

# LSST-VRO / StarDICE

## Développement des Nouvelles Sources

E. Sepulveda, S. Bongard, L. Le Guillou

*Workshop StarDICE  
LPNHE, Paris  
28-30 novembre 2023*

CPPM : O. Angelini, S. Beurthey, S. Deguero, F. Feinstein

Harvard : C. Stubbs, ...

LPNHE : P. Antilogus, P. Astier, M. Betoule, S. Bongard, J. Coridian, M. Dhellot, D. Hardin, C. Juramy, L. Le Guillou, E. Pierre, J. Neveu, N. Regnault, M. Roynel, E. Sepulveda, T. Souverin, A. Vallereau

LUPM : J. Cohen-Tanugi, Eric Nuss<sup>†</sup>, B. Plez, K. Sommer

LAL : S. Dagoret-Campagne, M. Moniez

OHP : P.-E. Blanc, F. Dolon, M. Ferrari, F. Huppert, A. Le Van Suu

# Contexte : StarDICE : limitations de la source



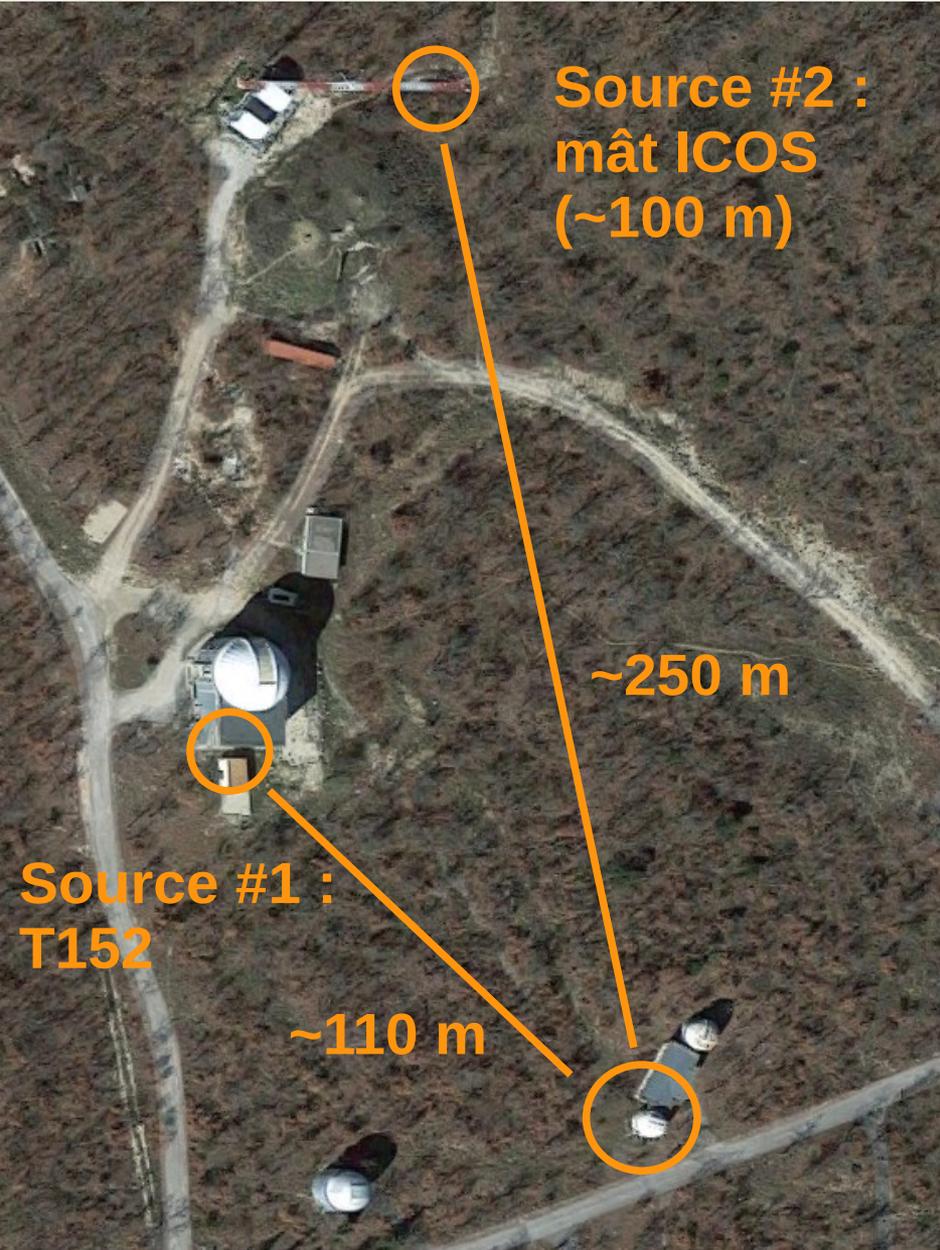
StarDICE *phase 1* : source LEDs calib.  
SkyDICE/SNDICE-II recyclée.

- **Température** de chaque LED (jonction) **mal mesurée** (sonde PT1000 sur le radiateur)
- Source conçue pour des flux élevés : **instabilités à bas courants**
- Electronique de contrôle trop complexe (*overdesign*) : **instabilités** de l'alimentation principale pendant les acquisition (FPGA + ADCs)...
- Source **insuffisamment protégée** : intempéries, ponte d'insectes... (frelons, guêpes)

→ **Nécessité d'un nouveau design** : électronique et mécanique.



# Phase 2 : 2 sources pour 2 lignes de visée



Source #2 :  
mât ICOS  
(~100 m)

~250 m

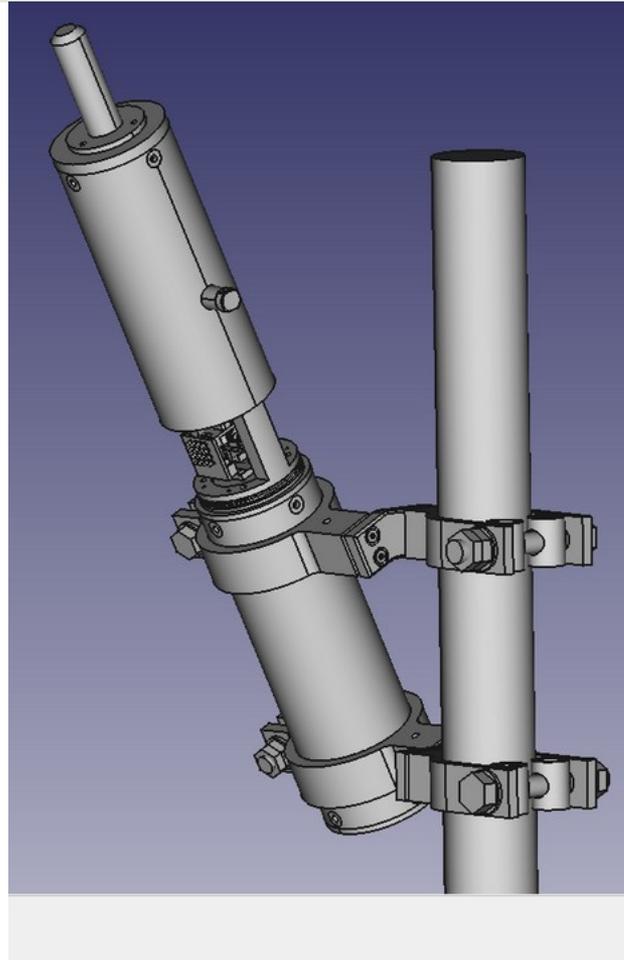
Source #1 :  
T152

~110 m

2 lignes de visée disponibles :

- Terrasse du T152 (élévation 11°)
- Mât ICOS (élévation 26°)
- Intérêt : meilleure compréhension de l'**extinction atmosphérique à proximité du sol** (humidité, émissions des chênes).
- Chaque source est équipée d'une protection (couvercle métallique, « heaume ») qui peut être **ouverte/fermée à distance**, pour protéger la source calibrée.
- Impératifs : résistance aux intempéries, aux variations de température, et **extrême robustesse**.

# Source conçue pour le mât ICOS (~100m)

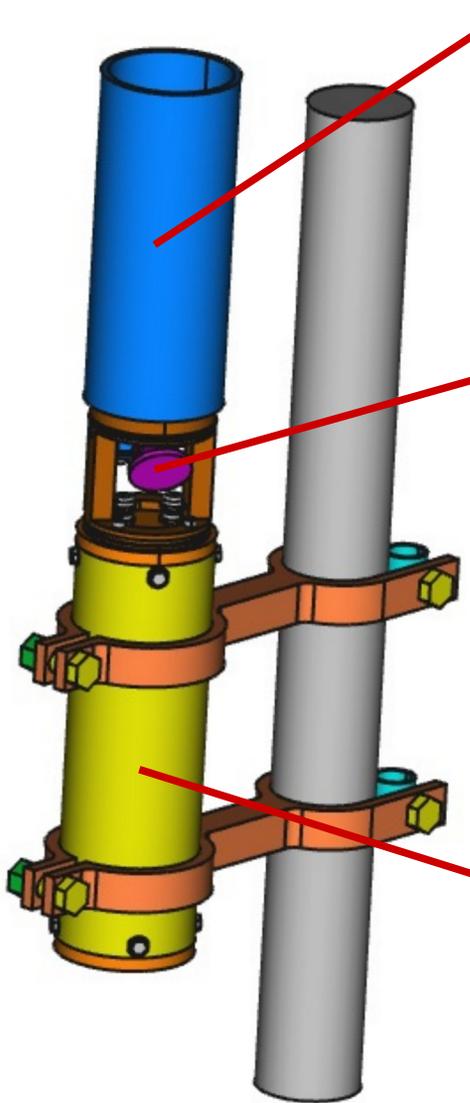


Source enclosure for the ICOS  
100 meter tower



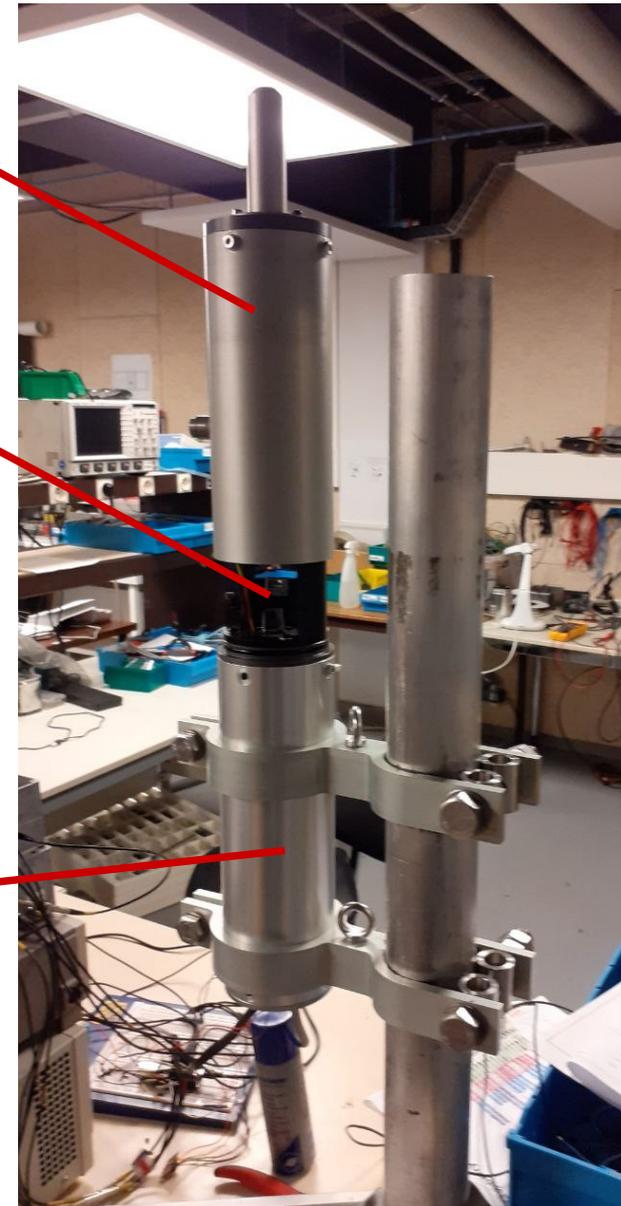
**R&D nouvelles sources LEDs  
pour StarDICE : *status***

# Vue d'ensemble de chaque source (2 ex.)



- **Couvercle de protection motorisé** : moteur, vis sans fin, carte G250X + fins de courses magnétiques.
- **Carte 16 LEDs**  
+ DS1631 (température)
- **Laser de visée** (axe opt.)
- **Connecteur fibre optique** (calib long d'onde banc)
- **Enceinte électronique** :  
***backend LEDs*** (DAC+ADC)  
+ **Raspberry Pico (*master*)**  
+ **CH9121** (interf. ethernet)

(Vidéo Edo)

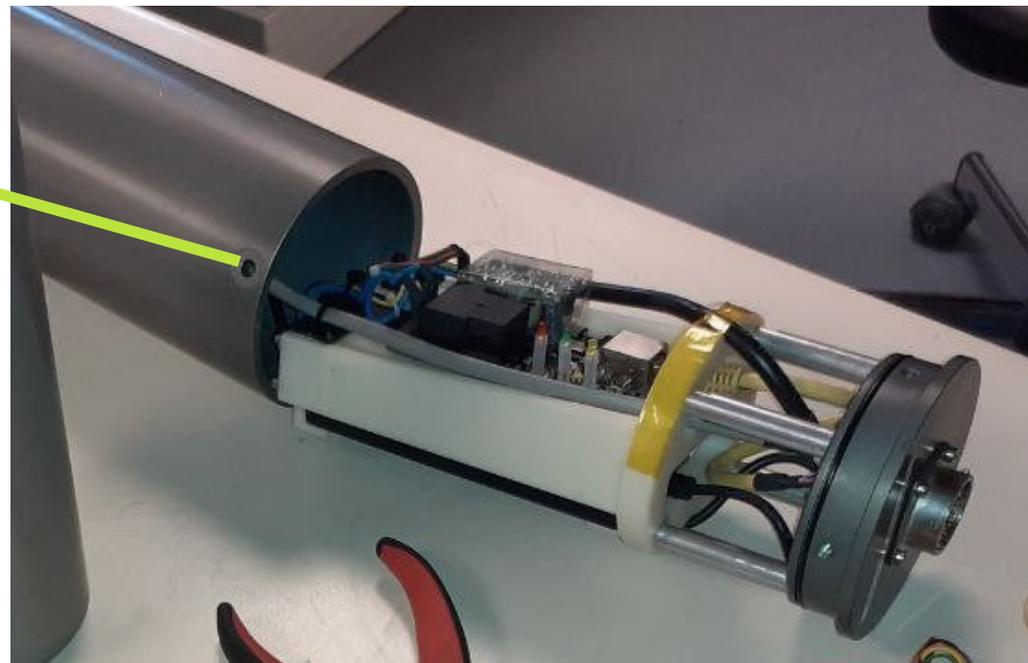


# Boîtier d'alimentation (+PDU Ethernet) (mât ICOS)

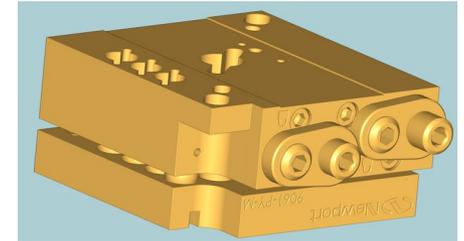
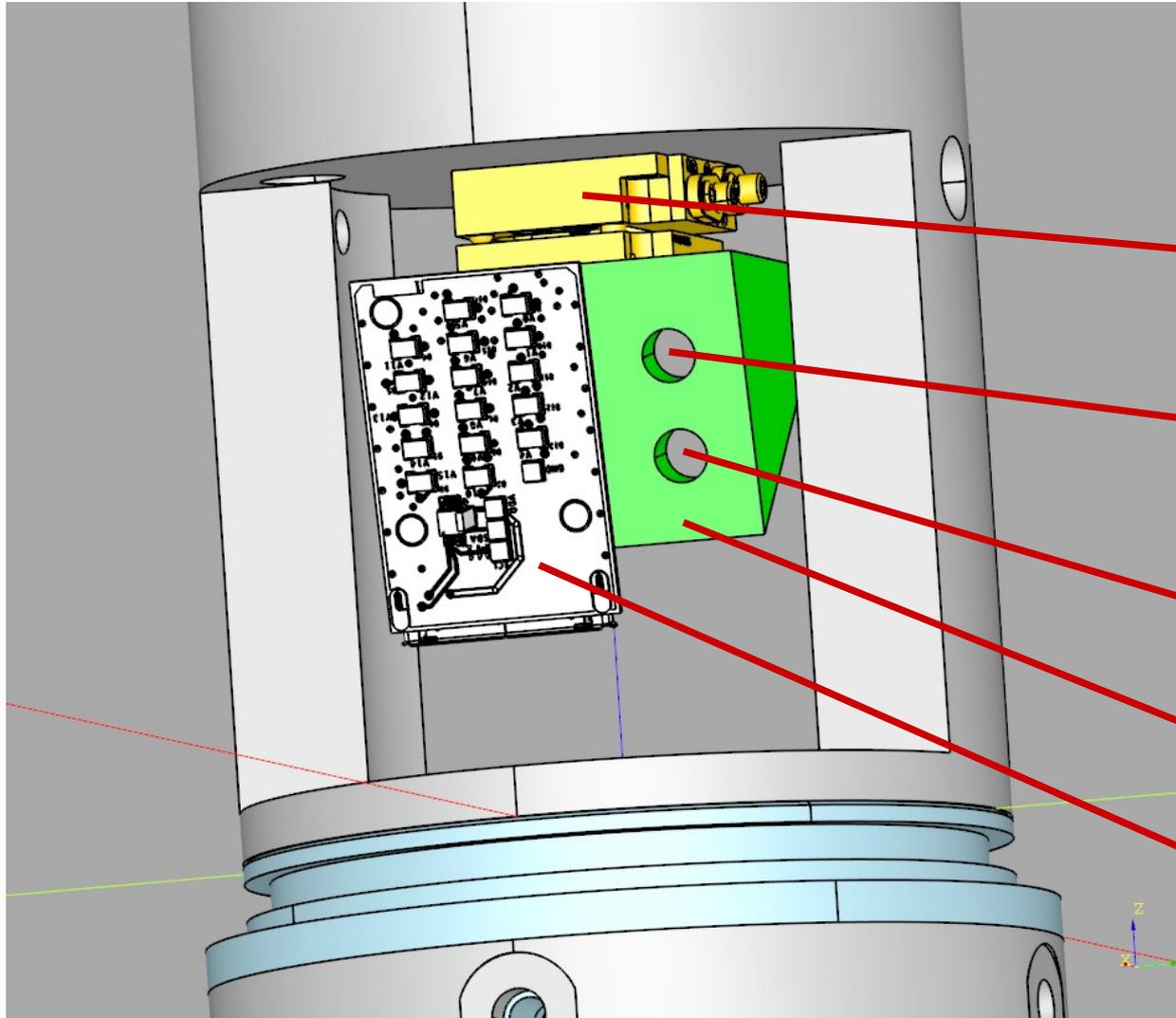


## Boîtier d'alimentation (version mât ICOS)

- PDU 220V AC contrôlé par ethernet
- Alimentation 220V AC → 24V DC (3A)
- 2 arrivées ethernet, 1 départ vers la *backend* (Pico + CH9121 + *backend*)
- 10 m de câble blindé vers boîtier source



# Carte 16 LEDs + Laser de visée + fibre



**Platine micrométrique**  
(Alt/Az, 2°, verrous)

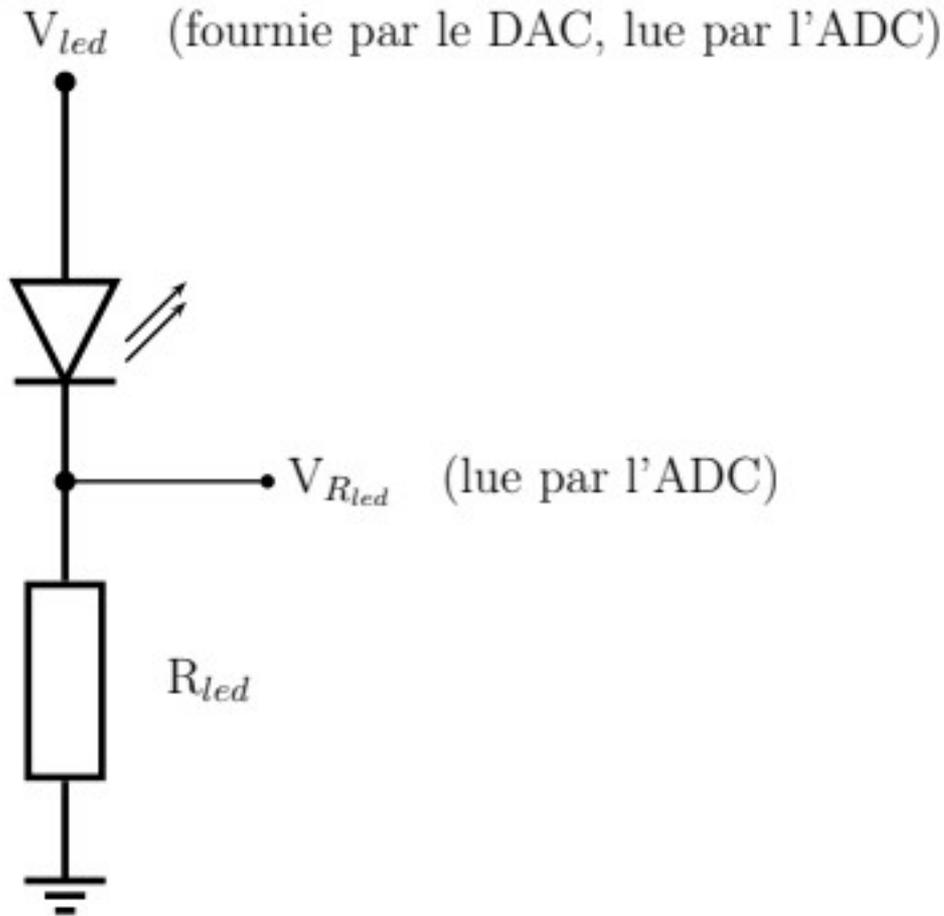
**Emplacement fibre**  
(calib  $\lambda$  banc spectro.)

**Emplacement Laser**  
(axe optique : align.)

**Support** (à finaliser)

**Carte 16 LEDs**  
(*frontend*) + DS1631  
(à finaliser)

# Circuit d'alimentation des LEDs

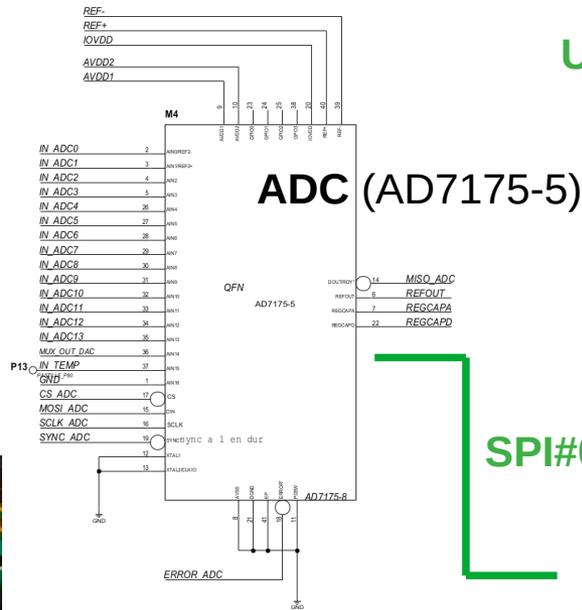


X 16 canaux (14)

Quand  $V_{led}$  imposé (DAC), alors  
Température de la jonction de la  
LED et tension  $V_{R_{led}}$  sont liées

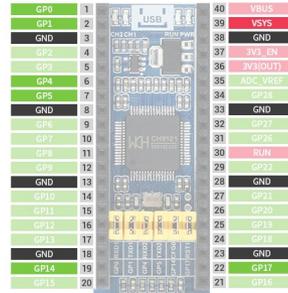
- DAC : AD5767  
16 bits, 2ppm FSR/°C
- ADC : AD7175  
24 bits, 5–250 kSPS, 2 ppm/°C
- Résistances : Vishay 3 ppm/°C

# Electronique (backend) : schéma

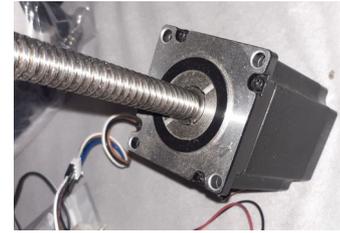


UART#0

SPI#0



Moteur  
(heume)  
(G250X)



GPIOs



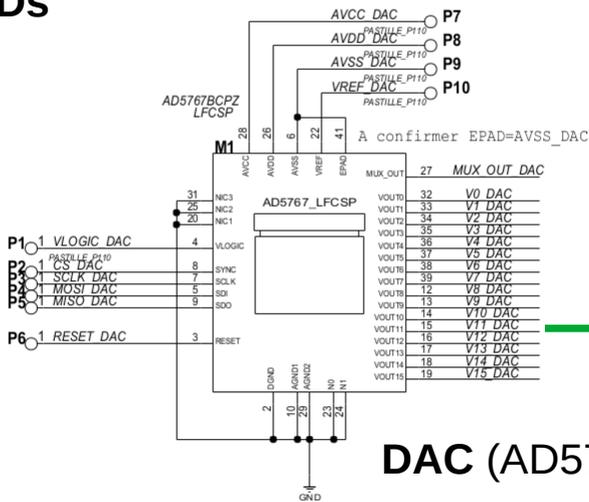
Fins de courses  
(INI-AB-I-025-...-AA)



GPIOs

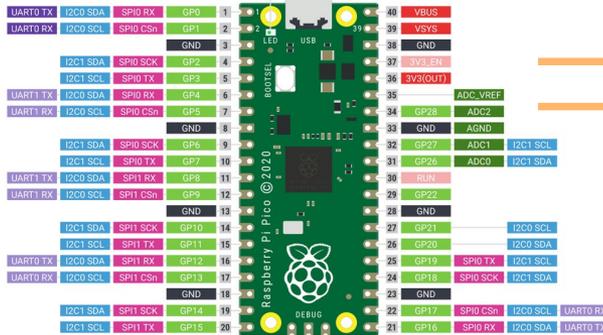
I2C#0

LEDs



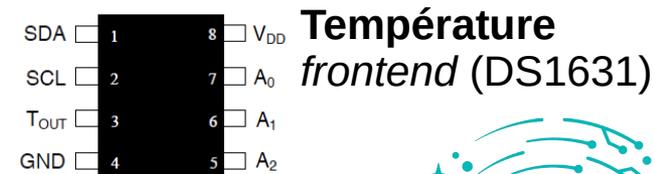
SPI#1

Pico



GPIO

Laser



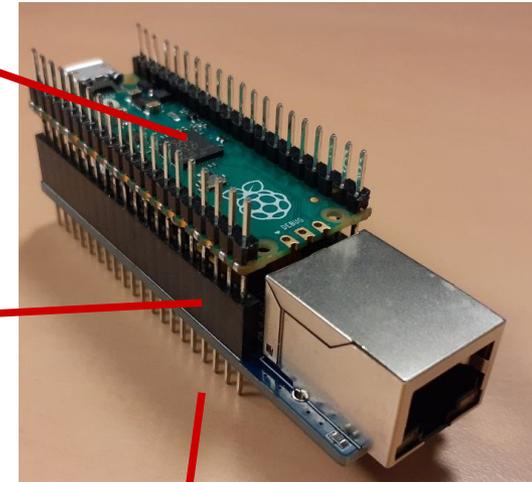
(Vidéo étapes dev. cartes → Edo)

# Enceinte électronique : support + *backend*

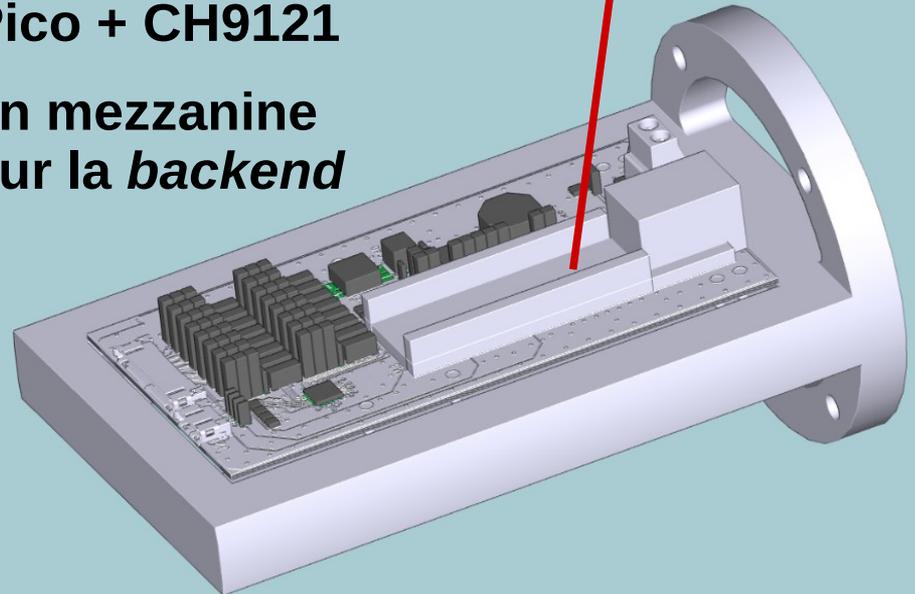
**Backend  
électronique  
dans le tube  
inférieur.**

**Raspberry Pico  
(microcontrôleur  
maître)**

**1CH9121 :  
convertisseur  
série-Ethernet**



**Pico + CH9121  
en mezzanine  
sur la *backend***

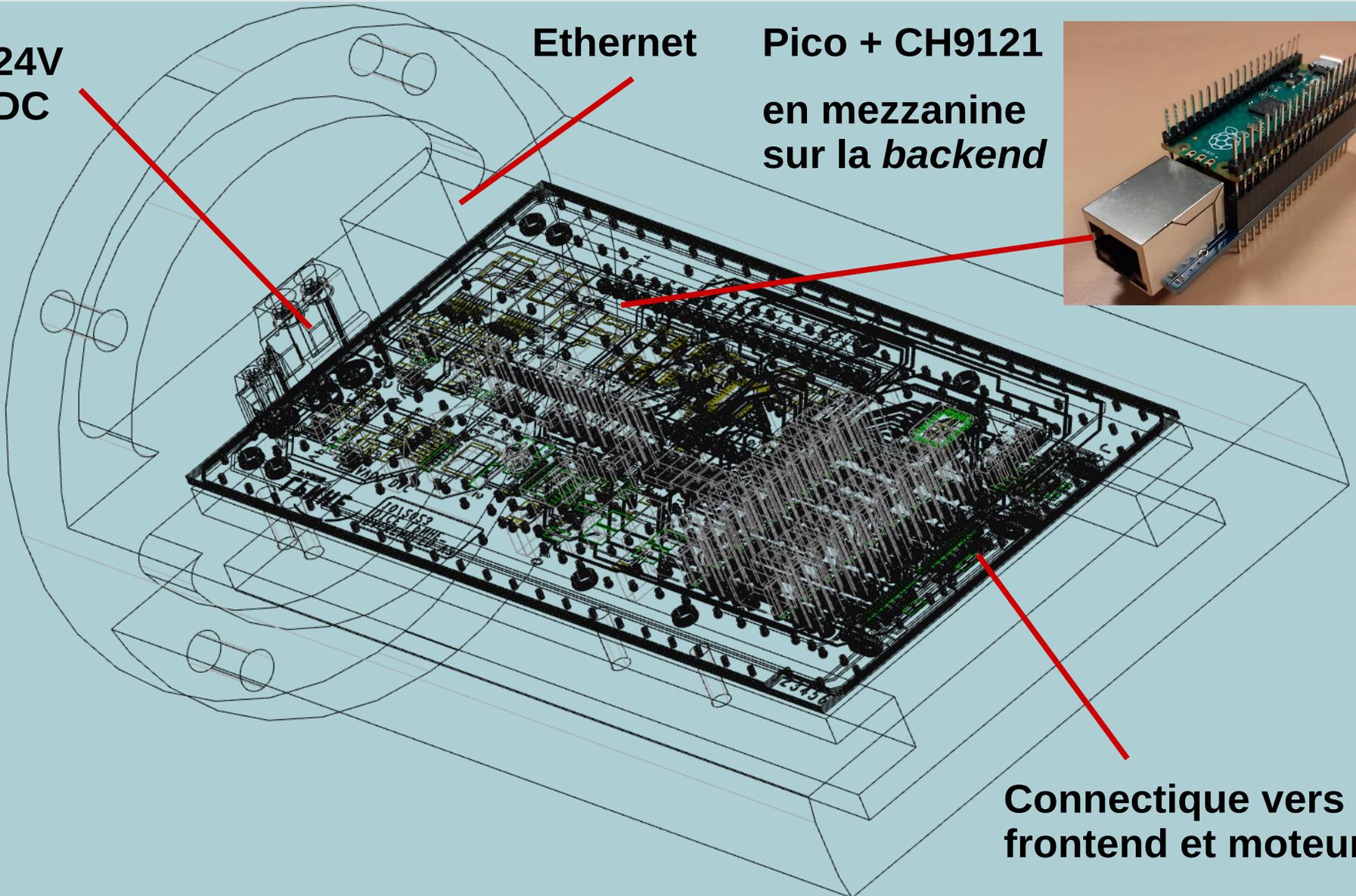
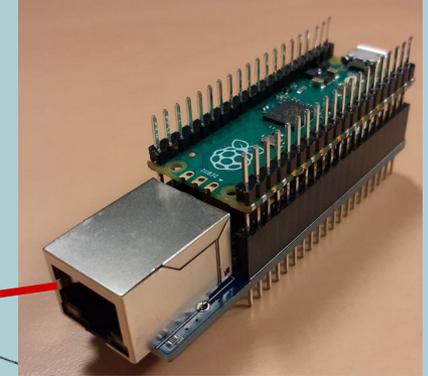


# Enceinte électronique : support + *backend*

24V  
DC

Ethernet

Pico + CH9121  
en mezzanine  
sur la *backend*



Connectique vers  
frontend et moteur

# Contrôle via Ethernet (CH9121) + USB

```
DAC:OUT 0 3
00: Success
DQ*x*
01: Syntax error

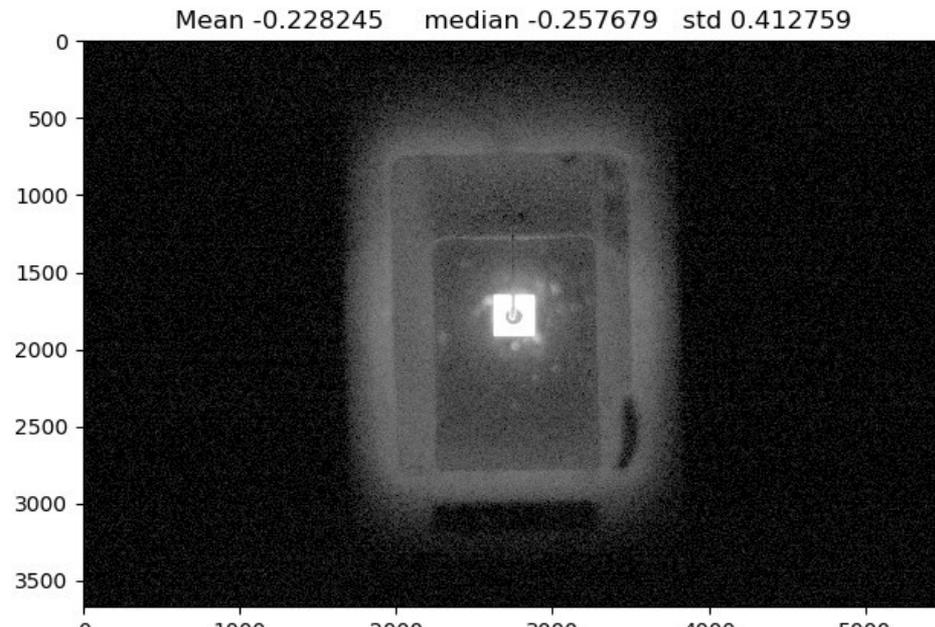
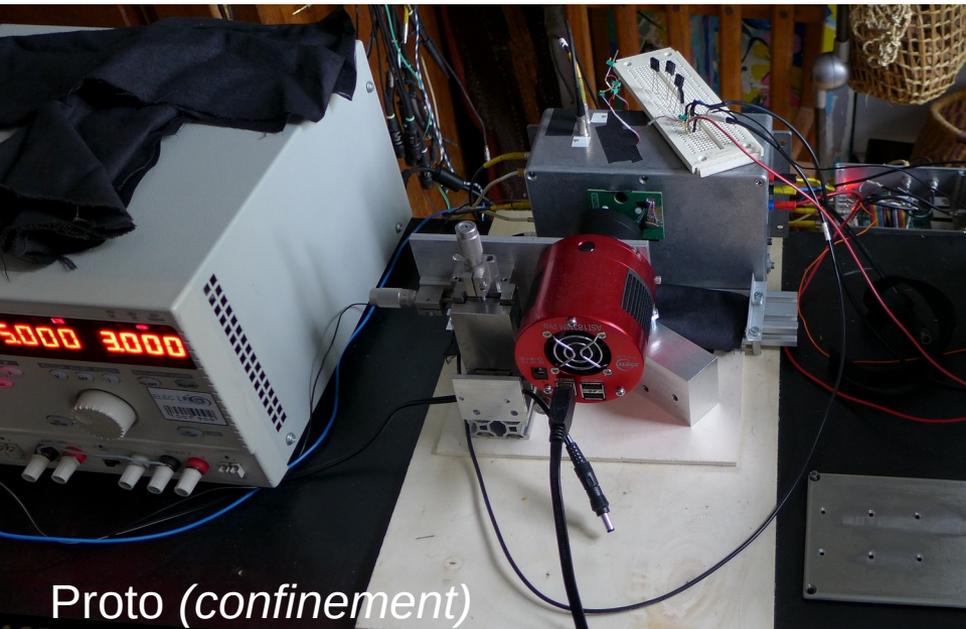
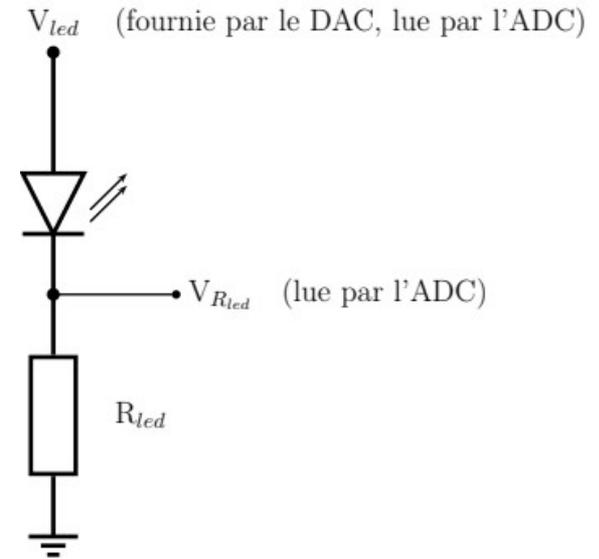
01: Syntax error
DAC:OUT 3.5
03: Invalid parameter
DAC:OUT 0 3.5
00: Success
DAC/OUT 1 3.5
01: Syntax error
DAC:OUT 1 3.5
00: Success
DAC:OUT 2 3.5
00: Success
DAC:OUT 0 4
00: Success
DAC:OUT 0 4.5
00: Success
DAC:OFF
00: Success
HAT:CLOSE
00: Success
HAT:OPEN
00: Success
DAC:OUT 0 5
00: Success
DAC/OUT 1 4
01: Syntax error
DAC:OUT 1 4
00: Success
DAC:OUT 2 4
00: Success
DAC:OFF
00: Success
DAC:CLOSE
01: Syntax error
HAT:CLOSE
00: Success
```

- **Micro-contrôleur maître : Raspberry Pico :**
  - DAC (SPI), ADC (SPI), DS1631 (I2C), moteur (G250X), fins de course, laser.
- **CH9121 : convertisseur UART0 ↔ Ethernet transparent** (pas d'implémentation de la pile TCP/IP dans le code du Pico).
- **Même système de contrôle par Ethernet (UART0 via le CH9121) et par l'USB :** permet de reconfigurer la couche ethernet (IP, etc) via le port USB si besoin ; facilite le debugging.
  - *Ajouter un connecteur USB protégé (IPXX, XX grand) avec capuchon.*
- **Langage de contrôle** inspiré de celui de l'Arduino de la coupole (type SCPI).

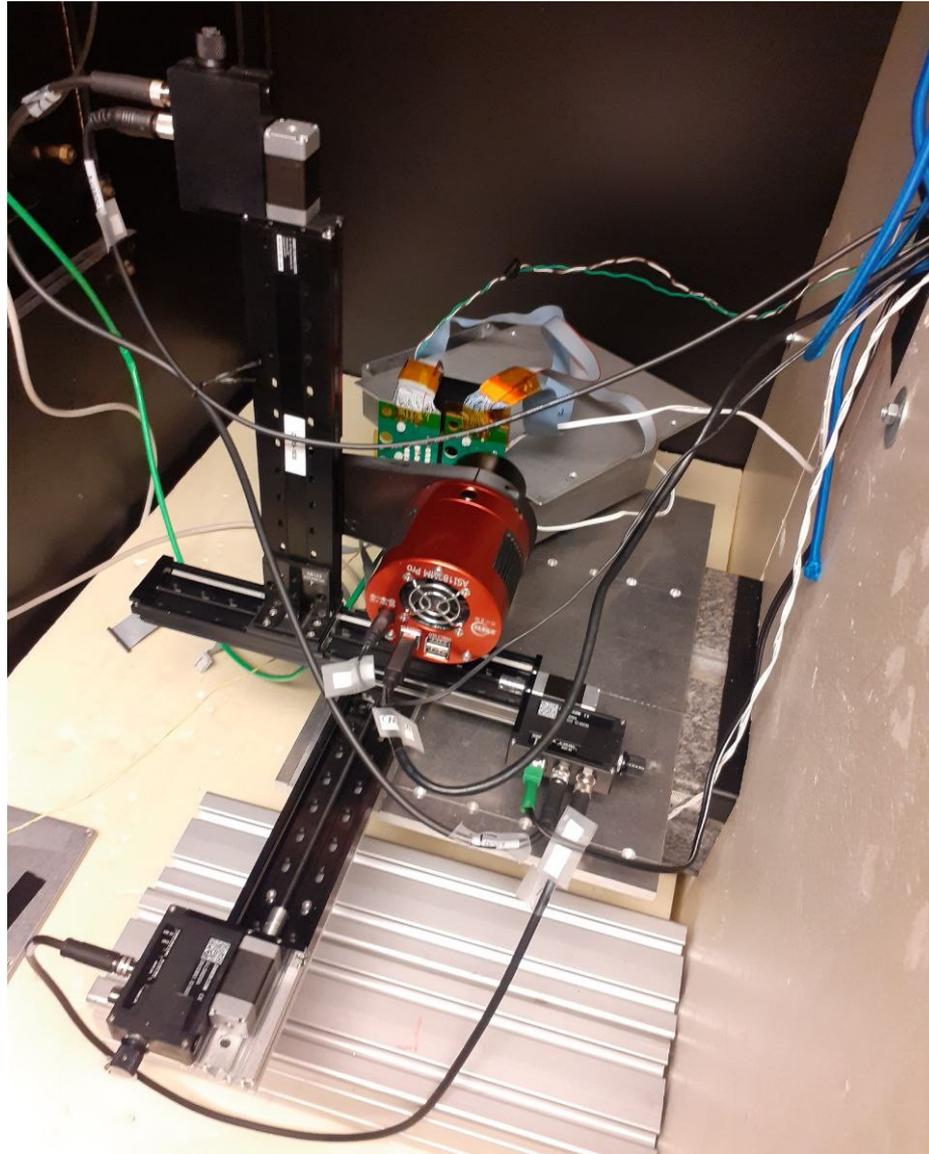
# **Tests & Caractérisations sur bancs**

# Nouvelle *backend* de contrôle des 16 LEDs

- Une **nouvelle carte *backend*** à **16 canaux** de contrôle des courants des LED a été conçue : l'ADC et le DAC ont été sélectionnés. La version *finale* (on espère) du PCB a été envoyée en fabrication.
- Un **banc photométrique dédié** a été construit, avec une **caméra CMOS refroidie**, afin d'évaluer la stabilité des différentes LEDs → **sélection des LEDs** (*présentation Seb : tests et sélection*)



# Banc étude stabilité des LEDs (et sélection)

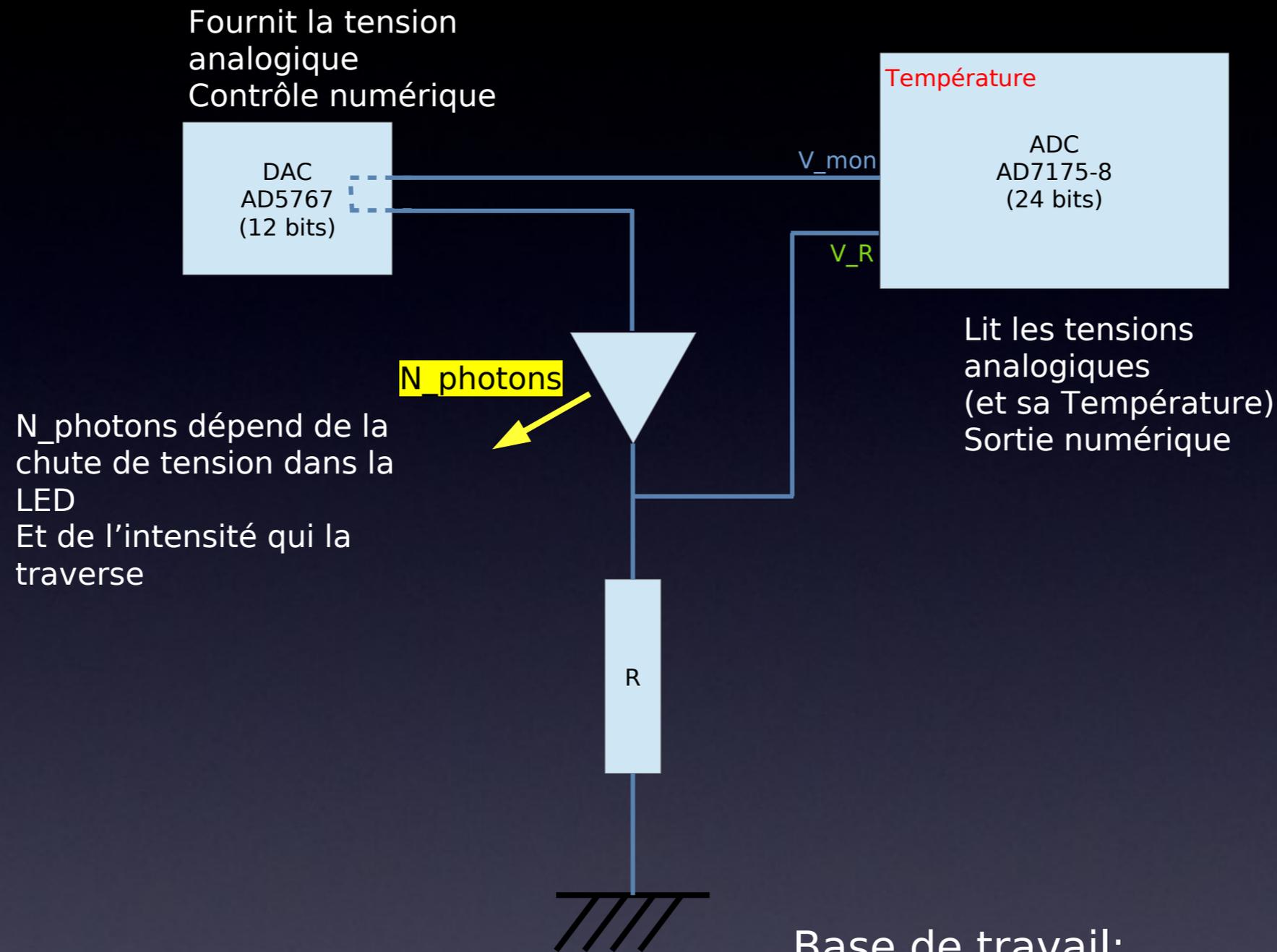


- **Carte LEDs prototype + proto backend (contrôle  $V_{led}$ )**
- **Banc photométrique dédié** a été construit, avec une **caméra CMOS refroidie**, afin d'évaluer la stabilité des différentes LEDs → pour **sélection des LEDs**
- **Motorisation 3 axes** : alignement optique avec chaque LED.
- **Enceinte** « vieux banc DICE » **noire et thermalisée** (climatisation) → **excursions en température**.

*(présentation Seb : tests, stabilité et sélection)*

# Principe de l'Étoile Artificielle

- Pilotage par Pi
- Réglage de  $V_{Mon}$
  - Température de l'ADC
  - Température des LEDs

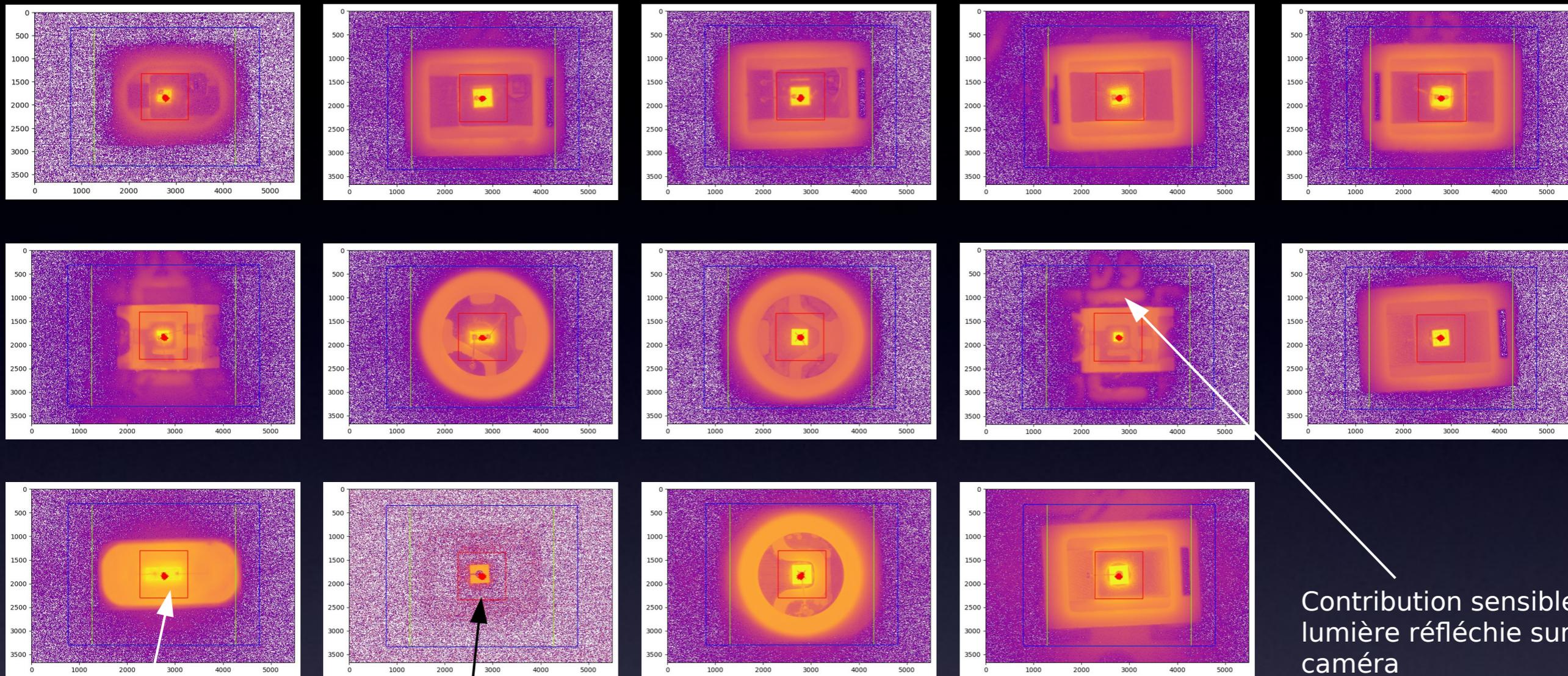


Base de travail:  
 $V_{mon}$  stable

$R$  stable → Augmentées ~ 100kOhms

$V_R$  monitore la variabilité

# Galerie des portraits de LEDs:



Contribution sensible de la lumière réfléchie sur la caméra

LED blanche  
Spectre complexe  
Un peu moins stable

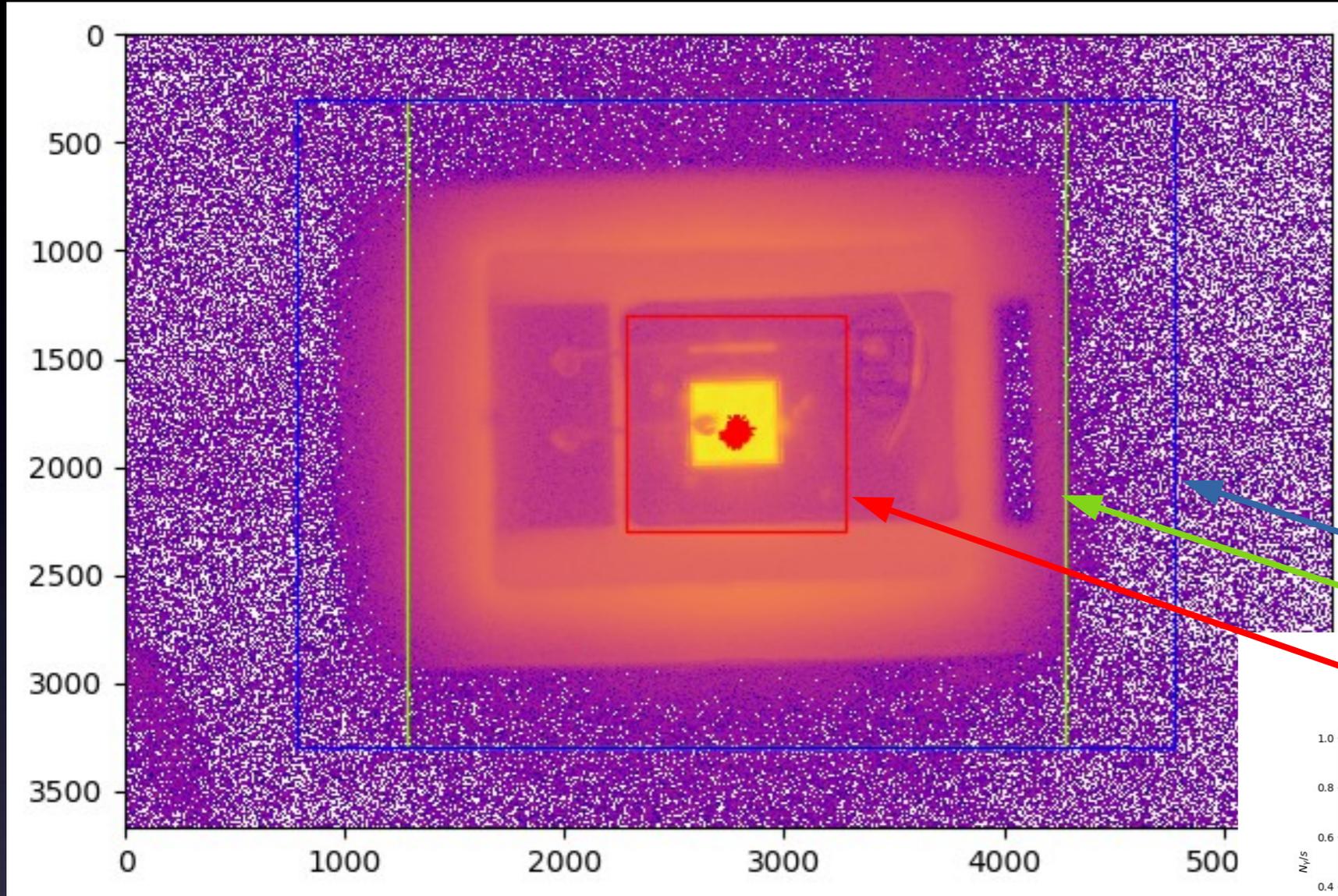
Notre Diva  
Aussi stable que les autres... Sauf quand elle ne veut pas



## **A faire:**

- Étude sans focalisation
- Projectivité du faisceau

# Photométrie:

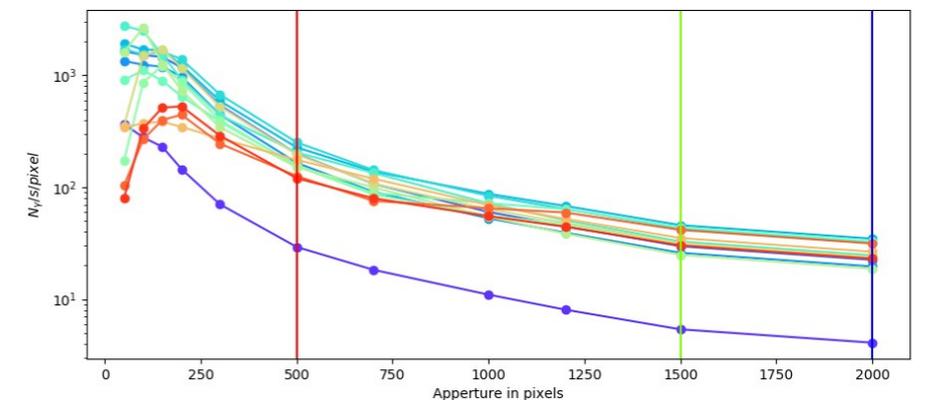
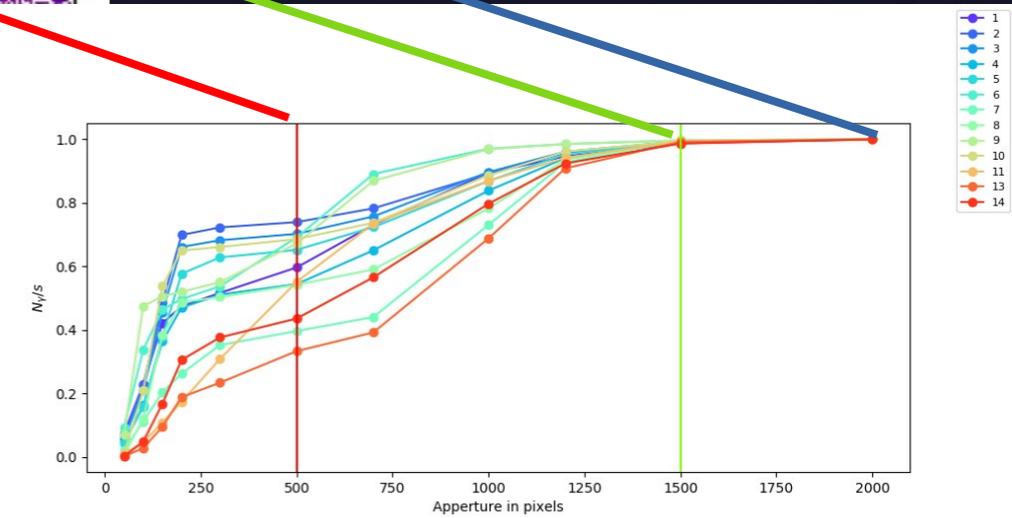


Stack de 120 poses de 0.5 secondes  
- Photométrie pour chaque pose  
- Centrée sur le max  
- Ouvertures carrées

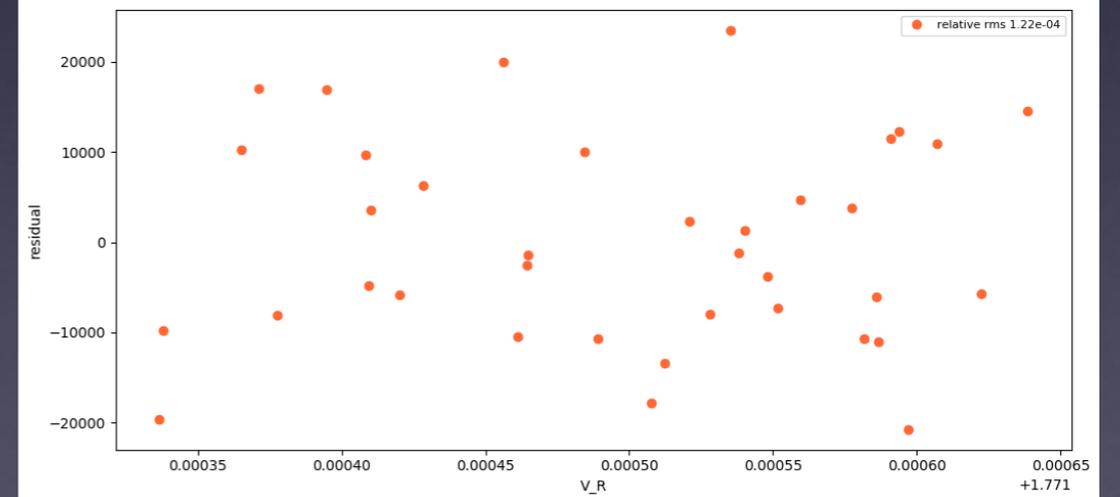
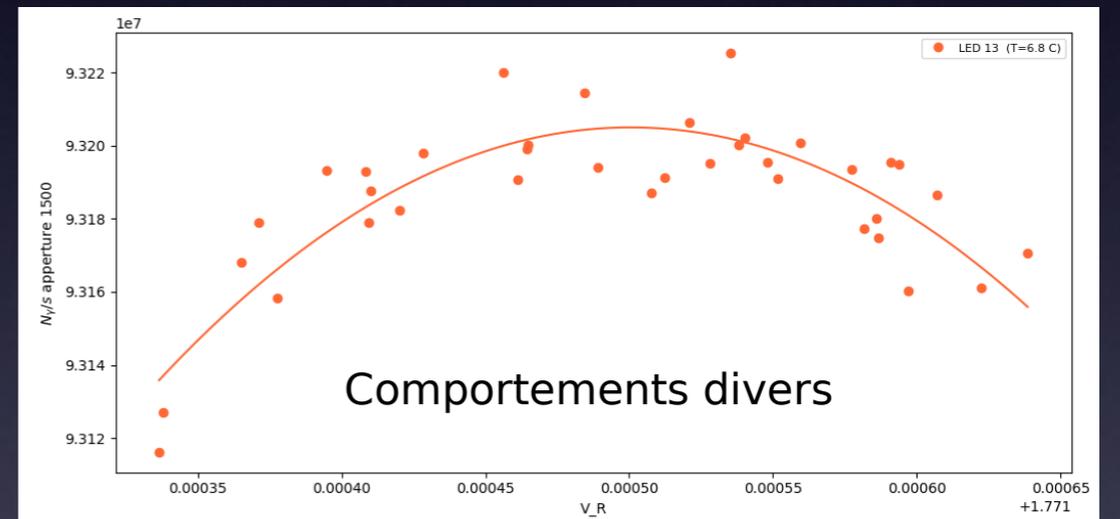
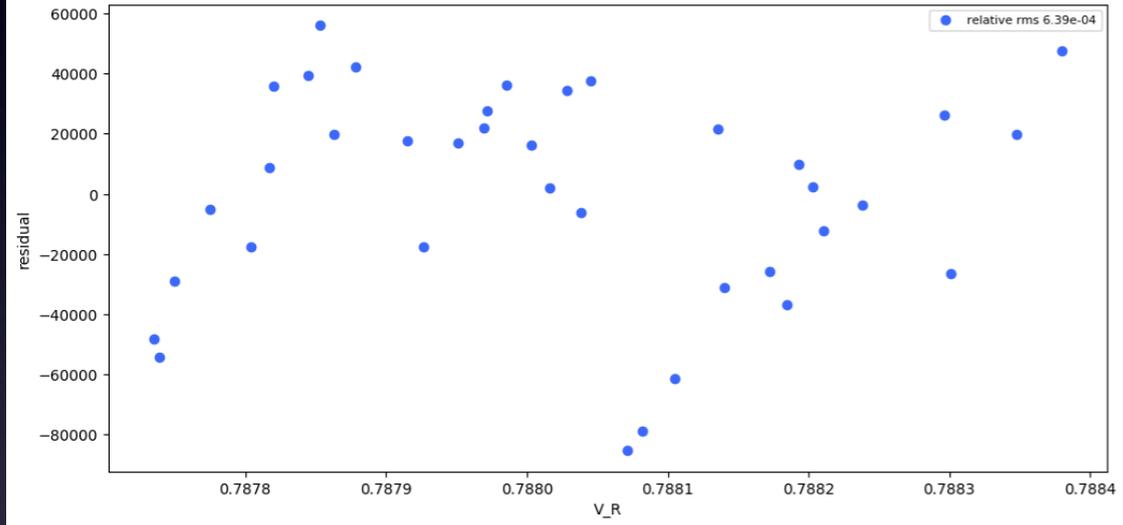
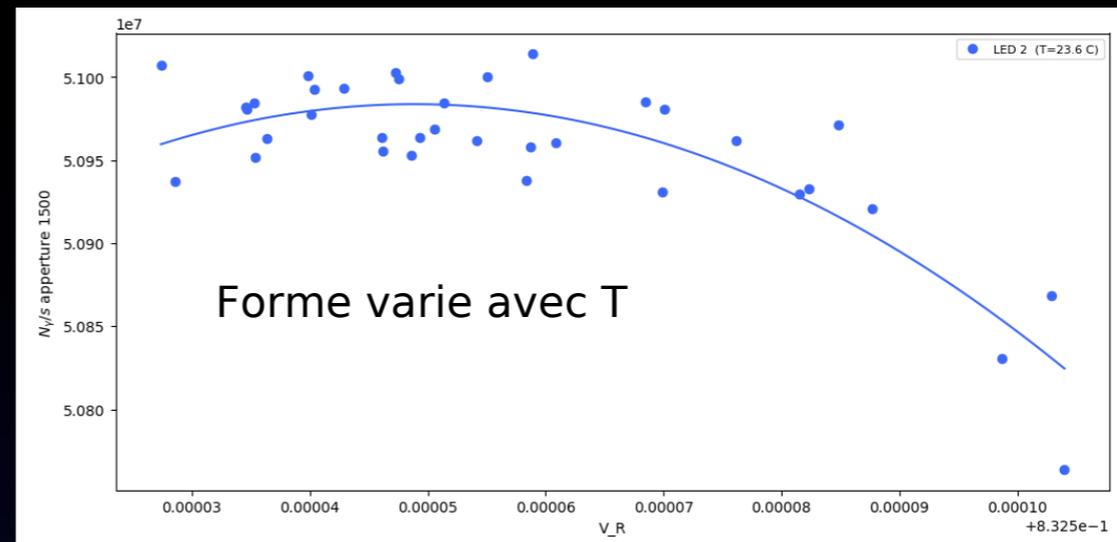
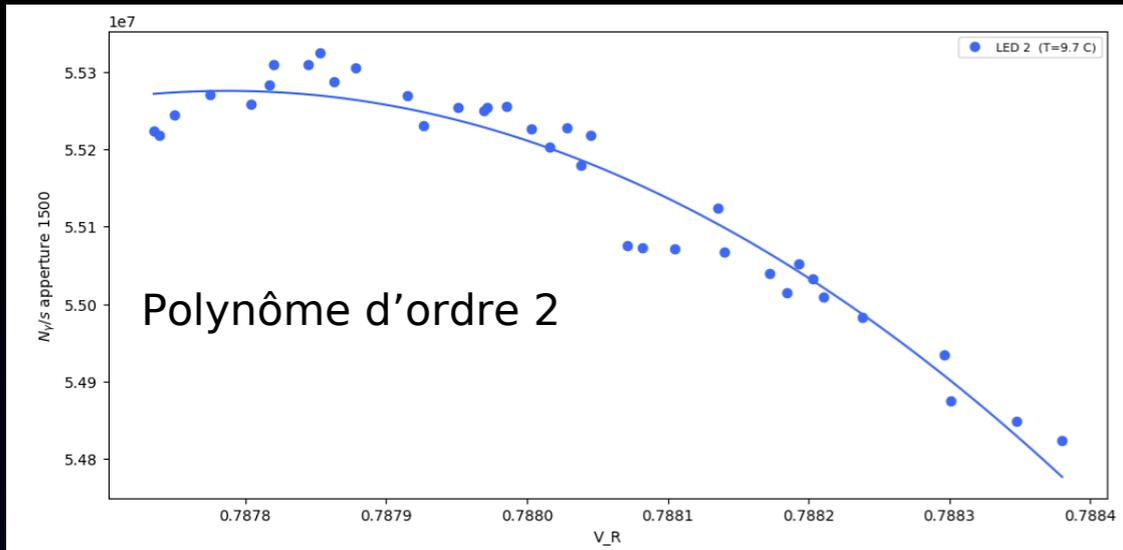
Soustraction du fond: Stack à  $V_{\text{mon}} = 0$   
- Moyenne soustraite à chaque pose

Dark bien soustrait  
Peu de changement entre les ouvertures

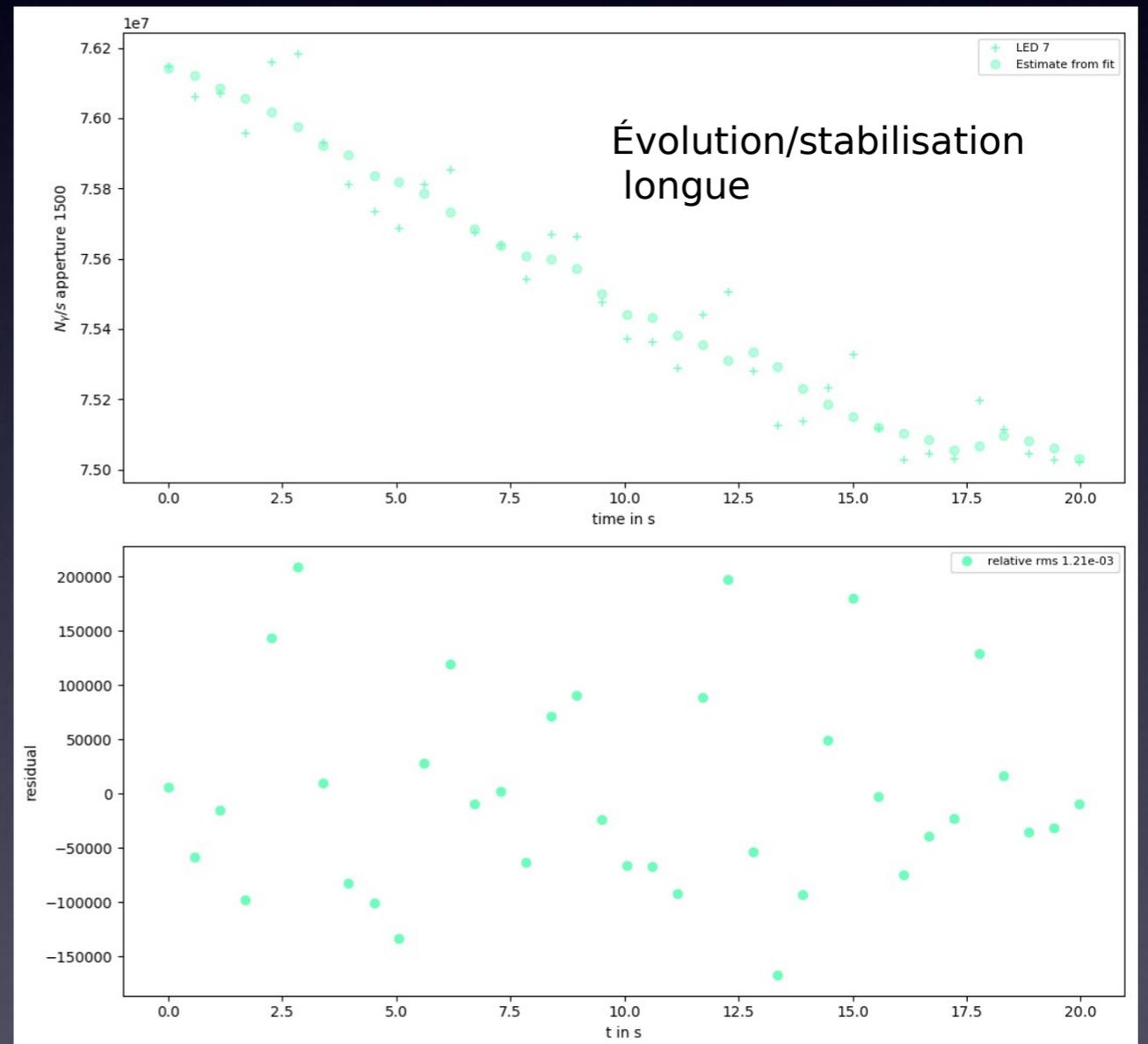
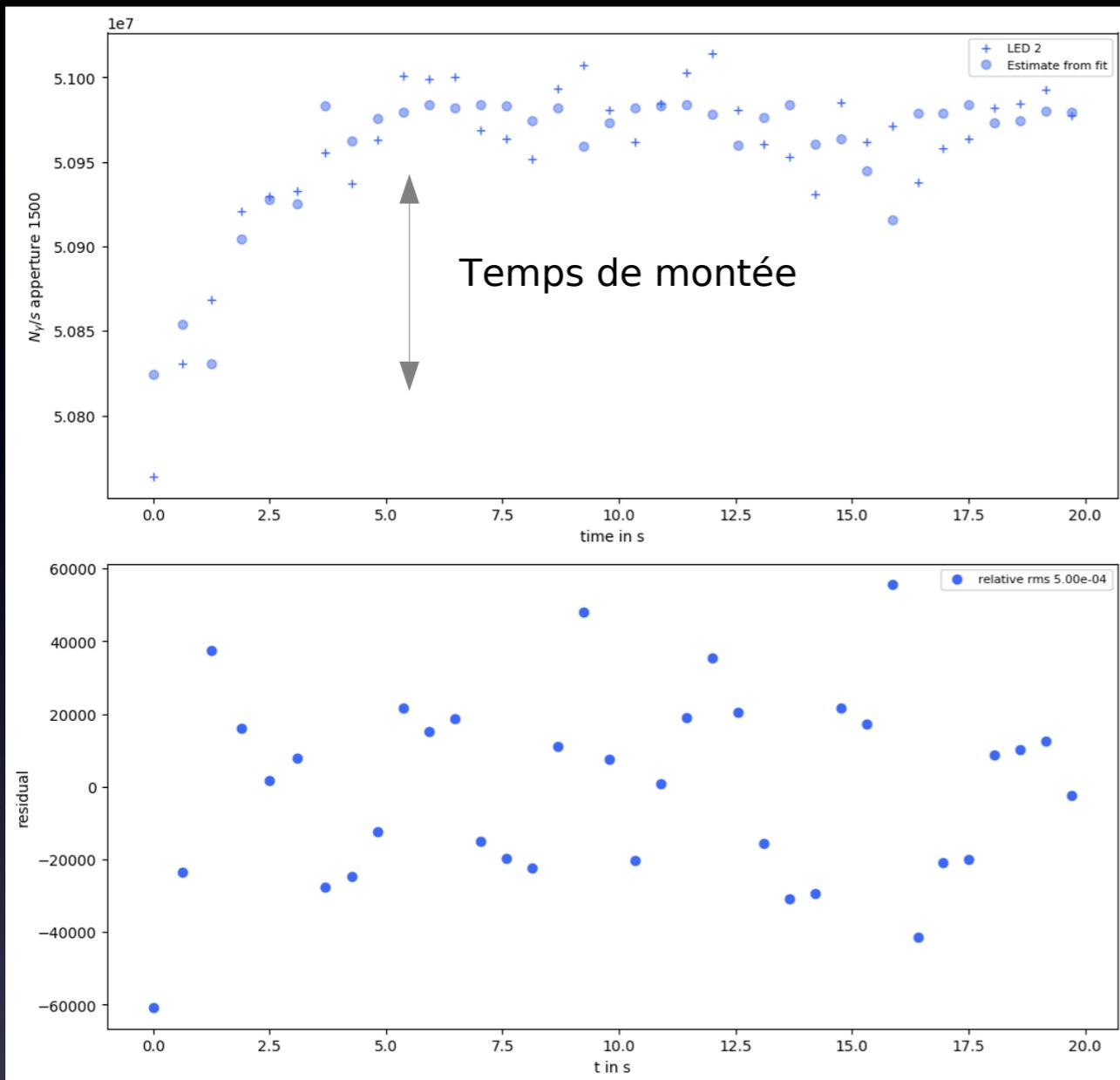
Difficile de faire la part de  
la lumière réfléchie  
la lumière diffusée  
→ pas fondamental pour la standardisation



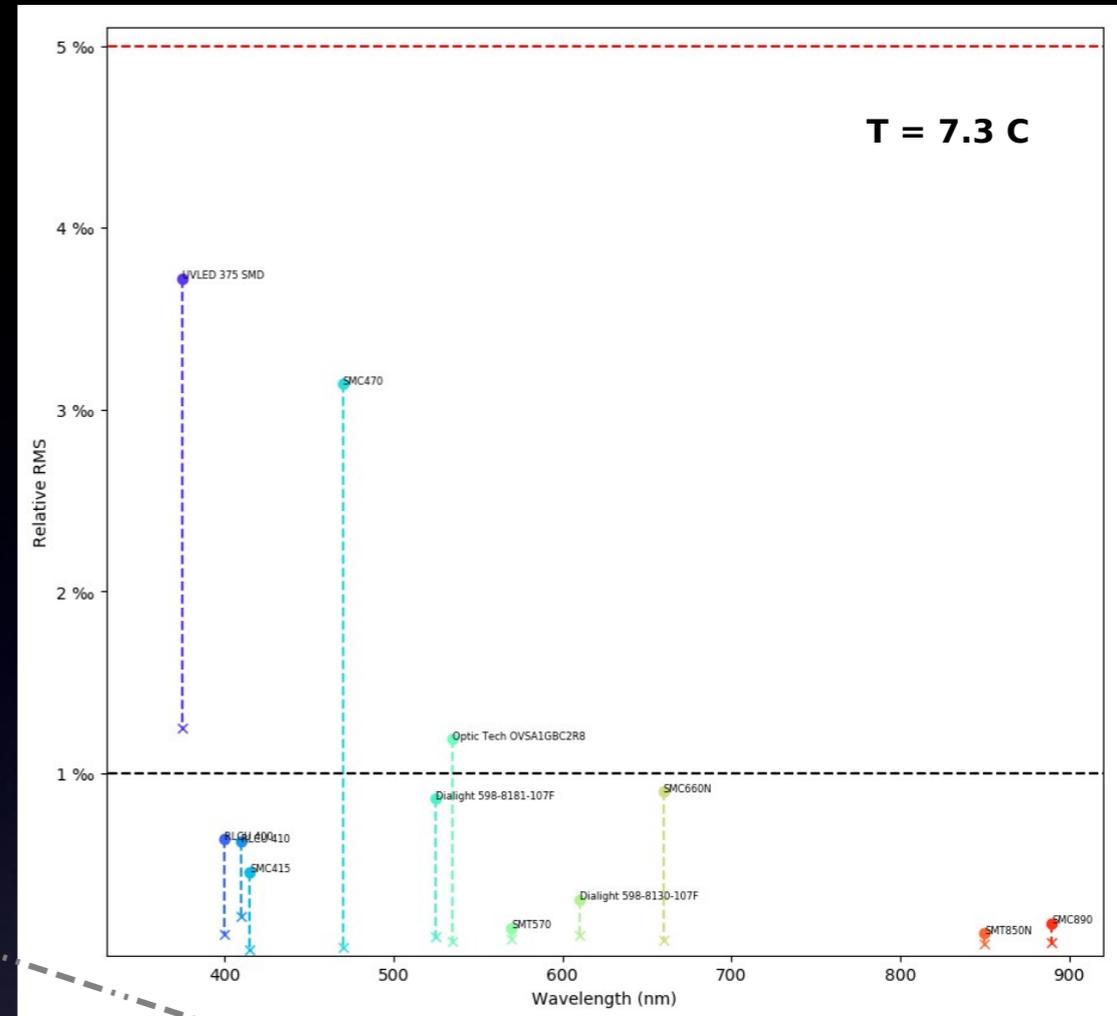
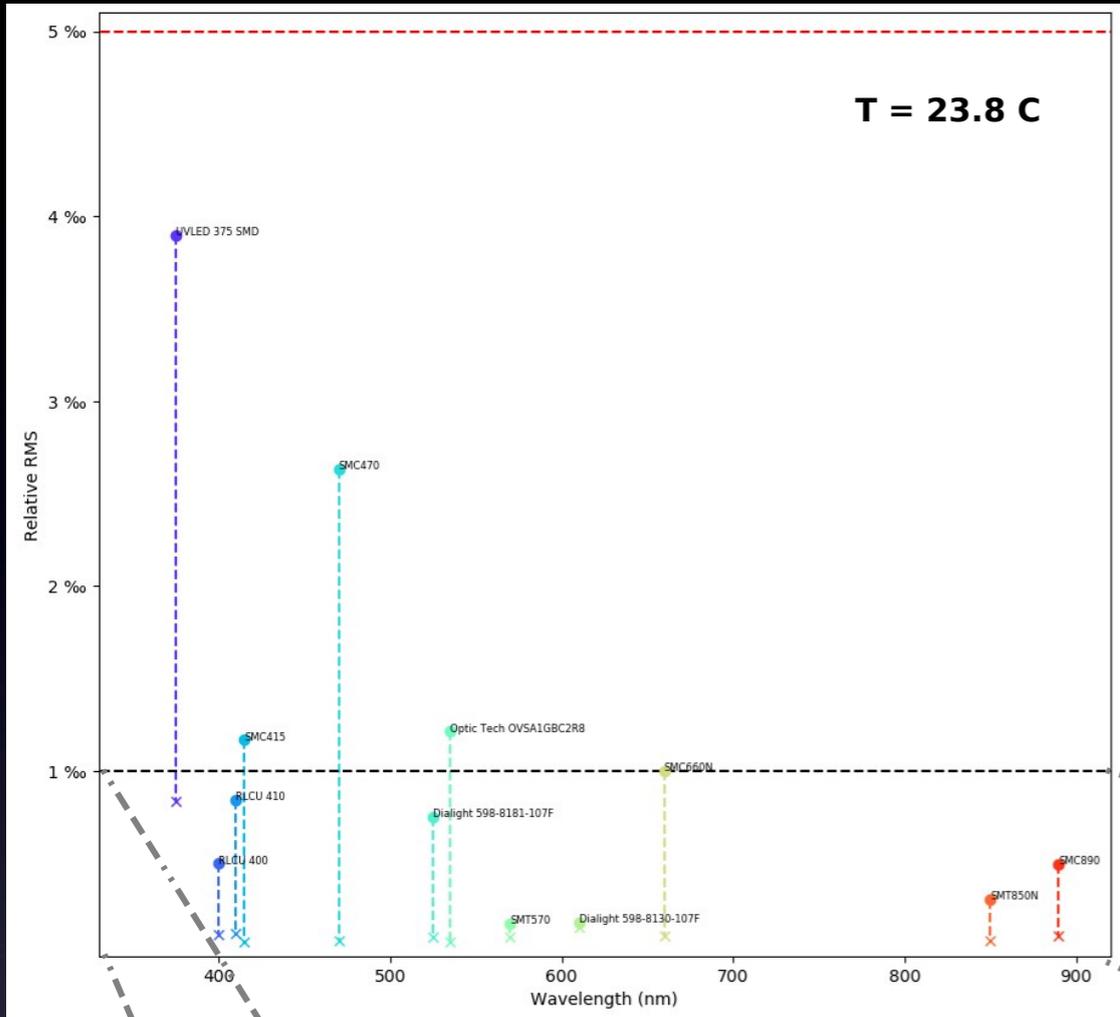
# Standardisation avec $V_R$ :



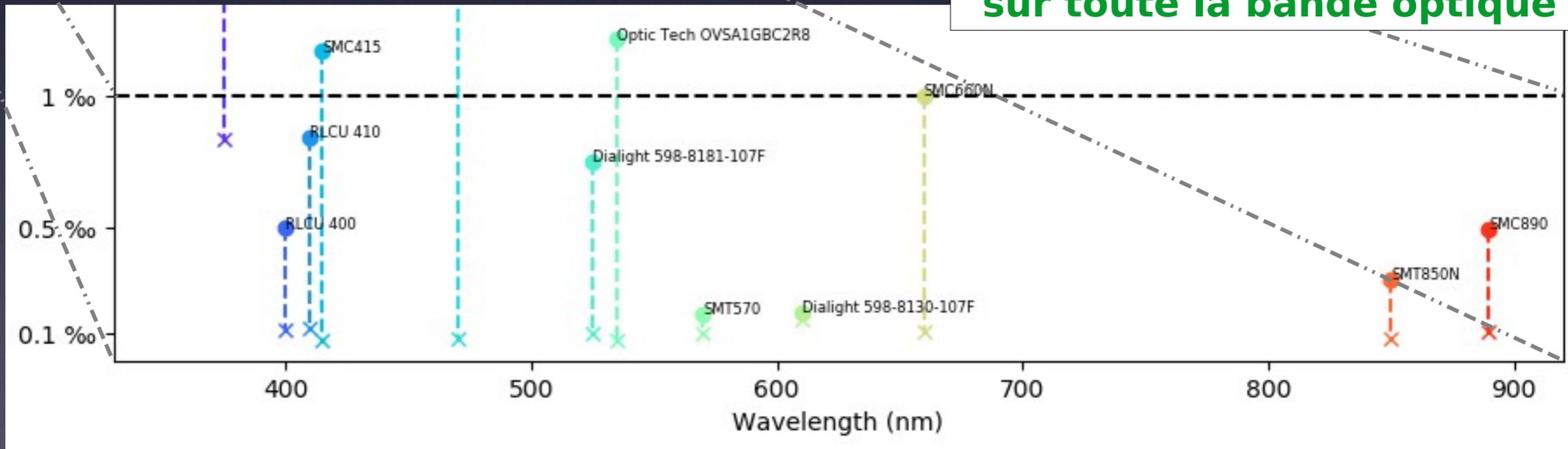
# On corrige dès t=0:



# Pourquoi ça va marcher:



**LEDs standardisables  
mieux que le pour mil  
sur toute la bande optique**



# La suite:

Nouvelles Backends  
Nouvelles cartes de LEDs

Implémentation dans le tube

Implémentation au T152  
→ Commissionning

Banc de calibration  
avec tube

Implémentation au T152  
→ Mesures

Calibration avec tube  
→ Résultats

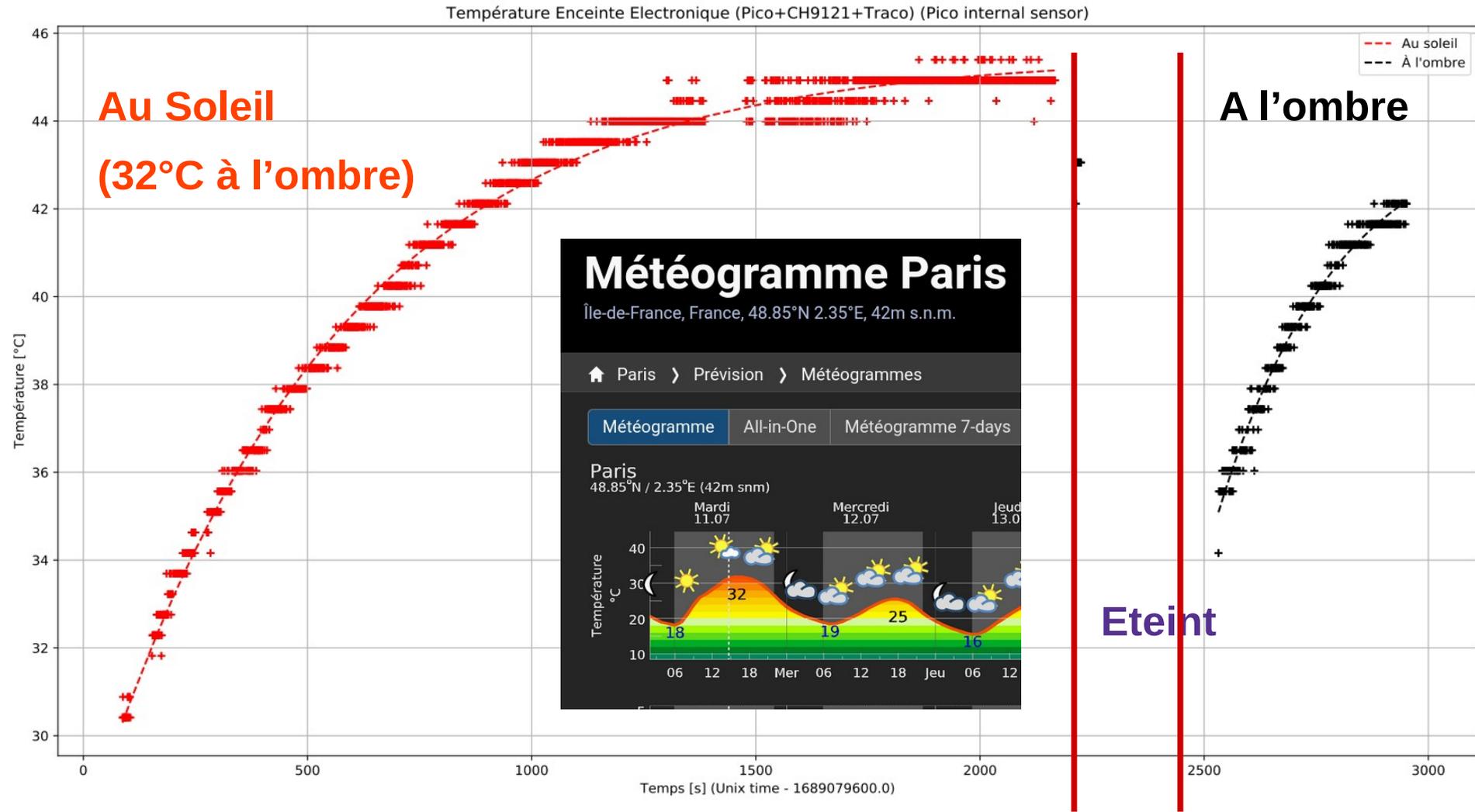
Standardisation en flux  
Évolution en température

Utilisation de la caméra Andor  
→ Changement de banc

Calibration du prototype  
→ photométrie  
→ spectroscopie

Calibration finales  
→ photométrie  
→ spectroscopie

# Tests en température (soleil, canicule)



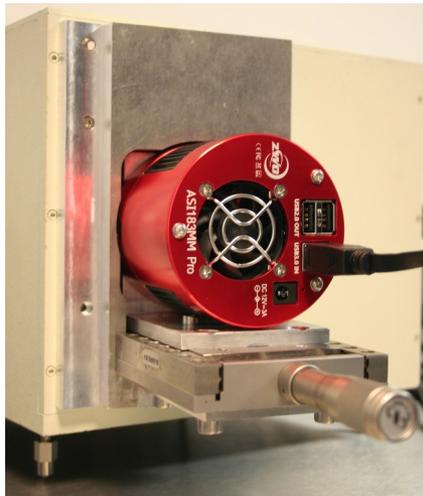
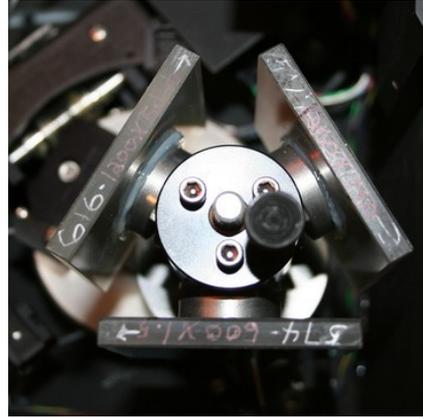
**Conclusion : Principale source de chaleur → interne**

# Nouveau banc spectrophotométrique

- **Etoile artificielle à 110-200 m** : LEDs beaucoup plus faibles que les sources SN/SkyDICE précédentes.
- **Caractérisation photométrique** sur banc dédié :
  - **irradiance de chaque LED**, en fonction de la température, aux courants nominaux choisis ; ( $\Rightarrow$  *thermalisation*)
  - Projectivité du faisceau  $\rightarrow$  extrapolation à 110-200 m  $\Rightarrow$  mvts en z  
flux plus faibles  $\Rightarrow$  photodiode NIST  $\rightarrow$  **caméra ANDOR calibrée**
- **Caractérisation spectrométrique** sur banc dédié :
  - Spectre des LEDs dépend de la température ( $\Rightarrow$  *thermalisation*) ;
  - **Nécessité d'aligner successivement les LEDs**  
flux plus faibles  $\Rightarrow$  **montage spectrométrique adapté dédié**

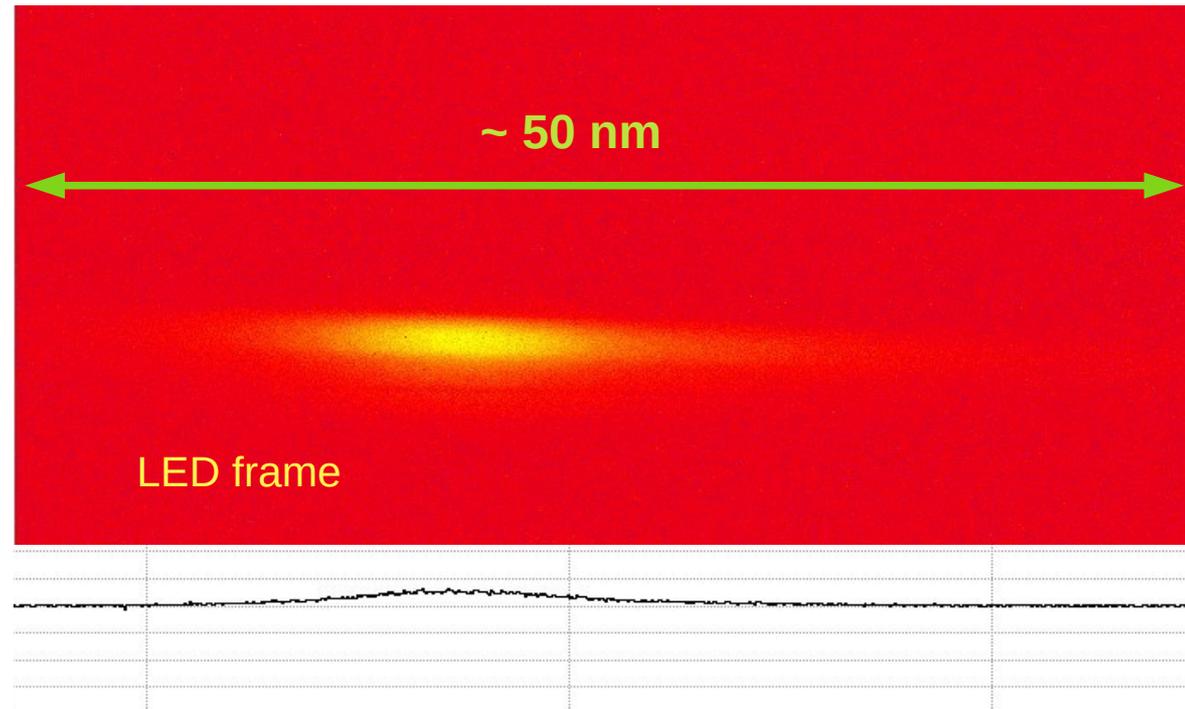
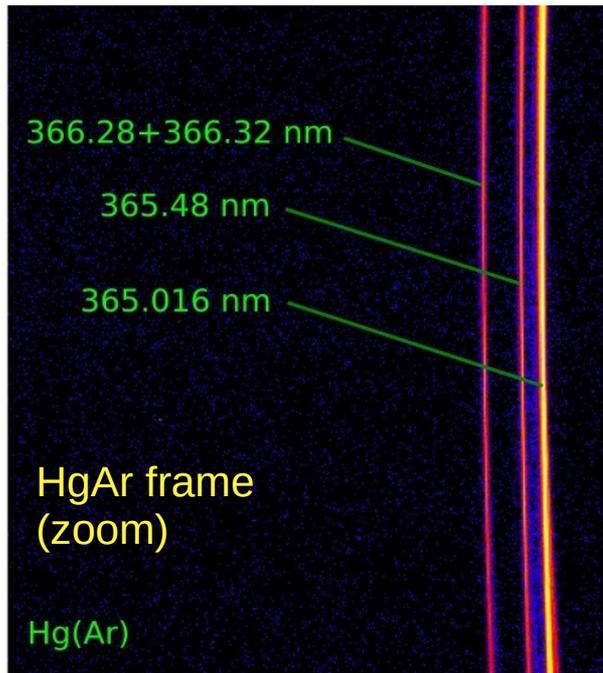
# Banc spectrométrique à bas flux *(prototype confinement)*

- Our calibration LEDs are **much too faint** for a lab spectrograph. We built a dedicated spectrograph to measure the **LED spectra and their temperature dependency**.
- Modified a **Triax-180 monochromator** to replace the exit (broken) slit by a **cooled CMOS camera** with a large sensor (ZWO ASI 183 MM)
- Obtained a **highly sensitive spectrograph** covering a **tunable 50 nm range**, with **0.01 nm resolution**
- Built an **automated motorized testbench** to **move each LED** in front of the entrance optics



# Banc spectrométrique à bas flux *(prototype confinement)*

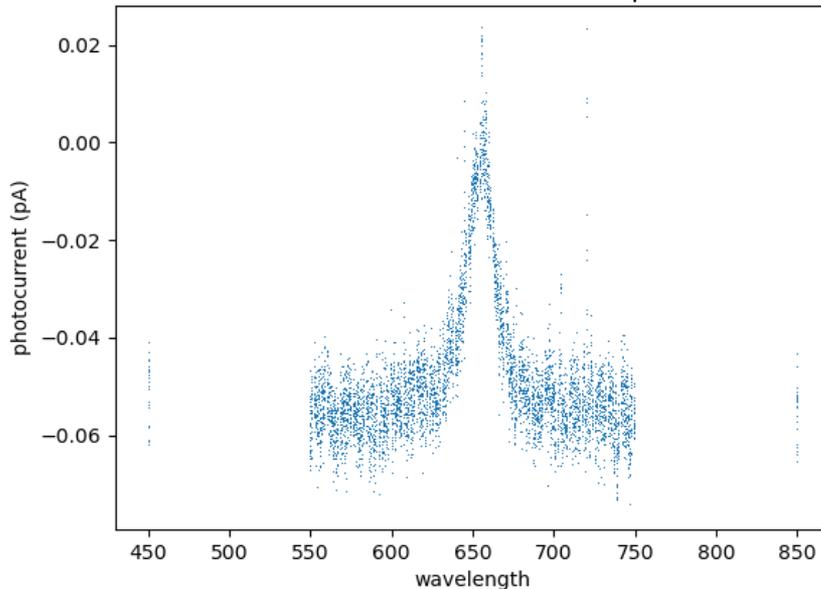
- We obtain **LED spectra much faster** compared to our previous spectrophotometric testbench (scan with a monochromator + NIST phd.).
- **Wavelength calibration** with **HgAr** ; **throughput correction** still to be performed with a **calibrated halogen lamp** (Ocean Optics HL-3P-CAL).
- A large dataset at temperatures 12°C – 30°C has been accumulated, analysis is ongoing.



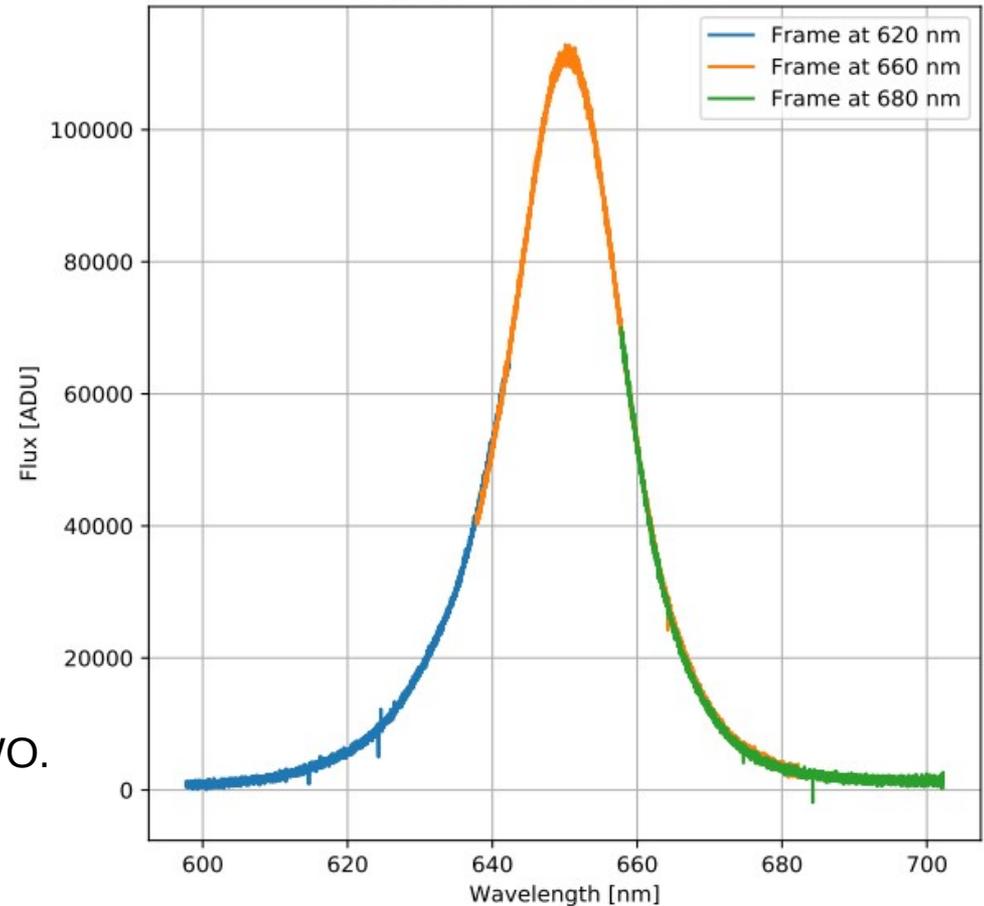
# Banc spectrométrique à bas flux *(prototype confinement)*

- We obtain **LED spectra much faster** compared to our previous spectrophotometric testbench (scan with a monochromator + NIST phd.).

StarDICE LED #12 : SP240DK + NIST photodiode



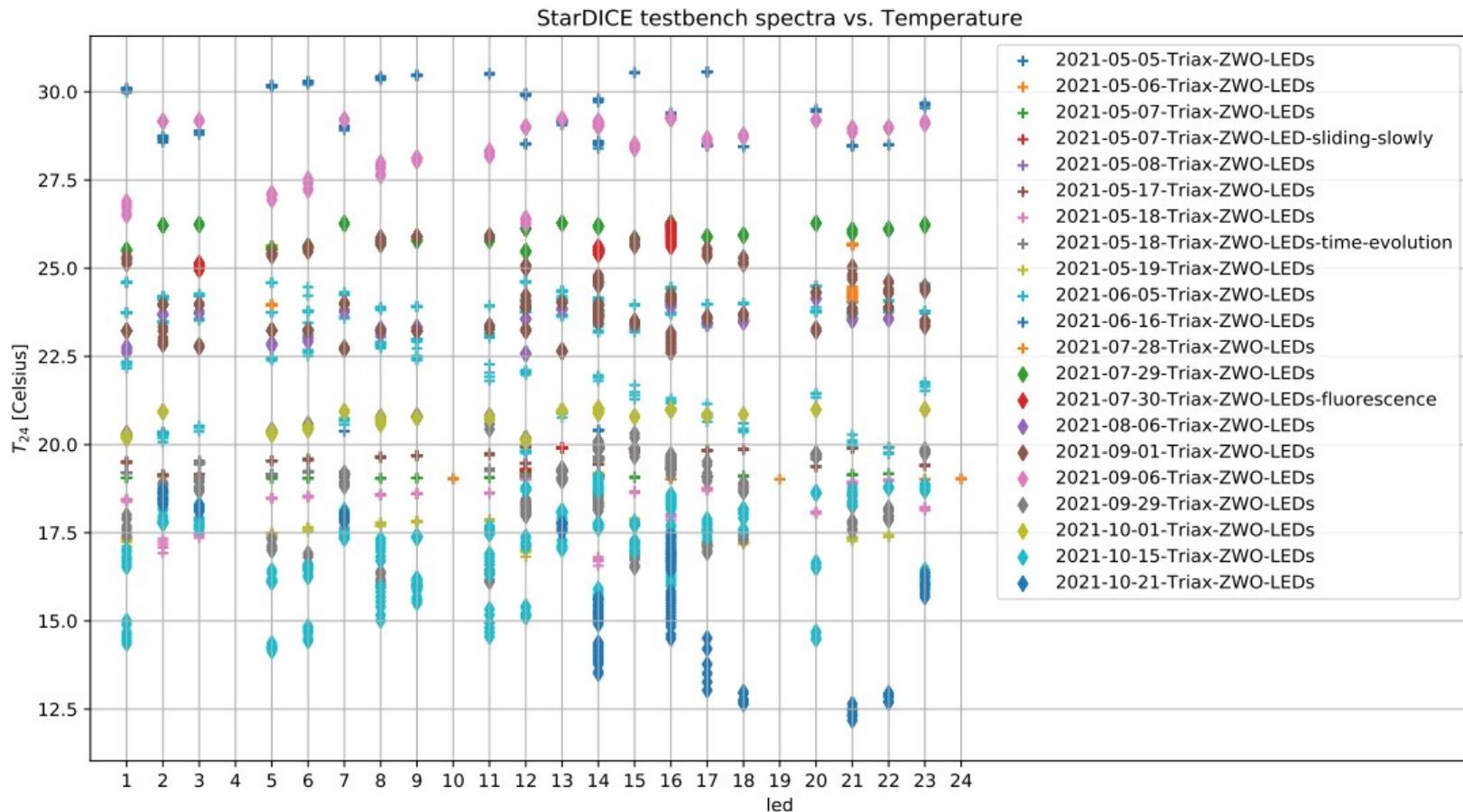
StarDICE LED #12 - Triax+ZWO



- LED #12 : 2000 s wavelength scan  
*versus*  $3 \times 200$  s exposures with Triax+ZWO.

# Banc spectrophotométrique à bas flux (prototype)

- A large dataset at temperatures 12°C – 31°C has been accumulated ; a similar procedure will be used with the new sources.

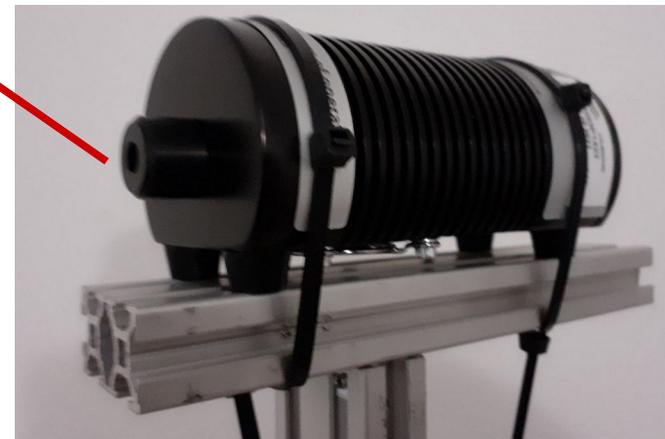
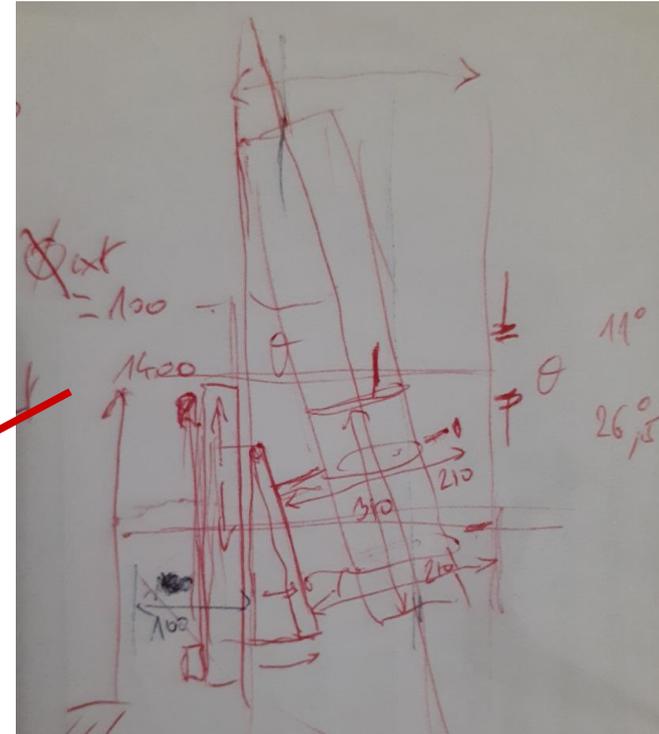


Calibrations datasets taken : HgAr + HL-3P-CAL (continuum)

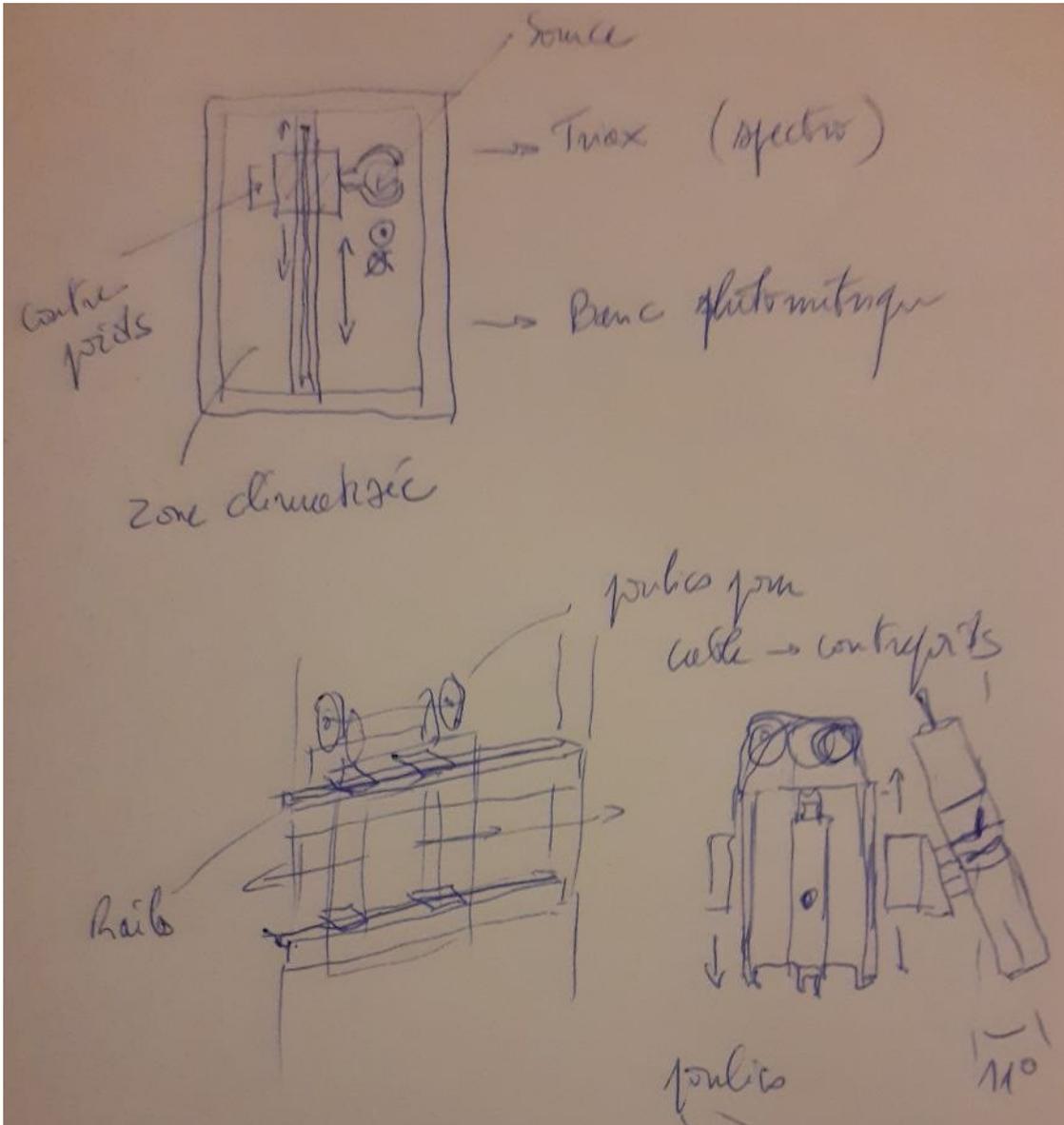
*Analysis ongoing... (LLG)*

# Banc (spectro) en cours de re-construction

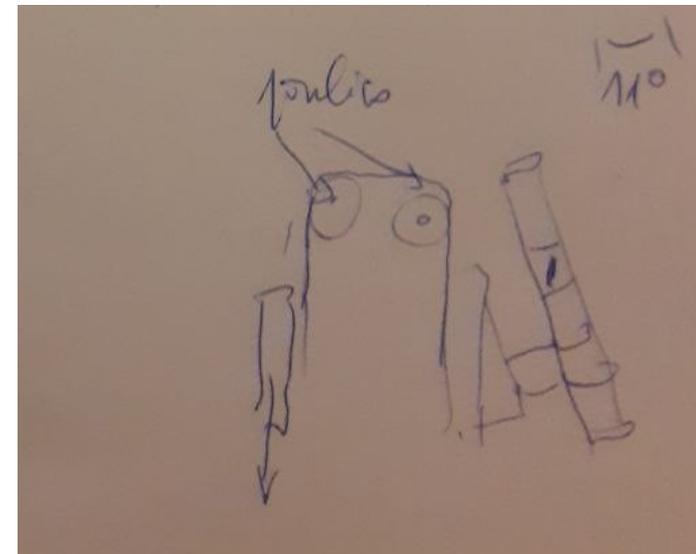
- Nécessité de **déplacer la source** : alignement des LEDs avec l'axe optique pour la spectroscopie (axe du monochromateur Triax modifié)
- Le **laser intégré définit l'axe optique** sur **site** comme sur **banc** de mesure
- LEDs + HgAr (fibre) + continuum pour mesure transmission de l'optique.
- **Structure mobile** sur deux axes (H/V) **portant toute la source intégrée + continuum** (Ocean Optics HL-3P-CAL)
- **tube incliné** pour avoir l'axe source-télescope à l'horizontale sur banc (source pour terrasse du T152 : élévation  $11^\circ$ ).
- Recyclage de la mécanique utilisée pour le proto (*LLG's home*) ; structure plus costaud, rails linéaires plus conséquents.



# Banc en cours de design / re-construction



- Mouvements H/V de la source dans l'enceinte climatisée ;
- Poids de la source => système avec contreponds pour le mouvement vertical.
- Adaptations à partir du prototype.



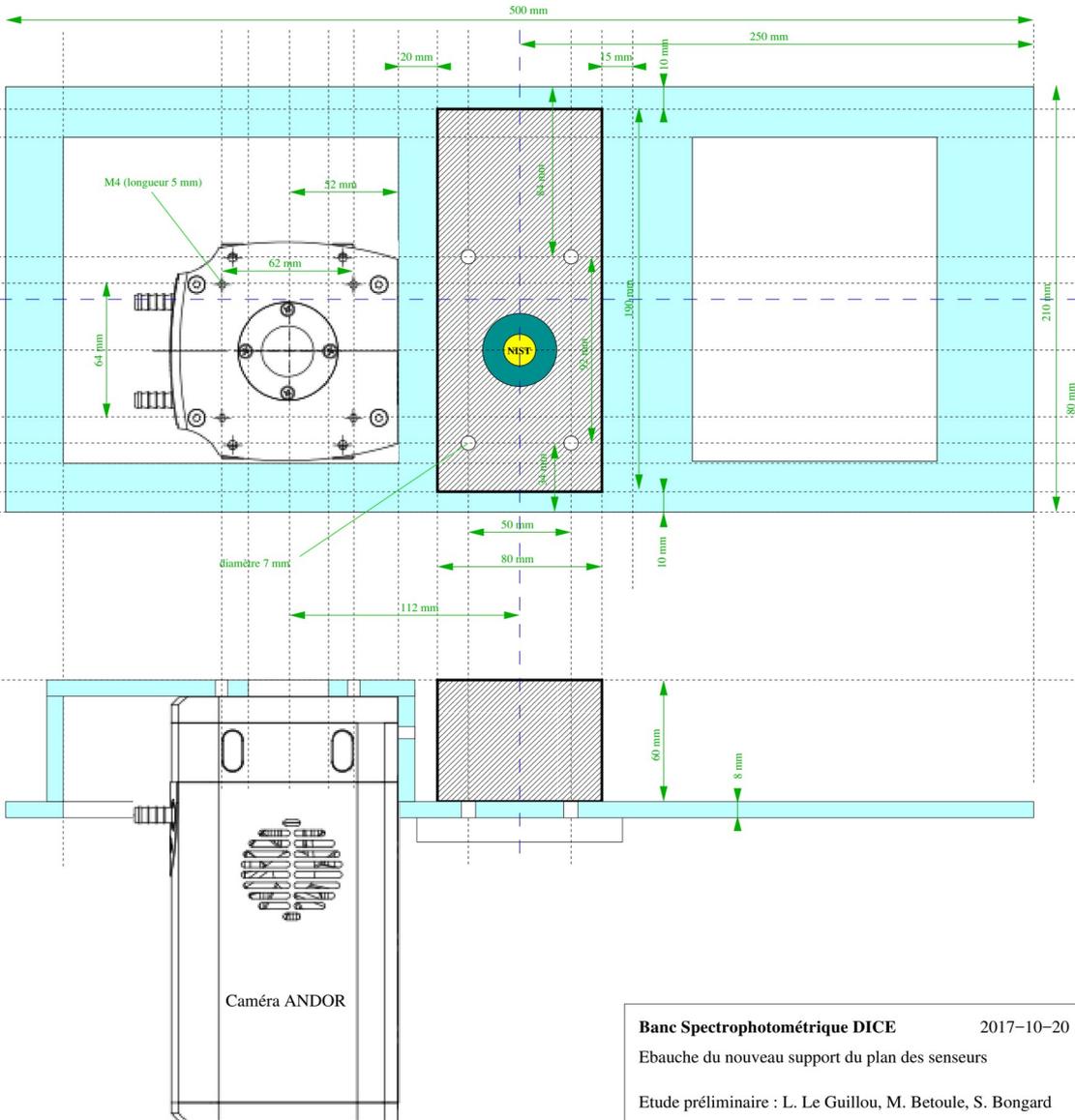
# Banc en re-construction : enceinte

- Besoin : enceinte **noire, climatisée** ( $0^{\circ}\text{C} \rightarrow 25^{\circ}\text{C}$ )
- **Seule la source doit être refroidie** : pas les senseurs/instruments de mesure

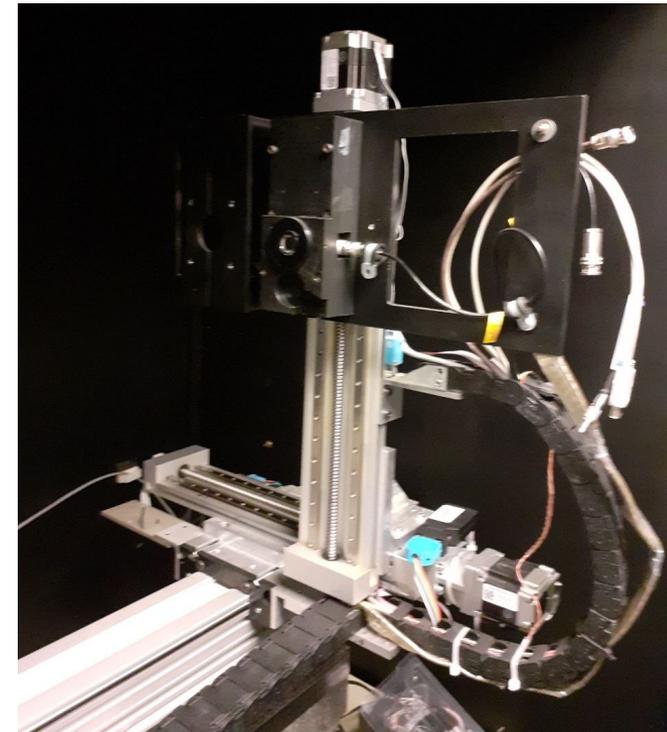


- Structure envisagée :  
ELCOM +  
cloisons  
isolantes  
industrielles type  
**chambre froide**

# Banc (photom.) en cours de re-construction



- Banc de **cartographie des faisceaux des LEDs** adapté pour la caméra ANDOR : la mécanique existe déjà (2017) → H/V
- Projectivité des faisceaux => mouvement en z



# **Installation à l'OHP**

# Installation sur la terrasse du T152



# Installation sur la terrasse du T152



- **Support envisagé :**  
**Pilier IPN en acier soudé sur un disque (+ renforts)**
- **Disque boulonné sur la structure existante.**
- **Hauteur minimale (LEDs) (échapper la rambarde) : environ 1.50 m**
- **Possibilités d'expérimentation avec une arrivée de fibre optique (sources diverses : lampe à arc, continuum, etc).**

# Prochaines étapes :

- **Electronique :**

- tirage PCB *backend* lancé ; câblage, puis tests
- Schéma PCB *frontend* : finalisation (connecteurs), tirage PCB sous peu.
- Validation/tests de l'ensemble, avec Pico+CH9121, dans l'enceinte, contrôlé via ethernet.

- **Mécanique :**

- Pièces manquantes : équerre-support, support PCB backend à revoir ;
- Perçages ; adaptation mineures des pièces existantes ; ajustage.
- Pied pour le T152 à construire

- **Bancs de caractérisation :**

- Bancs photométrique et spectrométrique en cours de re-construction
- 2 sources similaires disponibles : 1 sur banc / 1 sur site en parallèle.