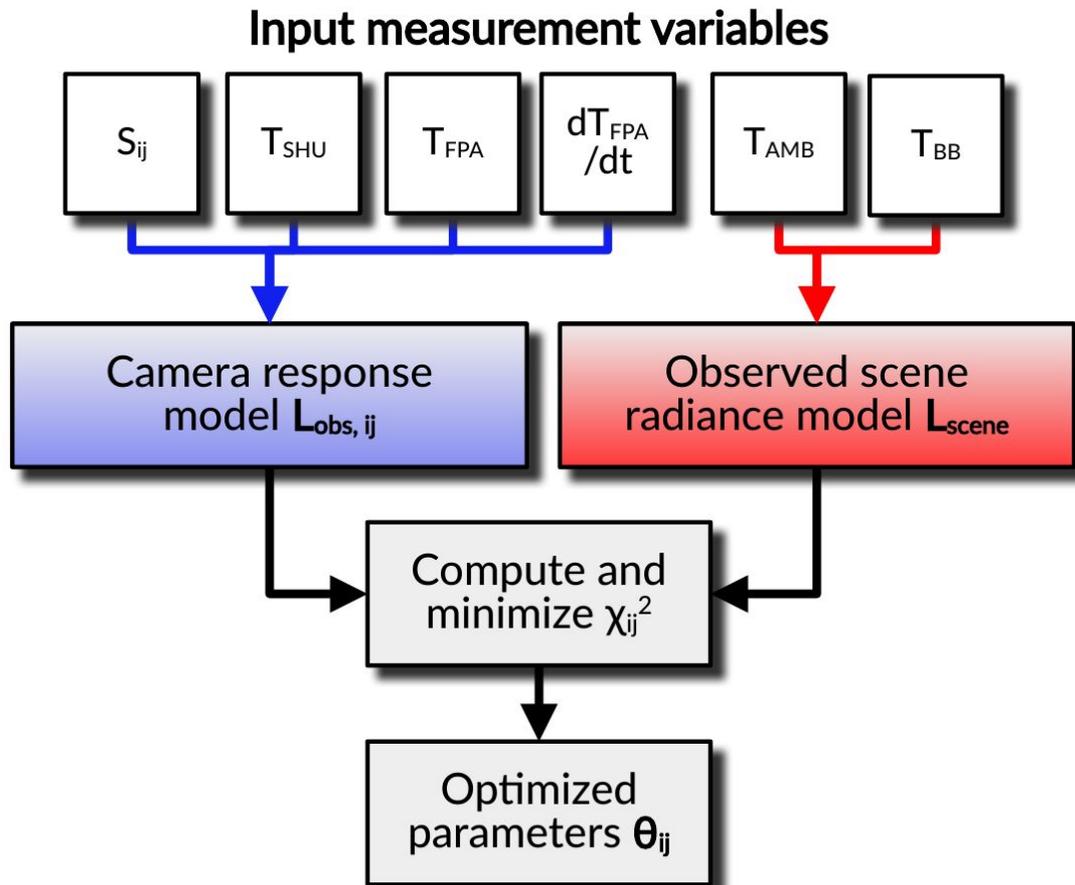
Principes et objectifs

- Transformation des ADU en $W/m^2/sr$
- Données @IJCLAB en décembre 2022
- ~ 300k images
- Images d'un corps noir de température et émissivité connue dans une enceinte climatique contrôlée pour faire varier la température de la caméra



Méthode (1/2)

- Forward modeling
 - ◆ Modèle de radiance de scène estimée
 - ◆ Modèle de calibration de la caméra IR
- Correction d'effets du capteur
- 1 vecteur de paramètres Θ par pixel \Rightarrow 327,680 régressions
- Actuellement : modèle de réponse non-linéaire



Méthode (2/2)

- Model parameters θ are constrained by minimizing the χ^2 likelihood with *IMINUIT* package :

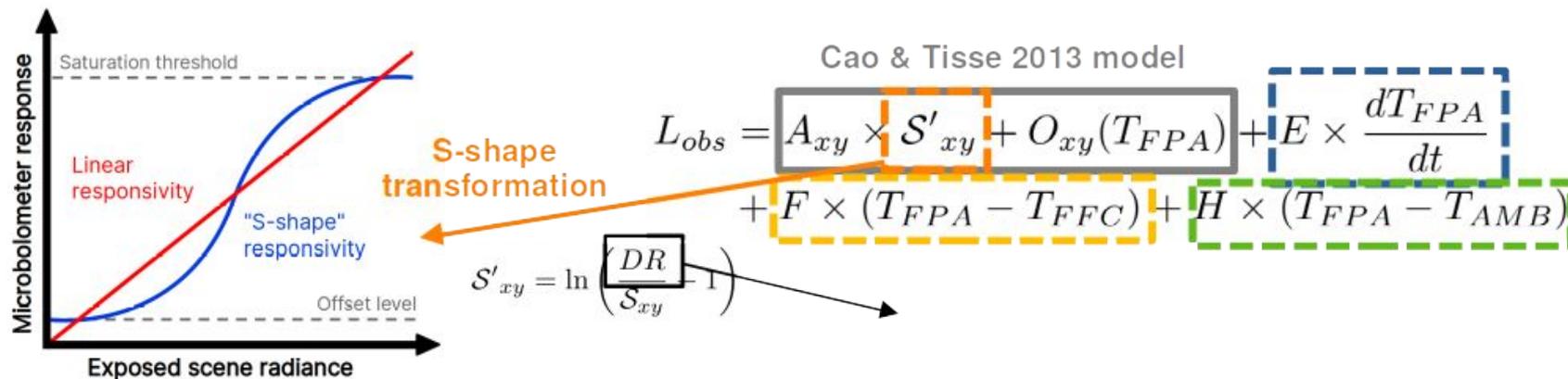
$$-2 \ln(\ell) = \chi^2 = [L - \hat{L}(\theta)]^T \cdot C^{-1} \cdot [L - \hat{L}(\theta)] = \Delta L^T \cdot C^{-1} \cdot \Delta L$$

Given by the scene radiance model

$$L_{scene} = \epsilon_{BB} \times L_{BB} + (1 - \epsilon_{BB}) \times L_{AMB}$$

Covariance matrix

Calibration model

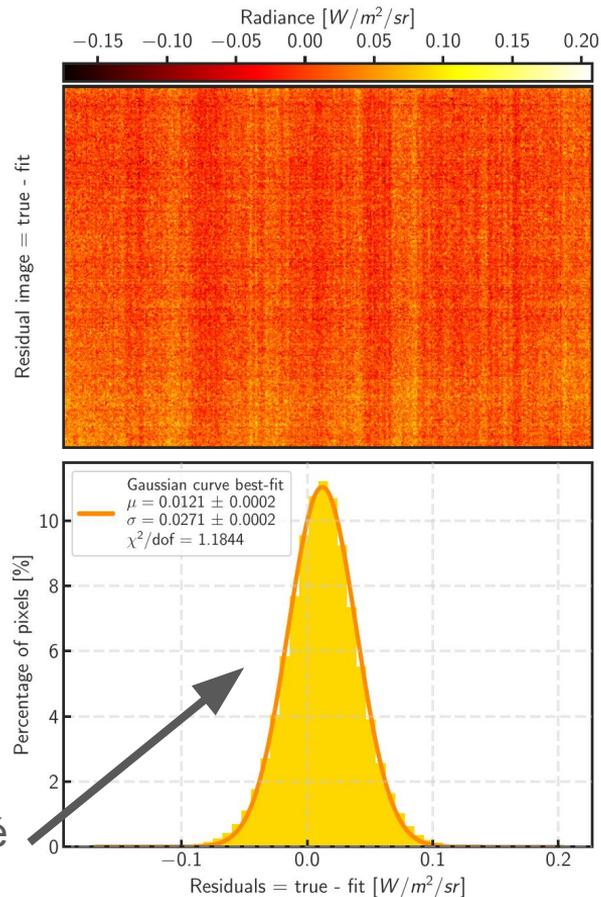
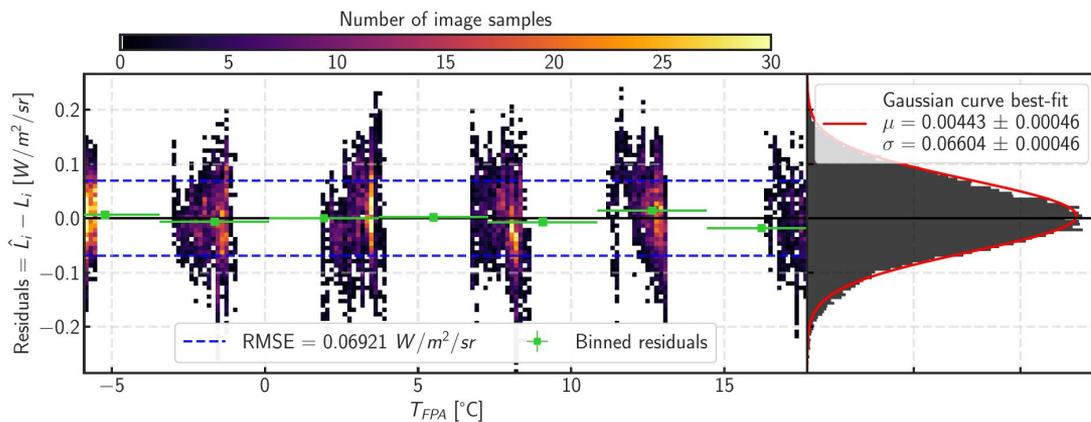


Données pour la calibration

Dataset	Températures corps noir [°C]	Température enceinte climatique [°C]	Distance caméra <-> CN	Filtre
1	[20, 40, 60]	15 & 30	~ 15 cm	
2	[-30, -20, -10]	[-5, 0, 5, 10, 15, 20]	~ 15 cm	
3	[-20, -10]	[-5, 0, 5, 10, 15, 20]	< 10 cm	
4	[-20, -10]	[-5, 0, 5, 10, 15, 20]	< 10 cm	X

Résultats préliminaires

Dataset #3 uniquement!



Résolution spatiale au seuil minimal



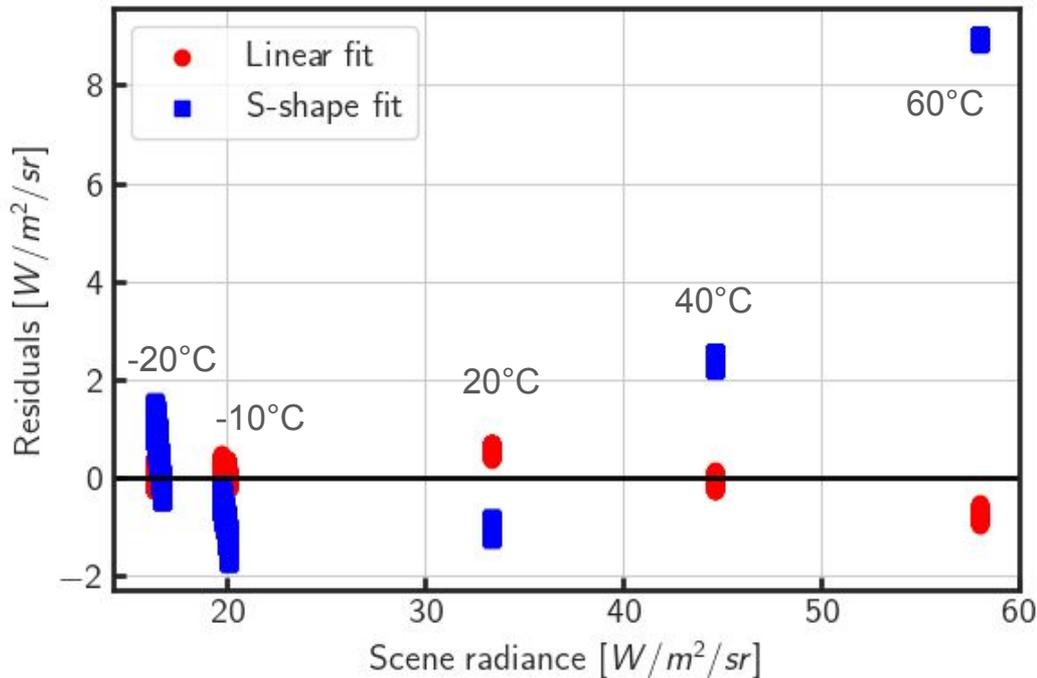
\sim ordre de grandeur sensibilité caméra constructeur

Réponse linéaire ou non-linéaire

Modèle non-linéaire performe bien sur les données basses températures uniquement
MAIS mal sur la combinaison basses + hautes températures

“The real response of a thermal camera is typically S-shaped, with a linear response limited on the low end by electronic noise and saturated at the upper end”

NISTIR 8098, Calibration and Measurement Procedures for a High Magnification Thermal Camera



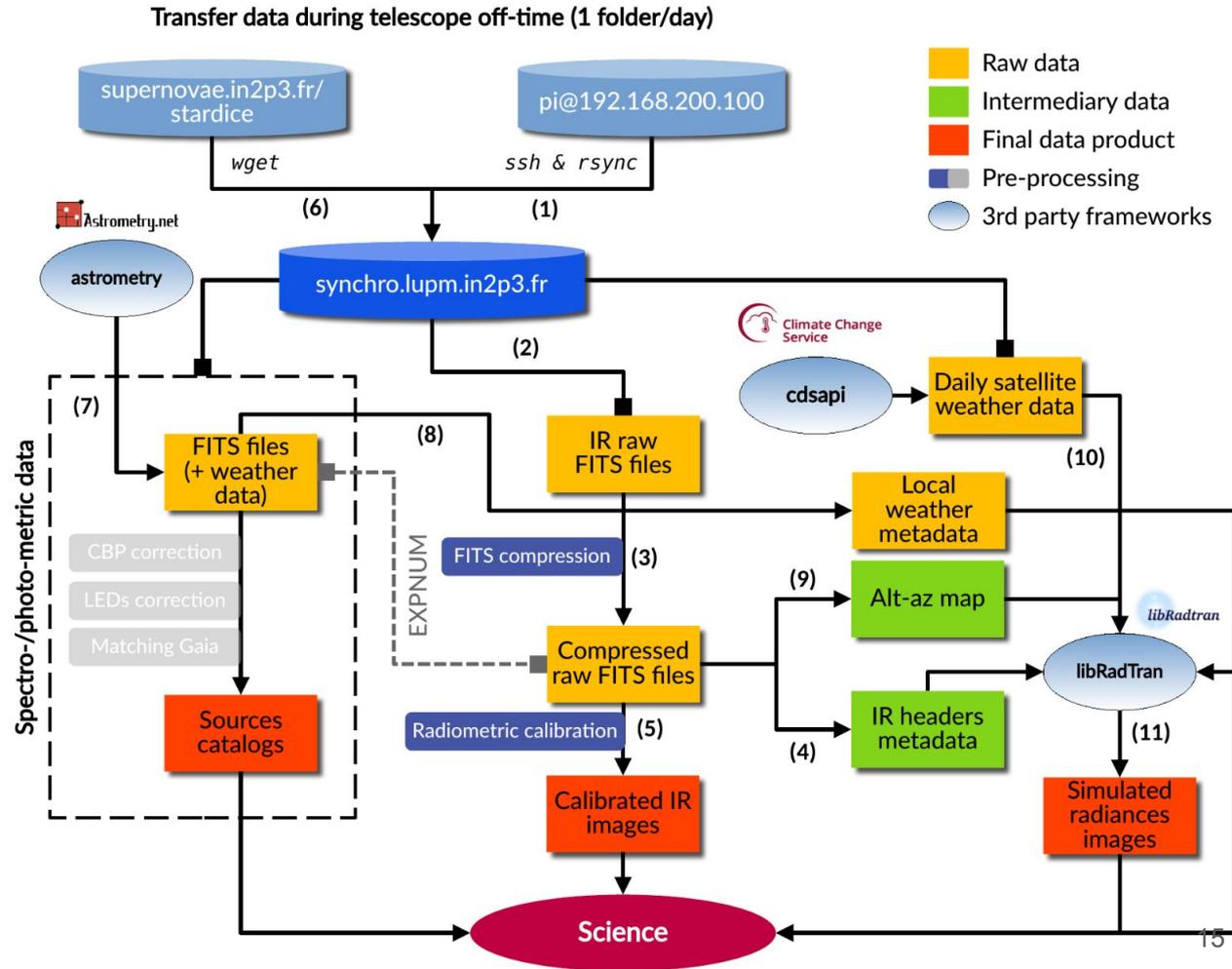
Conclusion, difficultés et statut

- Excellente correction spatiale qui atteint les limites du détecteur ~ 0.028 W/m²/sr
- La difficulté réside dans le point zéro
- En réalité, peu de conditions réellement différentes (explication de Johann) : 50,000 pts \Rightarrow une douzaine de pts de mesure (T-CN, T-AMB)
- Comme tout bouge en même temps dans le même sens (température FPA, caméra, ambiante), il est difficile de fitter des paramètres de nuisance pour cause de dégénérescence
- Modèle non-linéaire donne des radiances de ciel proches des simulations sur ciel contrairement au modèle non-linéaire qui surestime d'un facteur 2 (en considérant les données #2 uniquement)
- D'où provient l'augmentation des résidus avec la radiance de scène ?
- Johann a généré un dataset réduit sur lequel on test plein de choses MAIS les effets de dérives ne sont plus caractérisables

3. Pre-processing

Vue globale

- Routines cron exécutant des scripts python
- Transfert des images depuis l'OHP le matin
- Data products :
 - ◆ FITS bruts + calibrés
 - ◆ Carte alt-az
 - ◆ Données météo locales + satellites
 - ◆ Film accéléré de la nuit



Data products (1/2)

```
sommer@u2204-sommer-40:~/stardice/data$ ll
total 1MB
drwxr-xr-x 1 sommer lupm 1MB Nov 16 09:03 ./
drwxrwxrwx 1 root   root 1MB Oct 11 13:13 .//
drwxr-xr-x 1 sommer lupm 1MB Oct 11 13:39 2023_09_05/
drwxr-xr-x 1 sommer lupm 1MB Oct 13 08:34 2023_09_06/
drwxr-xr-x 1 sommer lupm 1MB Oct  7 08:55 2023_09_11/
drwxr-xr-x 1 sommer lupm 1MB Nov 14 22:27 2023_09_13/
drwxr-xr-x 1 sommer lupm 1MB Oct  7 10:21 2023_09_24/
drwxr-xr-x 1 sommer lupm 1MB Nov 16 12:17 2023_11_06/
drwxr-xr-x 1 sommer lupm 1MB Nov 17 00:35 2023_11_07/
```

1 dossier = 1 nuit d'observation

```
sommer@u2204-sommer-40:~/stardice/data$ tree -d 2023_11_06/
2023_11_06/
├── IR
│   ├── altaz_maps
│   ├── calibrated
│   ├── raw
│   ├── simulations
│   └── 2023_11_07_ir_
├── calibrated_movie.mp4
└── OPTIC
    └── solved
```

7 directories

Data products (2/2)

```
sommer@u2204-sommer-40:~/stardice/data/2023_11_06$ ll
total 1MB
drwxr-xr-x 1 sommer lupm 1MB Nov 16 12:17 ./
drwxr-xr-x 1 sommer lupm 1MB Nov 16 09:03 ../
-rw-r--r-- 1 sommer lupm 1MB Nov 16 12:17
2023_11_06_satellite_data.grib
drwxr-xr-x 1 sommer lupm 1MB Nov 16 12:17 IR/
drwxr-xr-x 1 sommer lupm 1MB Nov 16 12:13 OPTIC/
-rw-r--r-- 1 sommer lupm 1MB Nov 16 12:17 combined_weather_data.csv
-rw-r--r-- 1 sommer lupm 1MB Nov 16 12:13 local_weather_data.csv
```

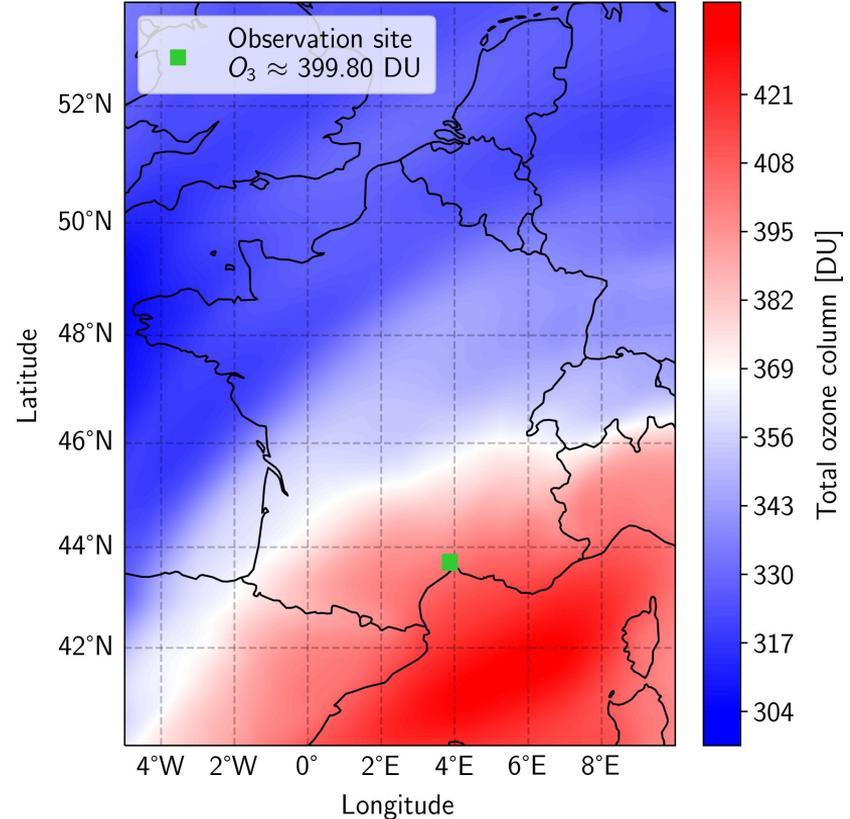
1 ligne = 1 image optique = 1 EXPNUM

Données satellite

- cdsapi :
 - ◆ ERA5 dataset
 - ◆ Latence ~ 5 jours
 - ◆ Hourly data
 - ◆ Résolution ~ 25 km

- Interpolation sur le DATE-OBS des images optique

- Ozone, PWV, albedo, pression atm....



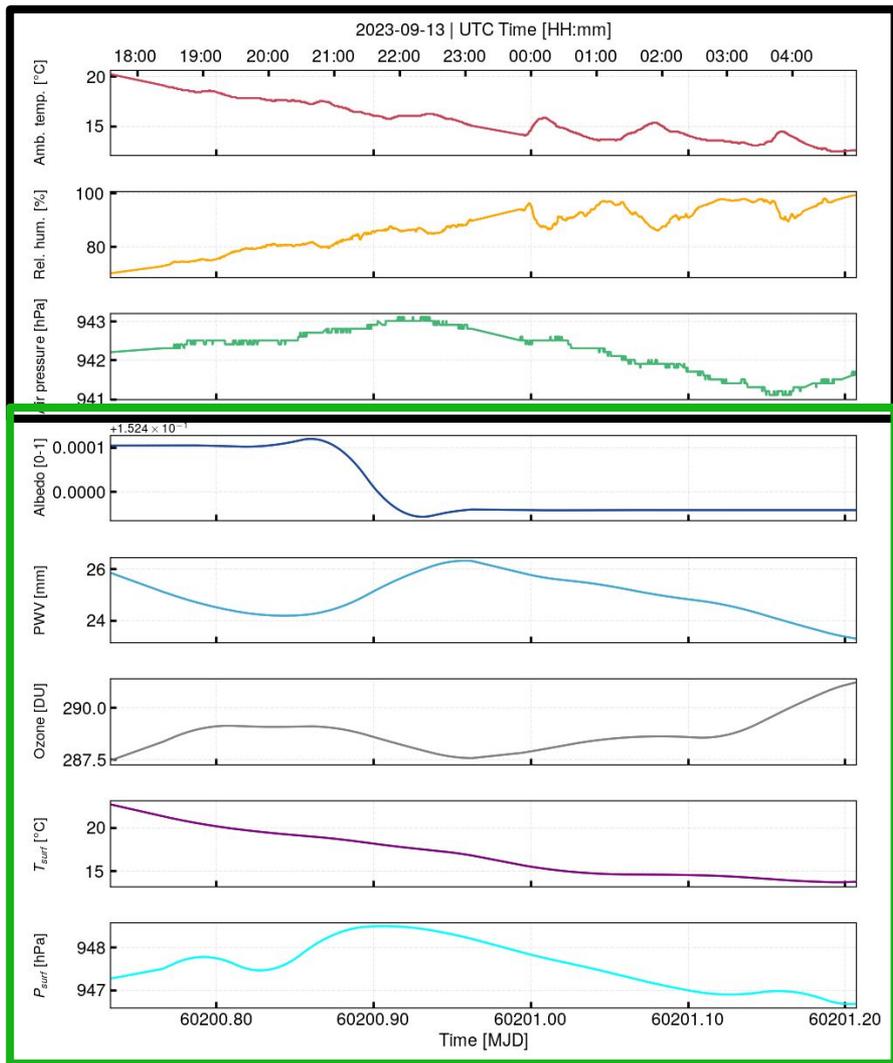
Données météo

local



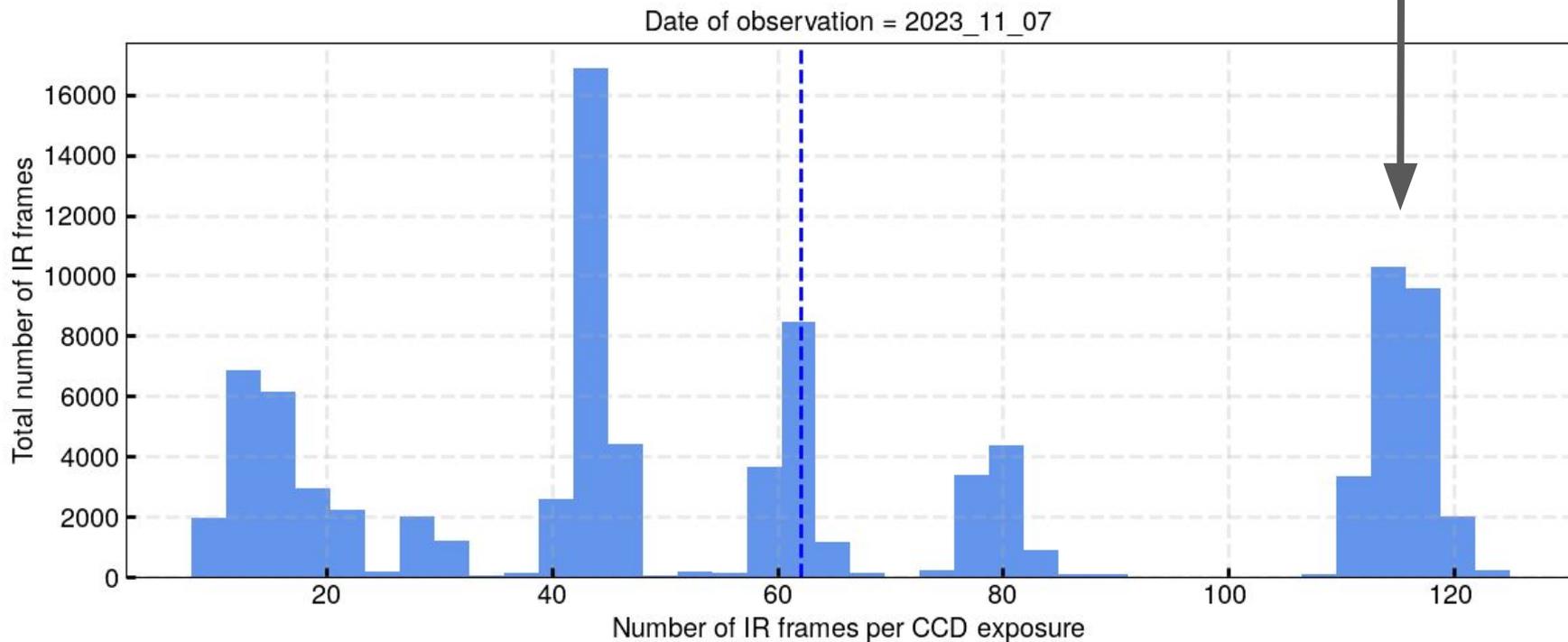
*** injectées dans libRadTran
pour les simulations de
radiance du ciel perçue par
la caméra**

cdsapi



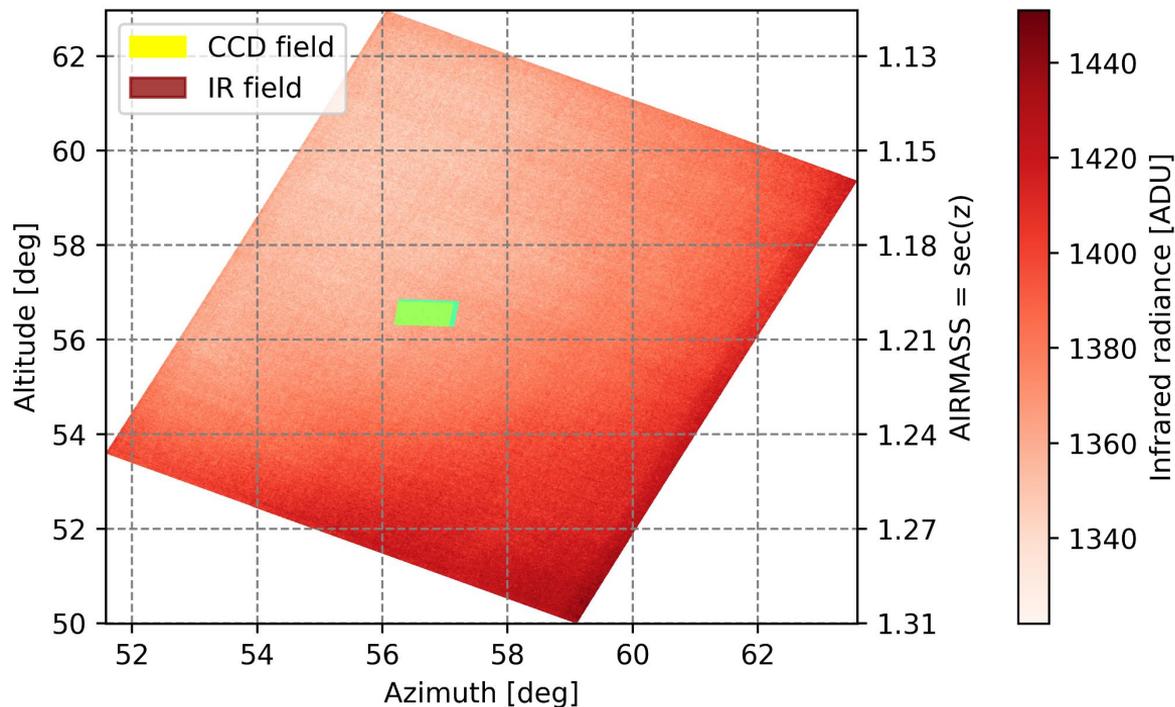
Quantité de données IR

Poses spectro
= 30 sec



Carte alt-az et masse d'air sur les champs visible et IR

→ Nécessite une vérification avec images du T152 pour l'orientation



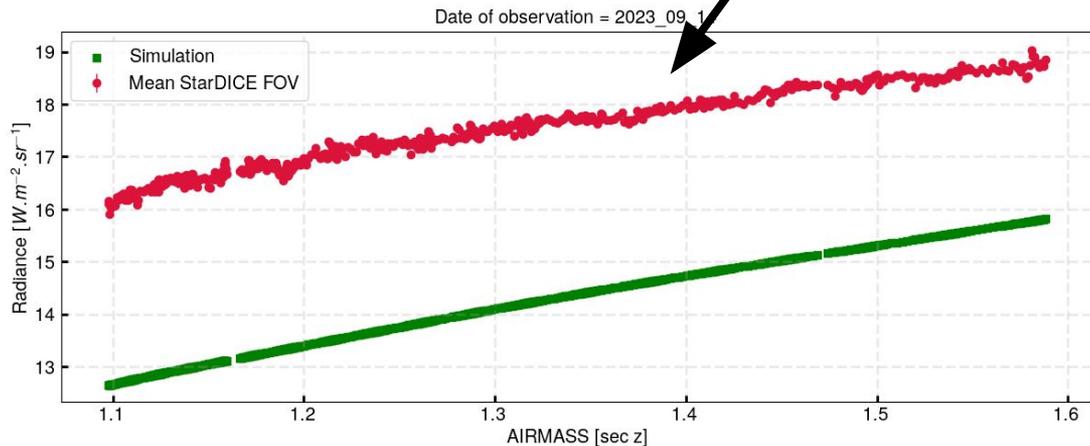
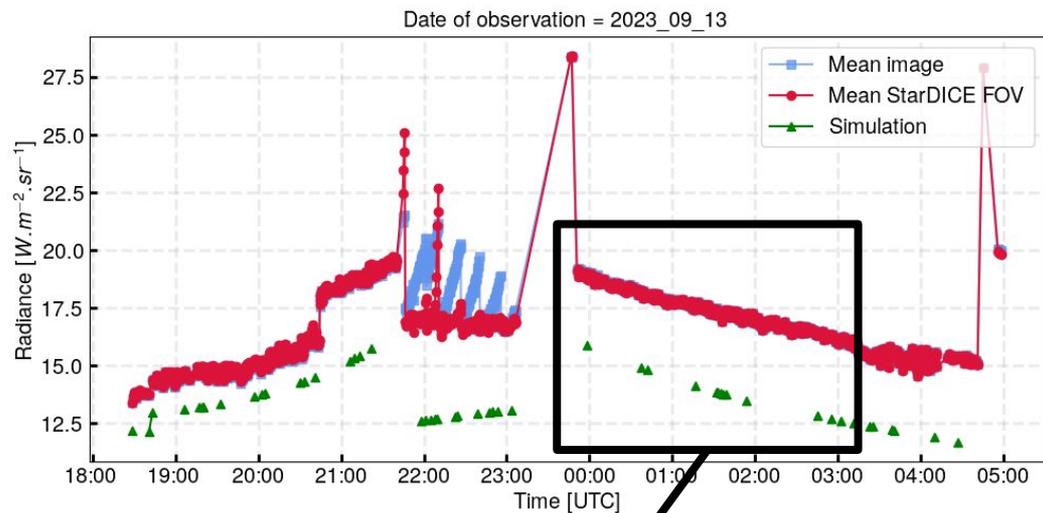
4. Aperçu des premières données

Film de la nuit

voir fichiers locaux

Simulations libRadTran

- Modèle d'altitude standard (US76, Midlatitude winter...)
- Solver pseudosphérique
- Entrée :
 - ◆ Température, humidité et pression
 - ◆ Altitude
 - ◆ Angle zenithal
- Sortie :
 - ◆ Radiance du ciel x réponse de la caméra IR
- 1 simulation par EXPNUM
- 1 min / 1000 simulations

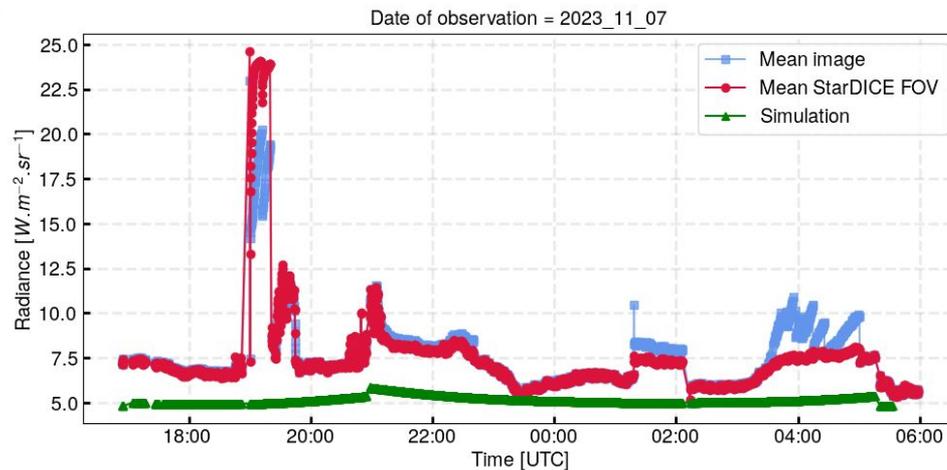
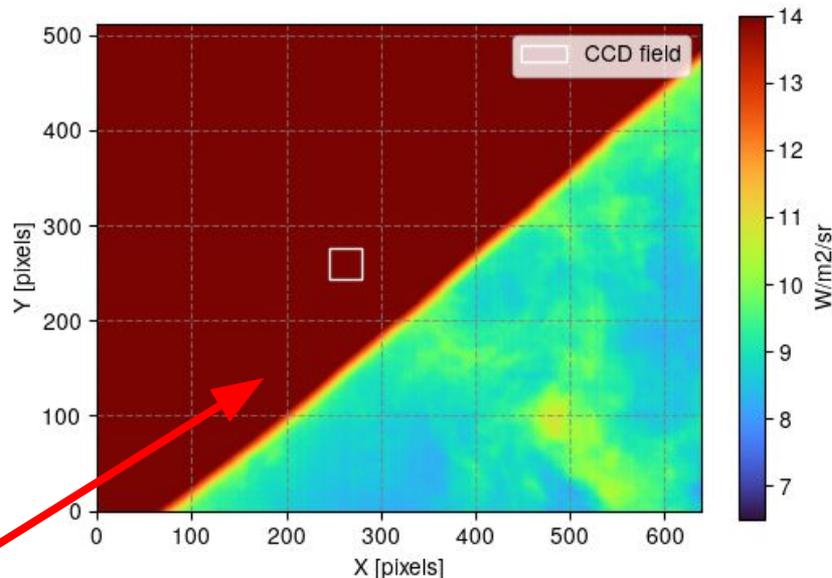


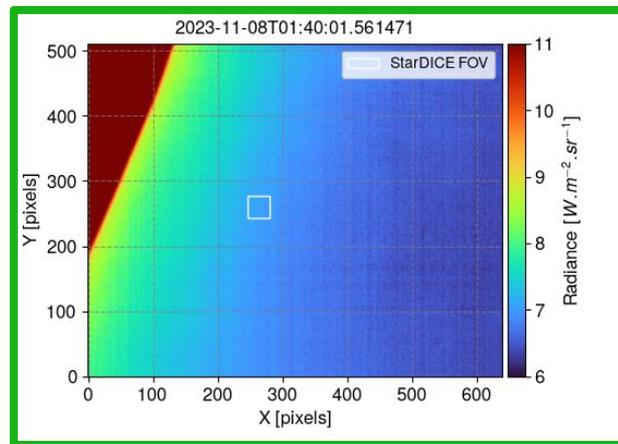
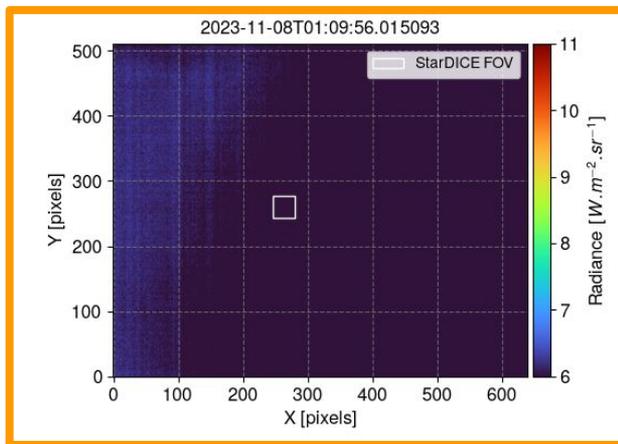
Simulations libRadTran

- Différence ne peut s'expliquer par :
 - ◆ Angle zenithal
 - ◆ Quantité de PWV (excellent accord entre mesures satellites et sortie libRadTran, diff < 2 mm)
- Différence entre simulation et modèle peut s'expliquer par :
 - ◆ Choix du modèle d'atmosphère standard considéré (Midlatitude summer, Midlatitude winter, US76, autre)
 - ◆ Le point zéro de la calibration IR mal défini
 - Modèle linéaire à préférer plutôt que non-linéaire ?
 - Dû à l'absence de points à très basses températures ? (< -20°C)
 - ◆ Je rate quelque chose dans libRadTran
- Cross-check à effectuer en simulant les brightness temperatures du ciel et en transformant la radiance brute ADU → température d'après les équations du fabricant

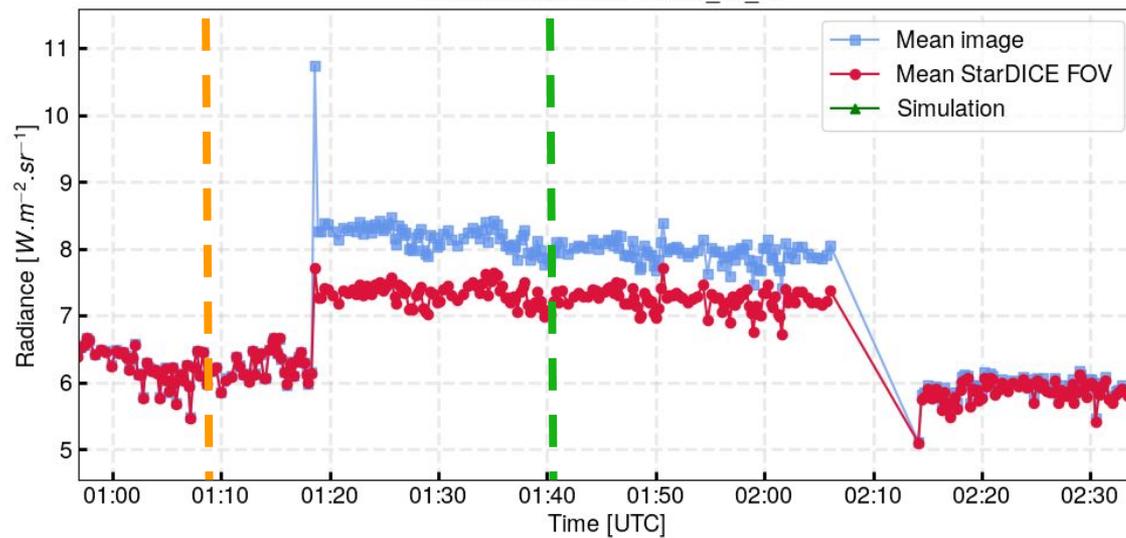
Effet du cimier

- Crée un gradient de diffusion sur l'intégralité de l'image quand il est présent dans le champ
- Ne gêne pas pour détecter la structure car réhausse le niveau global de l'image uniquement
- Tri des images pour exclure celles où le cimier est dans le champ StarDICE
- Mitigation du problème en modifiant la position du cimier par rapport aux axes d'observation optique et IR (Laurent)

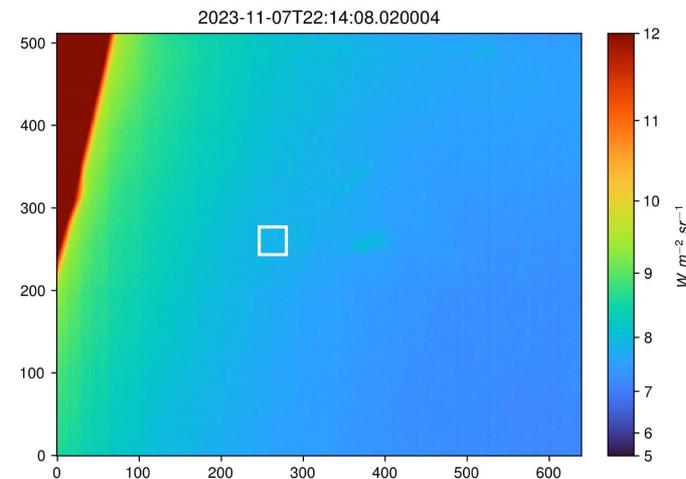
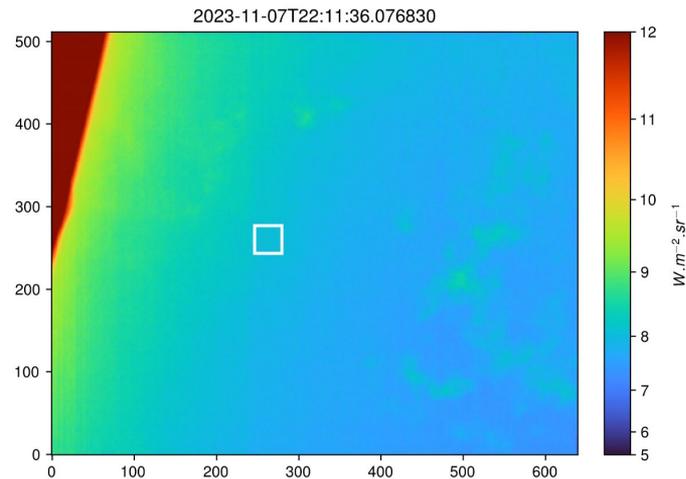
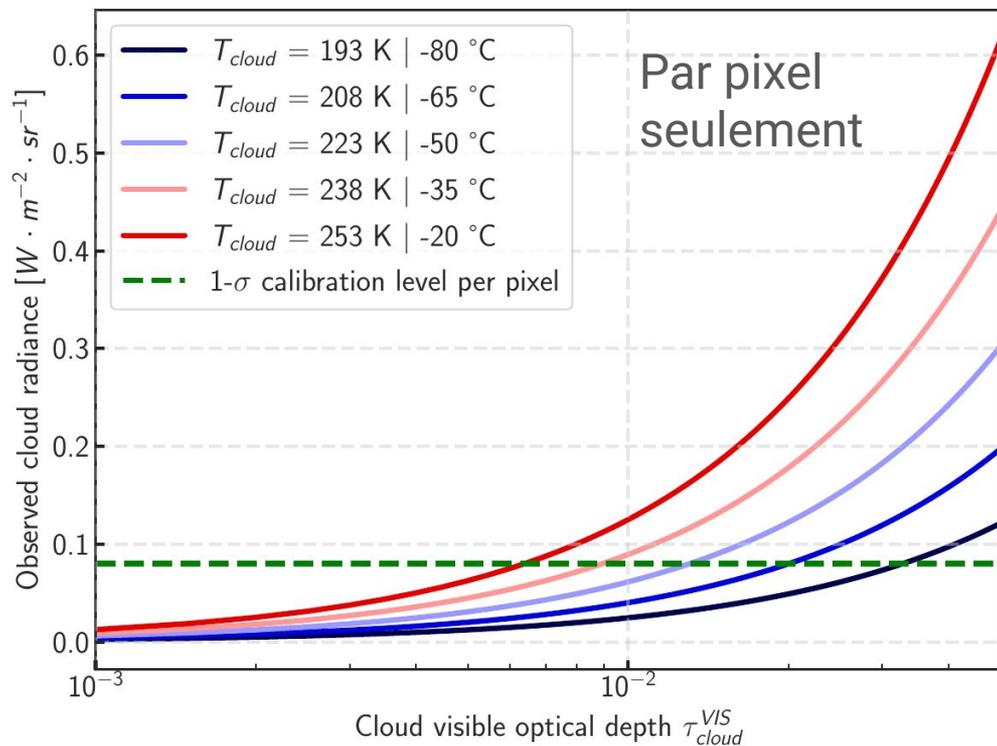




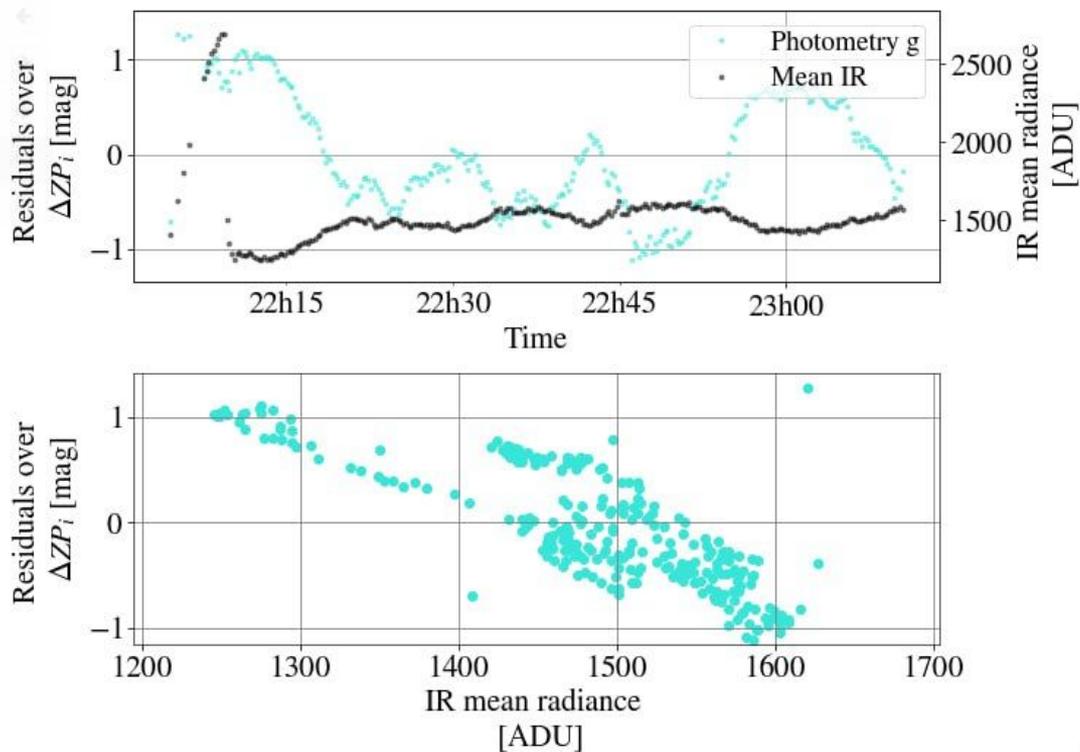
Date of observation = 2023_11_07



Excellent SNR

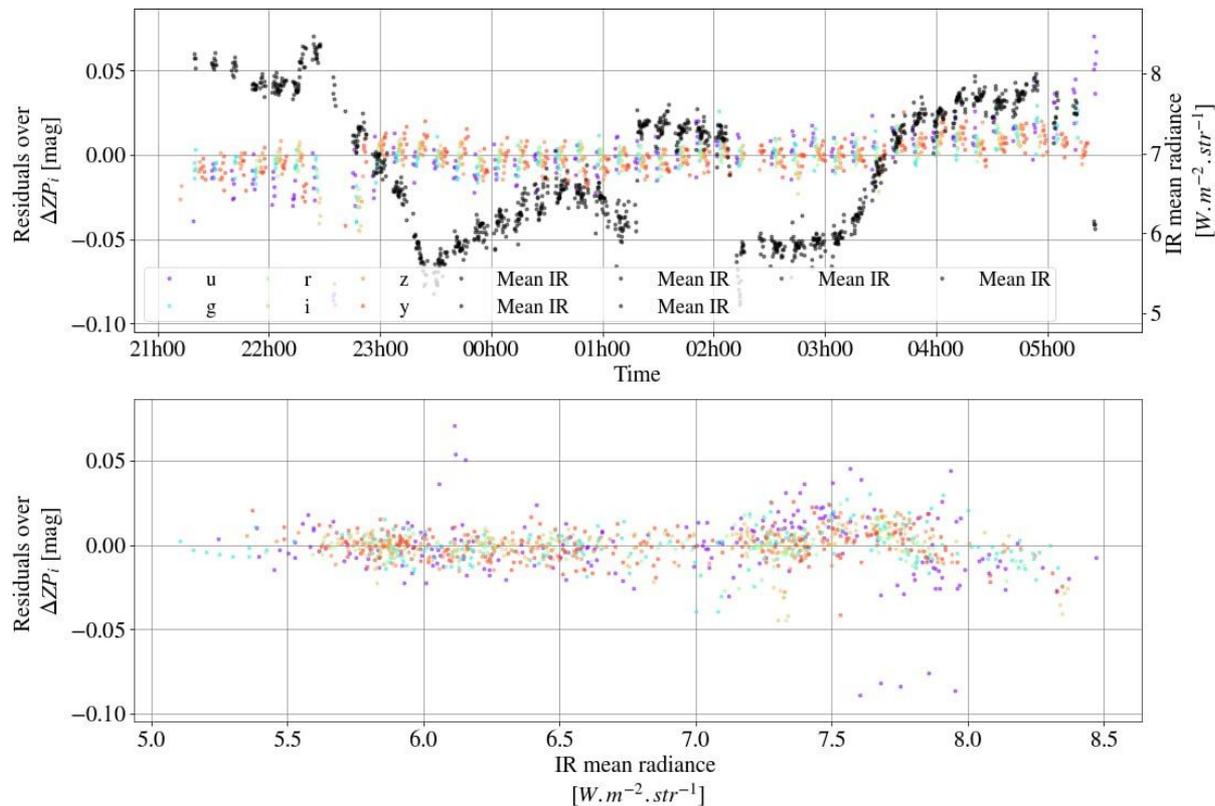


Corrélation avec la photométrie optique



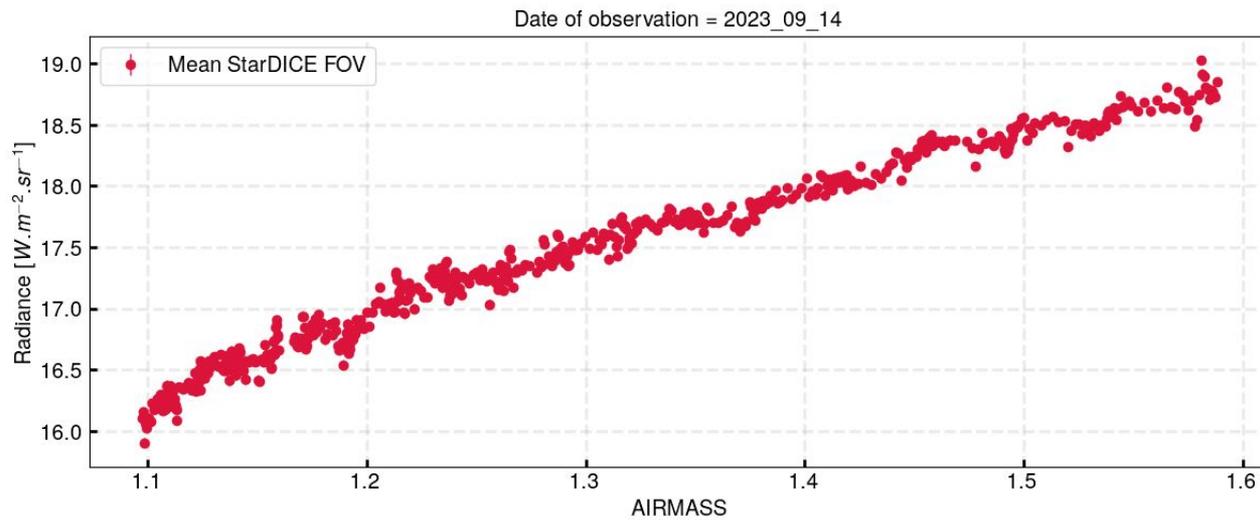
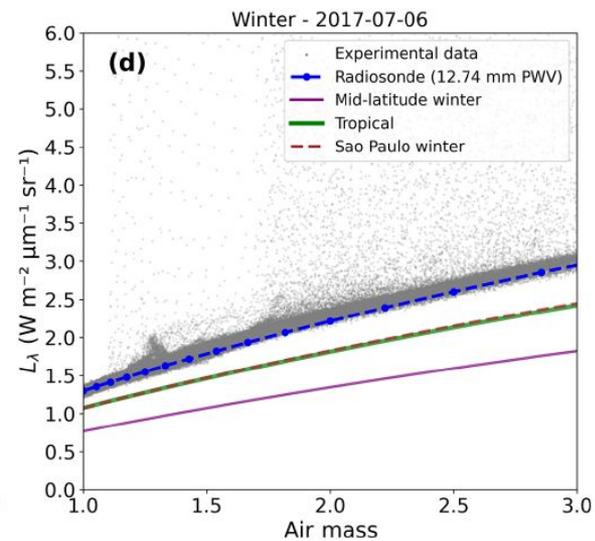
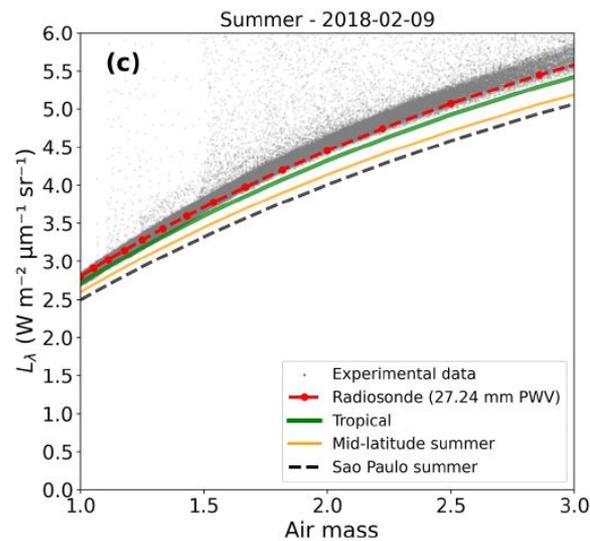
Corrélation avec la photométrie optique

→ On ne peut s'en sortir avec la moyenne qui ne veut rien dire



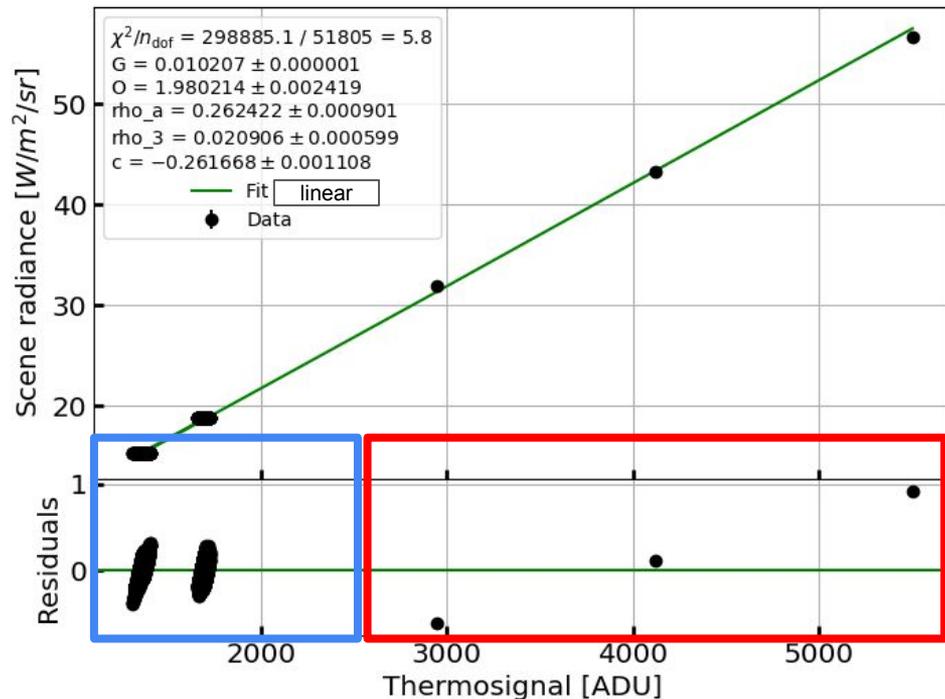
Suite du travail

- Remettre la pipeline de pre-processing en mode automatique
- Comparer température brutes avec brightness temperature données par libradtran pour voir si la calibration radiométrique est en tort ou les simulations
- Classer les images avec cimier
- Terminer l'analyse des données de calibration et finir le papier
- Utiliser l'information spatiale
- Utiliser toutes les images (attente de l'obtention des SSD)



Backup

Combinaison des datasets



Incompatibilité entre données à **basse température** et données à **haute température**

→ modèle de radiance de scène erroné ?

→ qq chose au niveau du senseur ?