



**Echus Chasma**  
Mars Express - HRSC  
25 septembre 2005

# **LabVIEW pilote MICROMEGA** **Le microscope hyperspectral infrarouge** **du Rover de la mission EXOMARS (ESA 2016)**

-140°C à 20°C  
P = 8 mbar  
CO<sub>2</sub> à 95%  
g = 3,7 ms<sup>-1</sup>

**Corinne EVESQUE**  
**Ludovic GONNOD**  
**Vincent LAPEYRERE**

***Institut d'Astrophysique Spatiale - ORSAY***



# Le Rover Pasteur

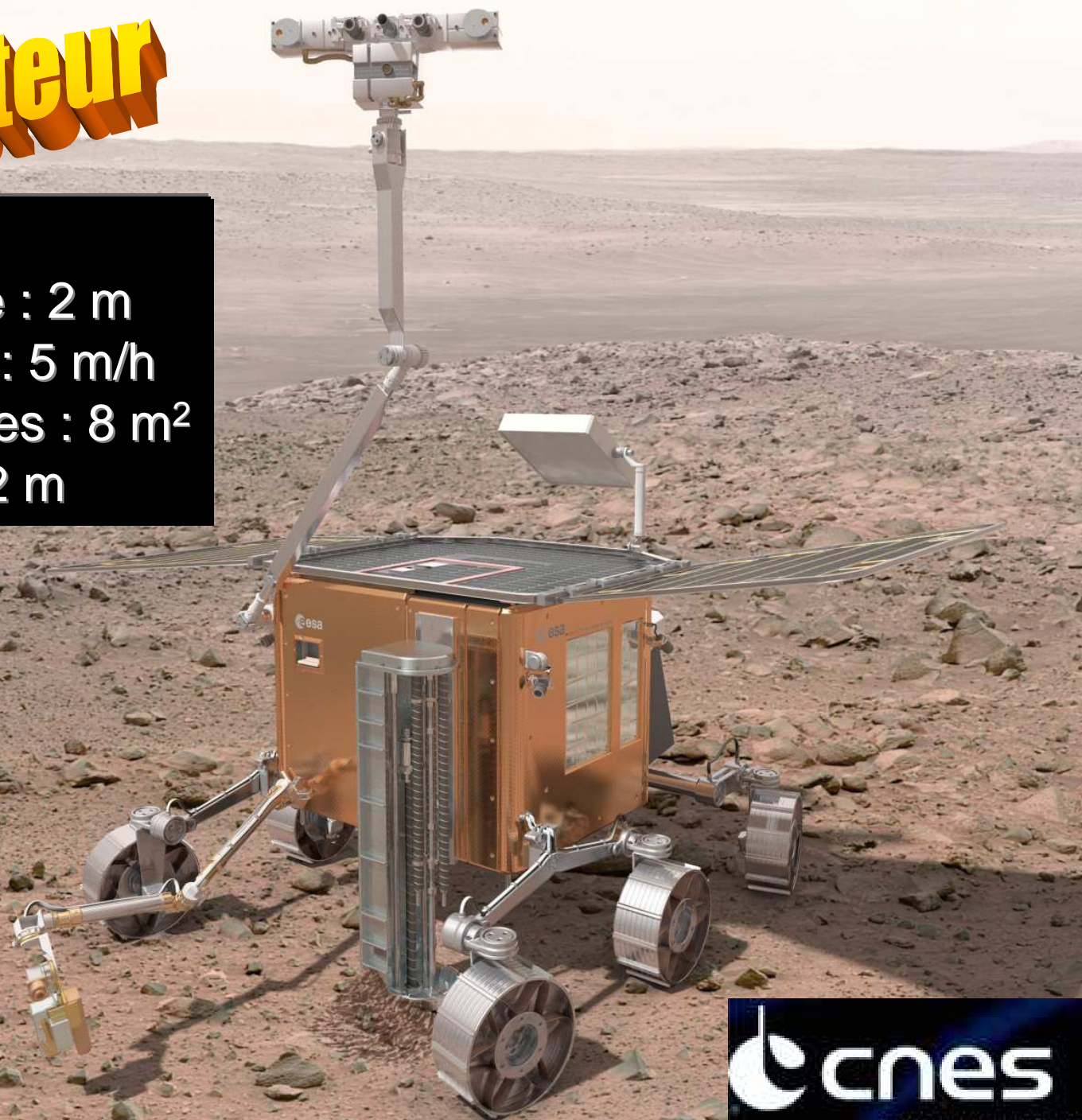
180 kg

Hauteur totale : 2 m

Déplacements : 5 m/h

Panneaux solaires : 8 m<sup>2</sup>

Foreuse : 2 m





16,5 kg

La charge utile du rover, PASTEUR, comprends les 12 instruments regroupés en trois sous-ensembles suivants :

#### Instruments panoramiques

- ▶ PanCam (Panoramic Camera) : Caméras panoramiques
- ▶ MIMA (Martian Infrared MAPper) : Spectromètre de Fourier dans le proche infrarouge pour le choix des cibles, l'étude de la minéralogie et l'analyse de l'atmosphère
- ▶ WISDOM (Water Ice and Subsurface Deposit Observation on Mars) : Radar UHF pour une pénétration de 2 à 3 mètres

#### Instruments de contact

- ▶ CLUPI (CLOse-UP Imager on ExoMars) : Imagerie rapprochée pour la caractérisation de l'environnement géologique
- ▶ MIMOS II (MIniaturised Mössbauer Spectrometer) : Spectroscopie pour l'analyse du Fer dans la matière martienne
- ▶ Raman-LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) : Spectroscopie Raman et laser pour l'étude des échantillons martiens
- ▶ Ma\_MISS (Mars Multispectral Imager for Subsurface Studies) : Spectromètre pour l'analyse de la matière martienne en surface et sous surface

#### Instruments d'analyse

- ▶ MicrOmega : Microscope Infrarouge et Visible pour l'étude des échantillons martiens
- ▶ LMC-SMILE (Life Marker Chip - Specific Molecular Identification of Life Experiment)
- ▶ Mars-XRD (X-Ray Diffractometer) : Analyse de la structure cristalline par diffraction à l'aide de rayons X
- ▶ MOMA (Mars Organic Molecule Analyser) : Chromatographe en phase gazeuse pour analyser la matière organique et inorganique à la surface martienne et en sous-surface
- ▶ Urey : Détection des composants organiques et mesure de l'oxydation

Les contributions instrumentales françaises à la charge utile PASTEUR concernent 6 des 12 instruments : MicrOmega, WISDOM, CLUPI, MIMOS II; MOMA et Raman-LIBS.

Dernière mise à jour 10/07/2008

900 g  
7 W  
62,5 Mbits



# Construire une maquette pour .....

- **Faire des cubes images d'échantillons**
- **Démontrer la faisabilité : identification minéralogique**
- **Caractériser et optimiser les sous-systèmes**
- **Concevoir un instrument de vol**

Instrument évolutif  
Utilisation ouverte



# AGENDA

- ✓ Que doit-on mesurer ?
- ✓ Avec quel instrument ?
- ✓ Que fait LabVIEW ?
- ✓ Et la suite ?



# AGENDA

- ✓ **Que doit-on mesurer ?**
- ✓ Avec quel instrument ?
- ✓ Que fait LabVIEW ?
- ✓ Et la suite ?



# Réalisation d'une image

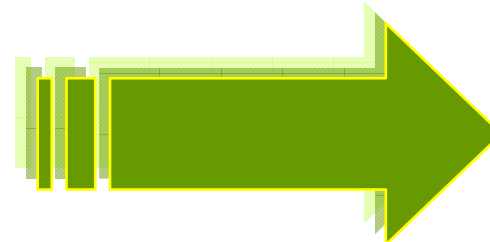
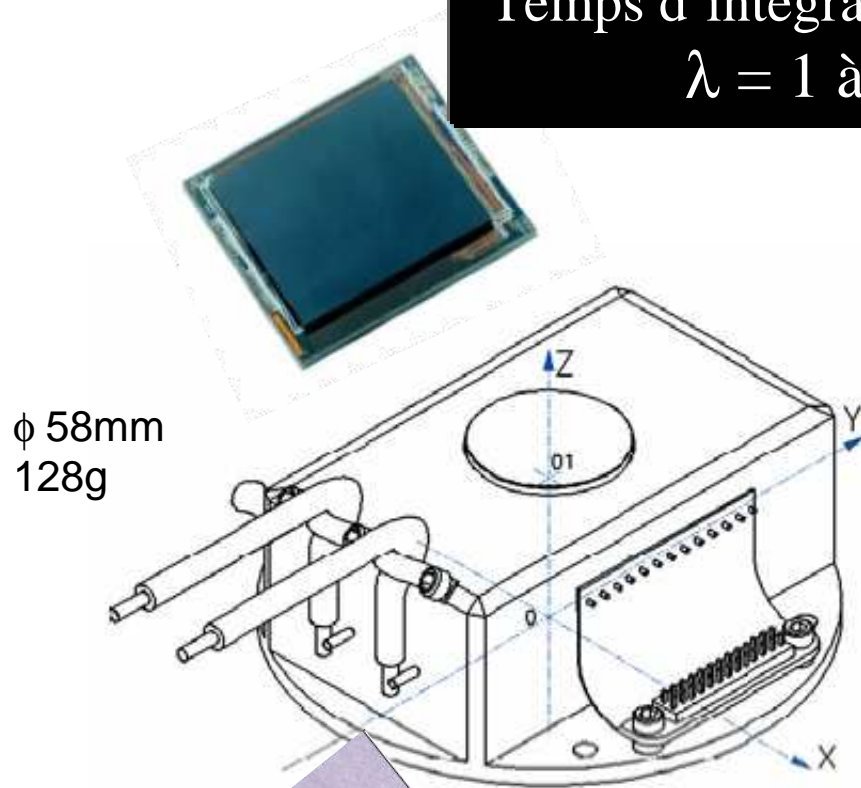
## Détecteur HgCdTe

320 x 256 = 81920 pixels

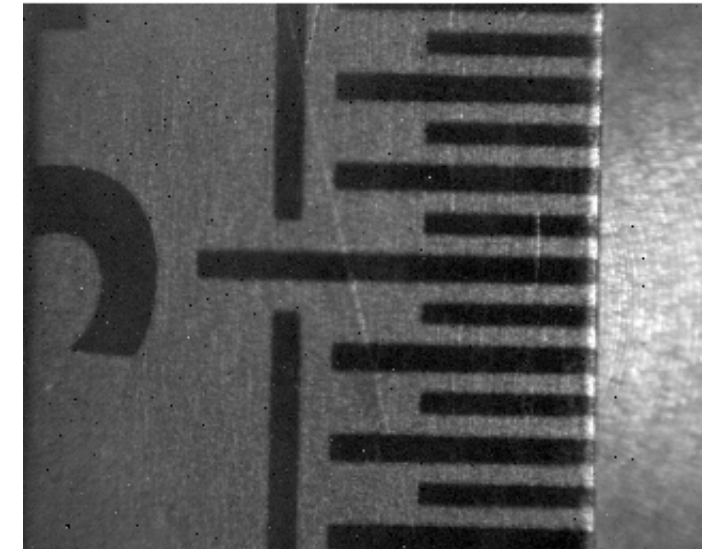
Charge max : 1,25 Me-

Temps d'intégration : 100  $\mu$ s à 1s

$\lambda = 1$  à 2,5  $\mu$ m



Température plan  
focal



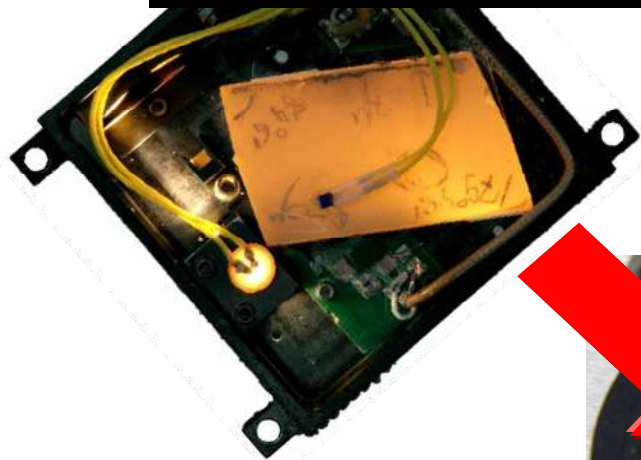
## Refroidisseur thermoélectrique (TEC)

250 K  $\rightarrow$  200 K avec

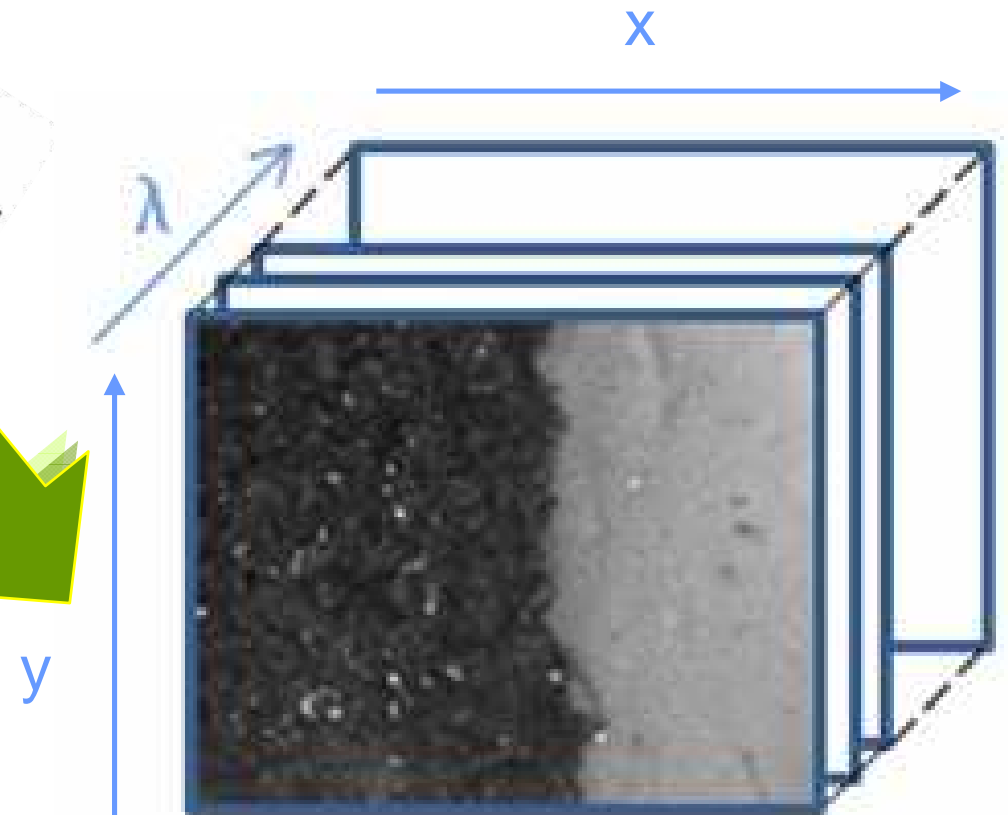
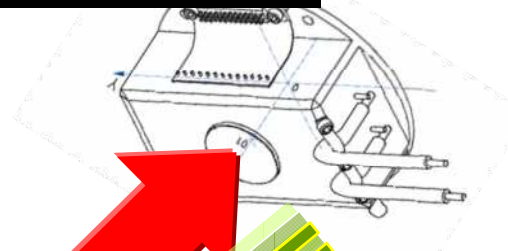
P = 5W max. et 600s max.

# Réalisation d'un cube images

Illumination monochromatique  
→ Balayage par pas  $\Delta\lambda$  (500 pas max)  
→ Pas de pièce mobile



Échantillon



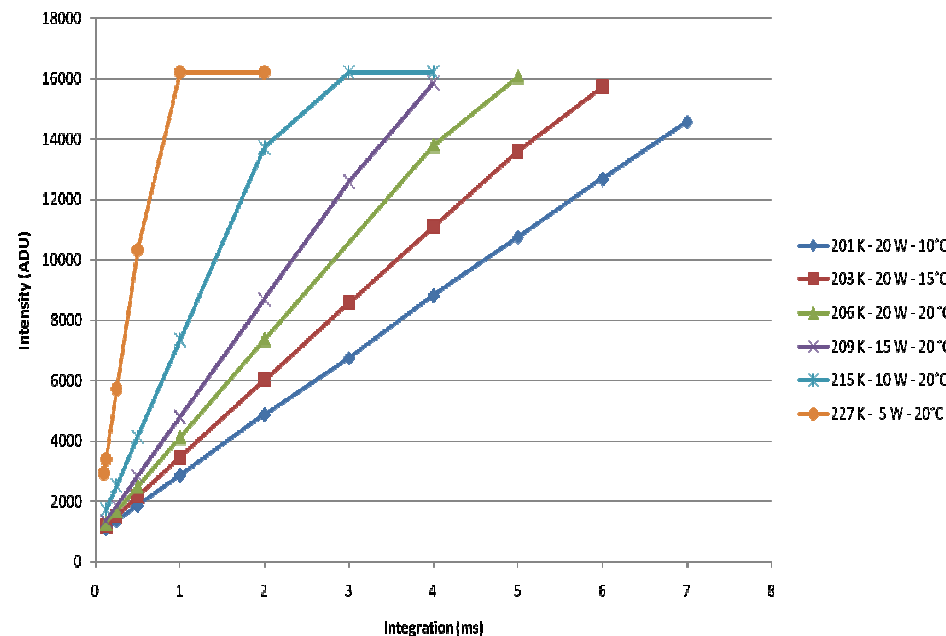
Cube images ( $x, y, \lambda$ )  
 $x = 320$  pixels = 9,6 mm  
 $y = 256$  pixels = 7,68 mm  
 $\lambda = 1$  à 2,5  $\mu\text{m}$  – pas 2 à 15 nm



**Image brute = (Image réelle x Image de champ plat) + image d'obscurité**

## Conditions expérimentales

➤ Bruit thermique et pixels chauds (endommagés) → **Soustraire l'image d'obscurité = réponse du détecteur sans éclairage**



Temps d'intégration

Température détecteur

Référence de spectre Lambertien (émission indépendante de la direction) sans bande d'absorption

➤ Variations de la réponse des pixels et des conditions d'éclairage → **Diviser par l'image de champ plat = réponse du détecteur à un éclairage uniforme**



## Fichier d'initialisation

```
[SLICE1]
IR_DET_INT_TIME = 55
IR_DET_POLARS = 0
IR_DET_GAIN = 0
IR_VLED1_ON = FALSE
IR_VLED2_ON = FALSE
IR_VLED2_ON = FALSE
IR_VLED4_ON = FALSE
IR_ILL_ON = TRUE
IR_ILL_VOLT = 5
IR_AOTF_ON = TRUE
IR_AOTF_RFON = TRUE
IR_AOTF_RF_FREQ_START = 33
IR_AOTF_RF_FREQ_END = 105
IR_AOTF_RF_LEVEL = 0
IR_IM_SUMMING = 10
IR_IM_NUMBER = 180
```

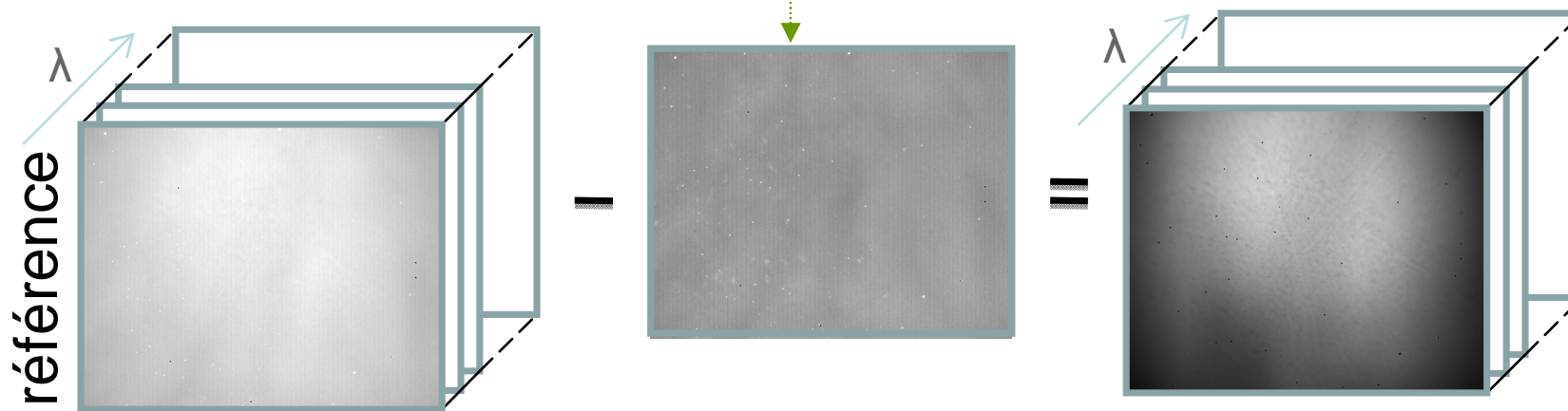
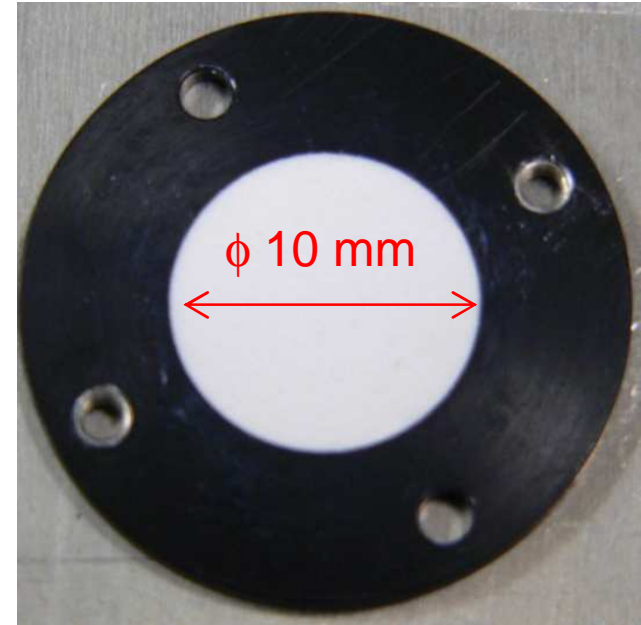
*Temps d'intégration (ms)*

*lampe*

*AOTF marche*

*taille  $\lambda$  du cube*

IR\_IM\_NUMBER = 5



$I_0(\lambda, x, y) + \text{obs.}$

Image d'obscurité  $I_0(\lambda, x, y)$



# Mesure d'un échantillon

## Fichier d'initialisation

```
[SLICE1]
IR_DET_INT_TIME = 55
IR_DET_PO
IR_DET_GA
[STRAY]
IR_VLED1
IR_VLED2
IR_VLED2
IR_VLED4
IR_DET_POLARS = 0
IR_DET_GAIN = 0
IR_ILL_ON
IR_ILL_VO
IR_AOTF_
IR_AOTF_
IR_AOTF_
IR_AOTF_
IR_IM_SUM
IR_IM_NUM
IR_VLED4_ON = FALSE
IR_ILL_ON = TRUE
IR_ILL_VOLT = 5
IR_AOTF_ON = FALSE
IR_AOTF_RFON = FALSE
IR_AOTF_RF_FREQ_START = 0
IR_AOTF_RF_FREQ_END = 0
IR_AOTF_RF_LEVEL = 0
IR_IM_SUMMING = 10
IR_IM_NUMBER = 5
```

*Temps d'intégration (ms)*

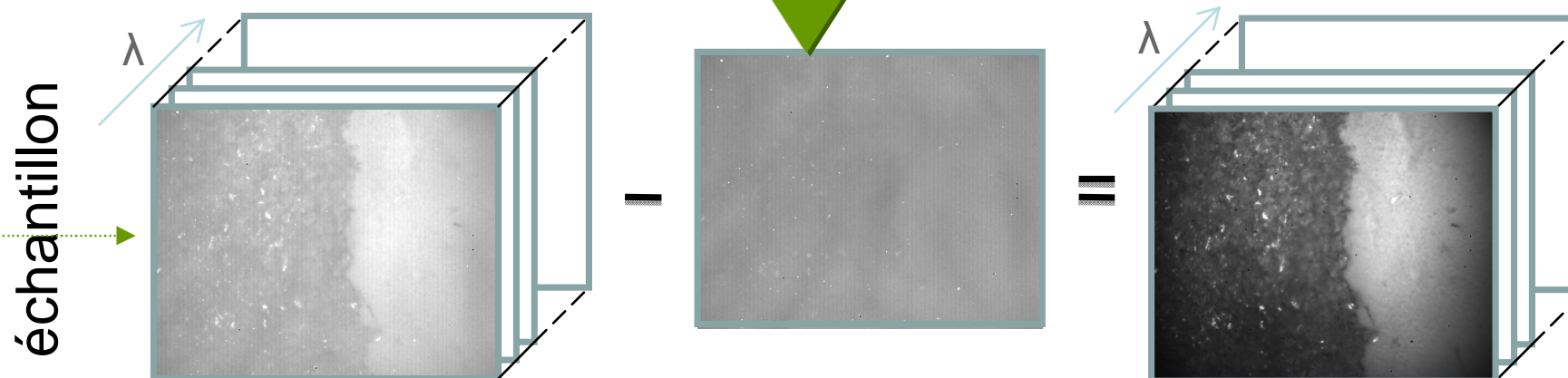
*lampe*

*AOTF éteint*

*taille  $\lambda$  du cube*



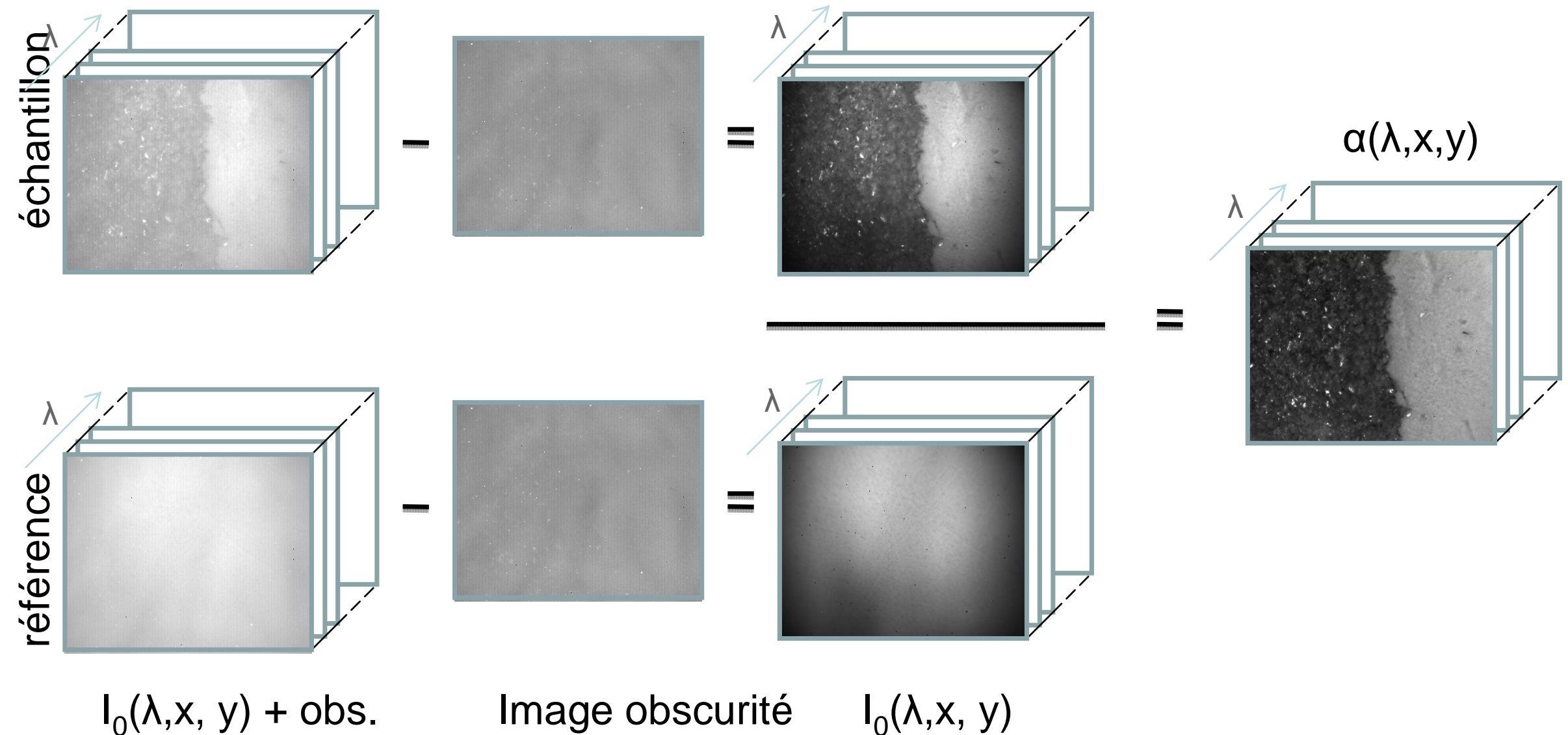
$$I_0(\lambda, x, y) * \alpha(\lambda, x, y) + \text{obs. Image d'obscurité } I_0(\lambda, x, y) * \alpha(\lambda, x, y)$$



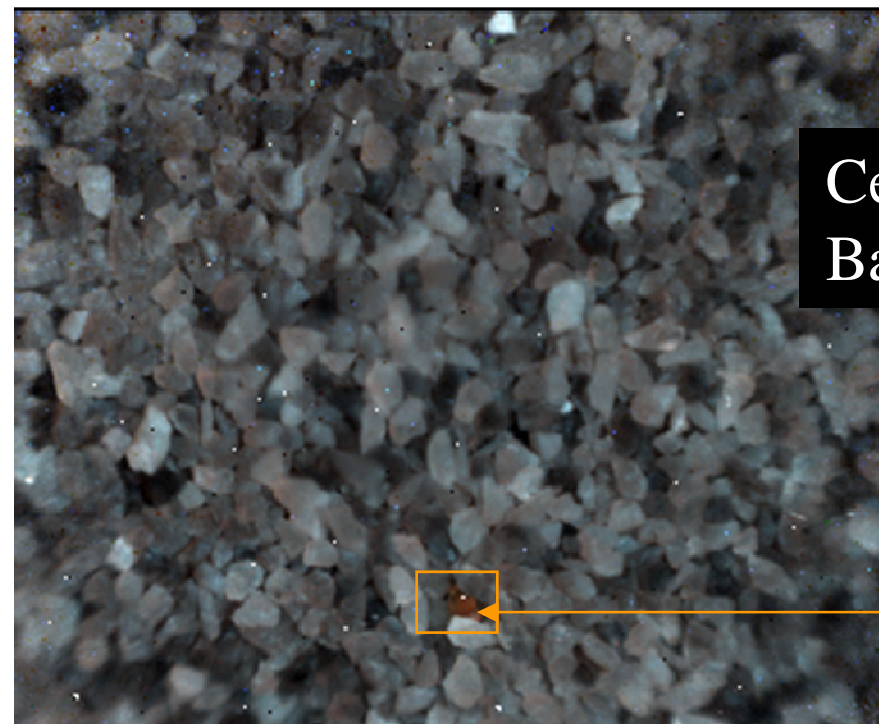


**Image brute = (Image réelle x Image de champ plat) + image d'obscurité**

$$I_0(\lambda, x, y) * \alpha(\lambda, x, y) + \text{obs. Image obscurité} \quad I_0(\lambda, x, y) * \alpha(\lambda, x, y)$$







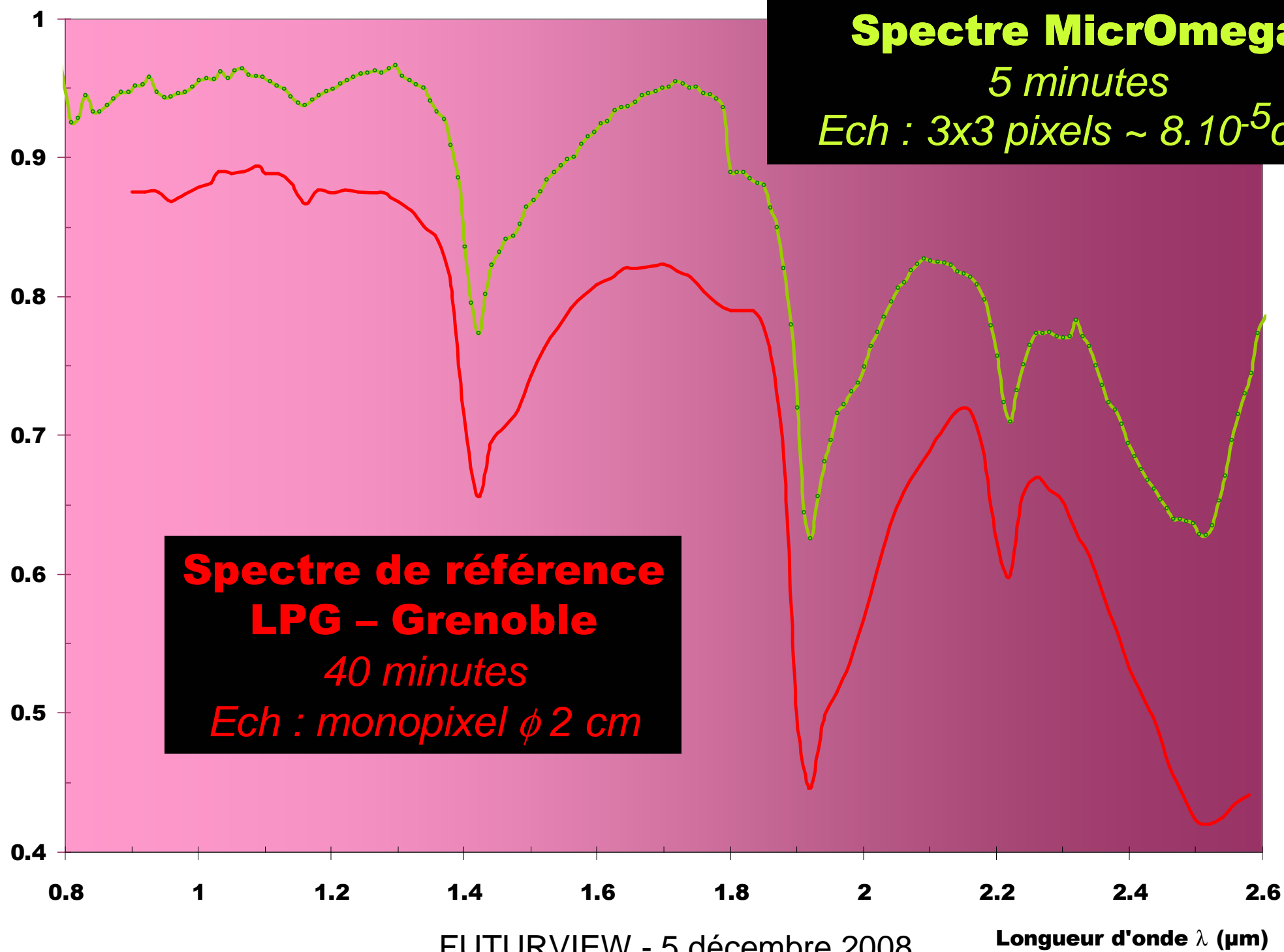
Ceinture de roches vertes de  
Barberton (Afrique du sud)

**olivine**



# Spectre de la Smectite

Reflectance



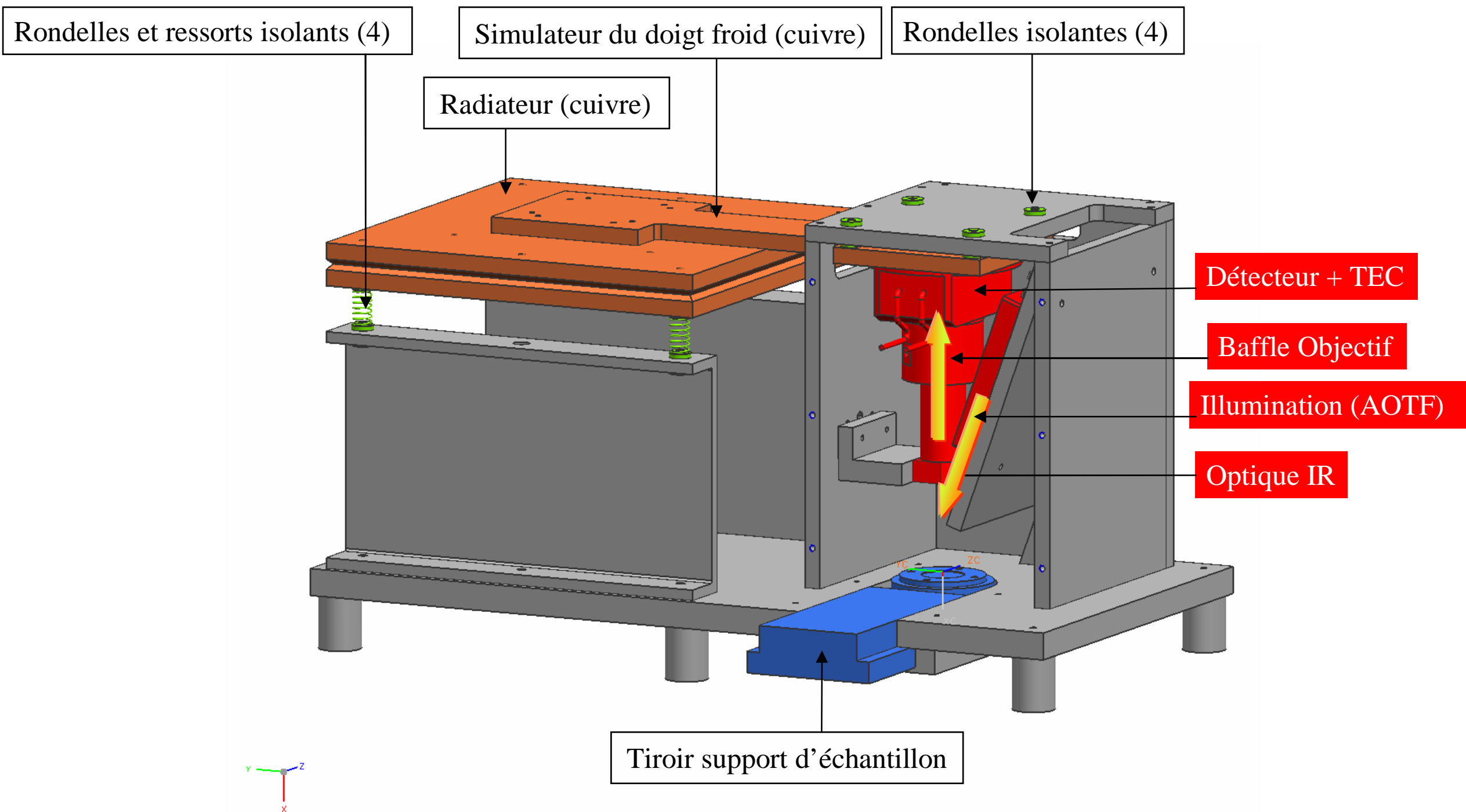


# AGENDA

- Que doit-on mesurer ?
- **Avec quel instrument ?**
- Que fait LabVIEW ?
- Et la suite ?

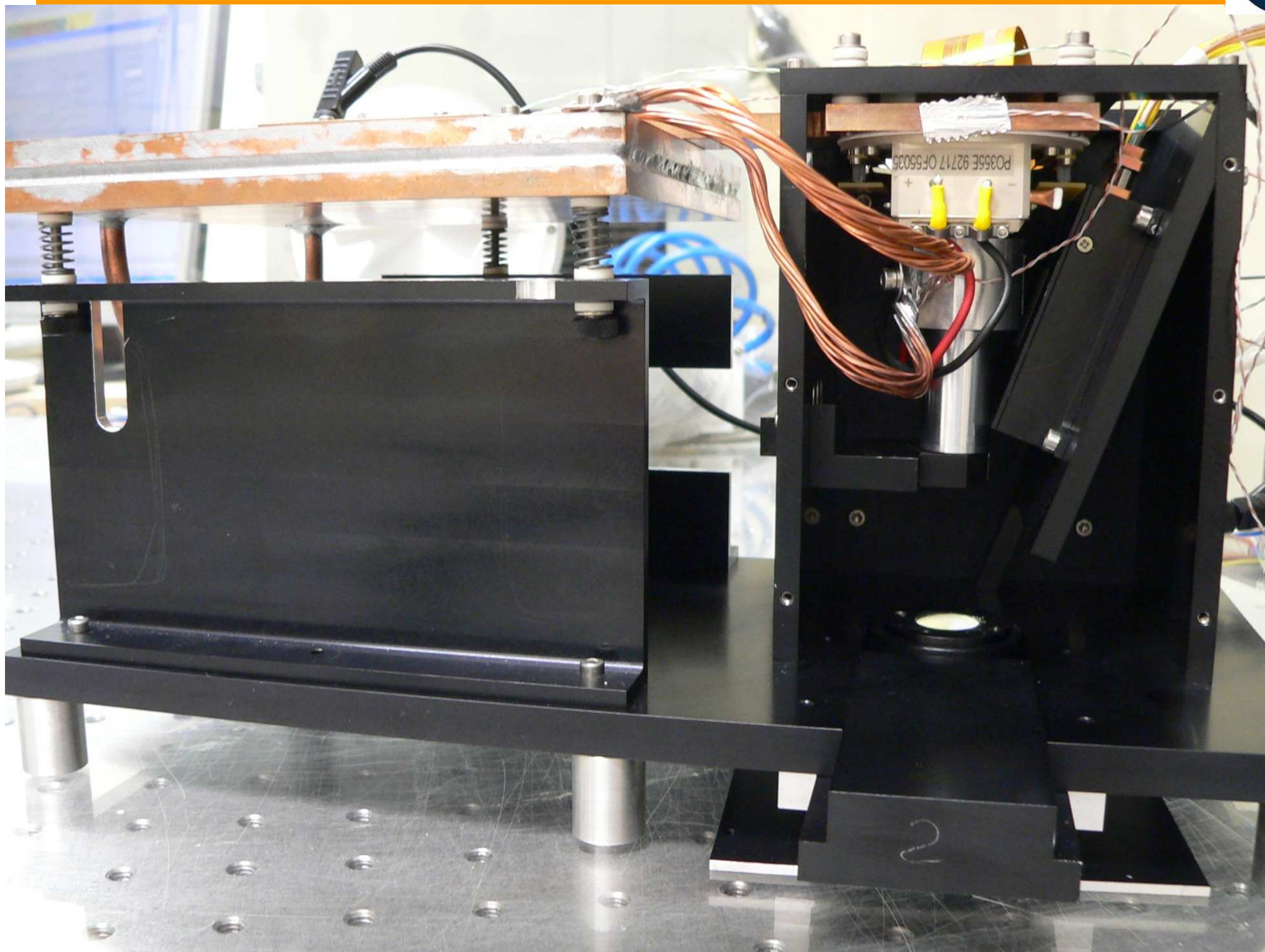


# Maquette de MicrOmega



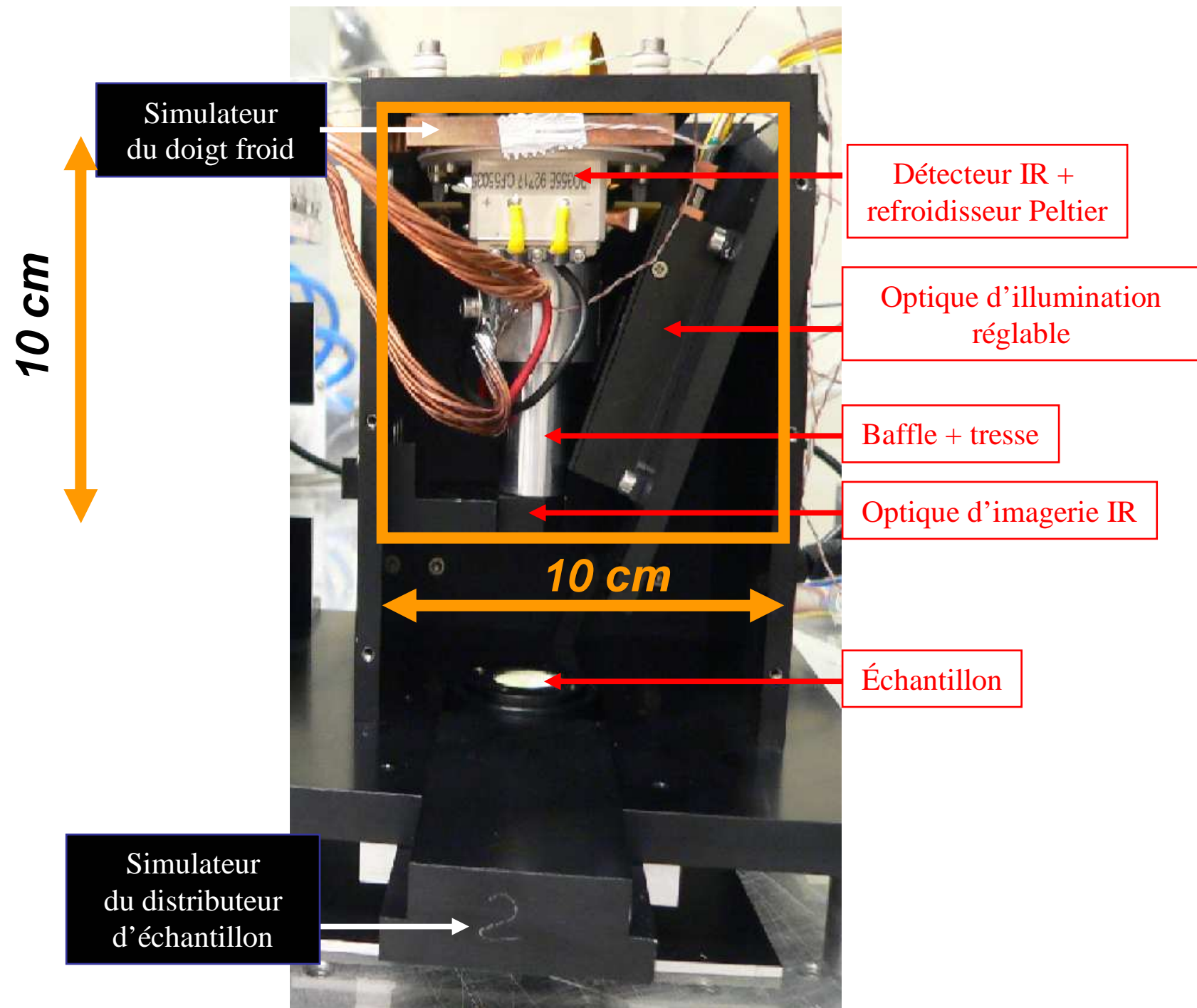


# Maquette de MicrOmega

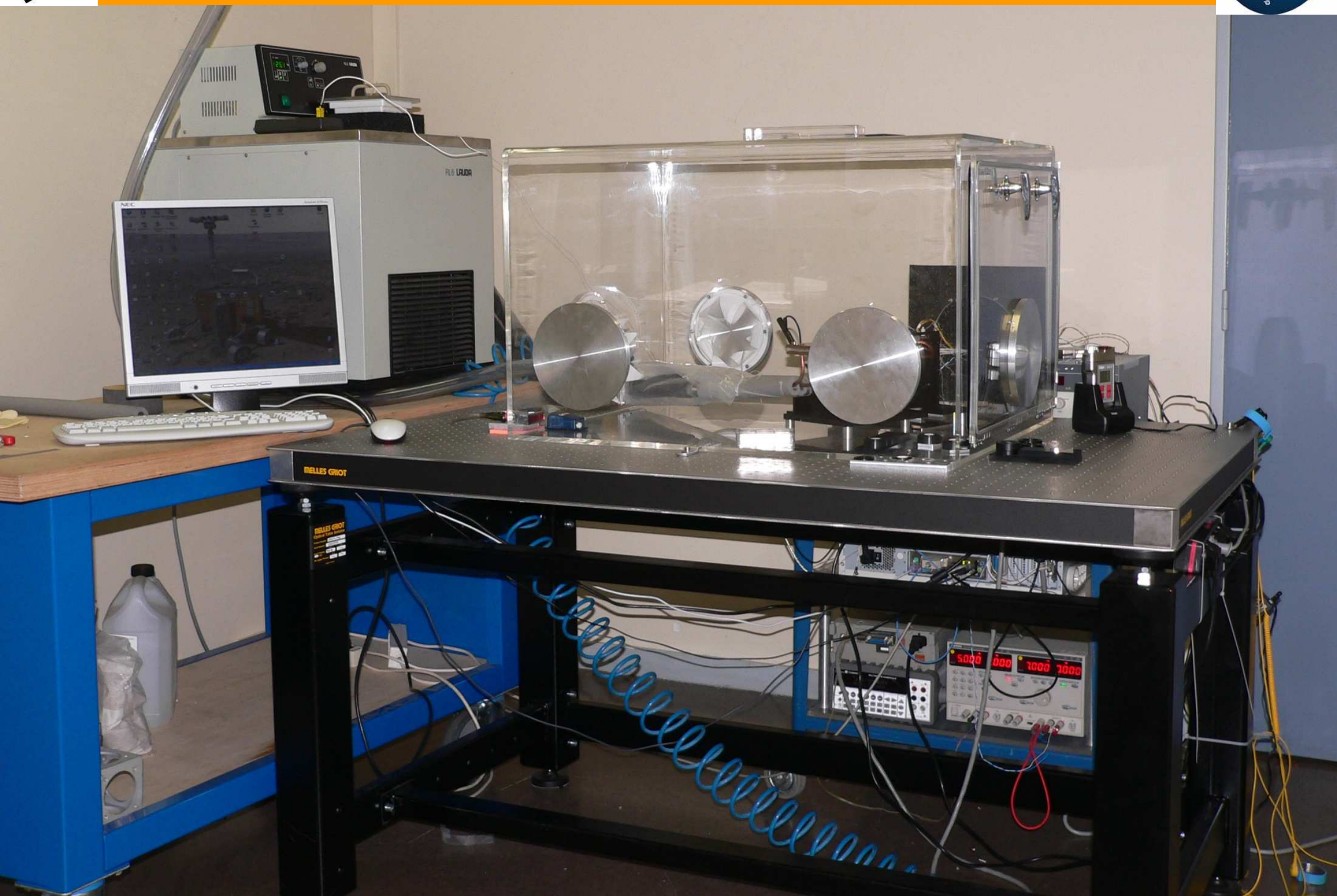




# Maquette de MicrOmega

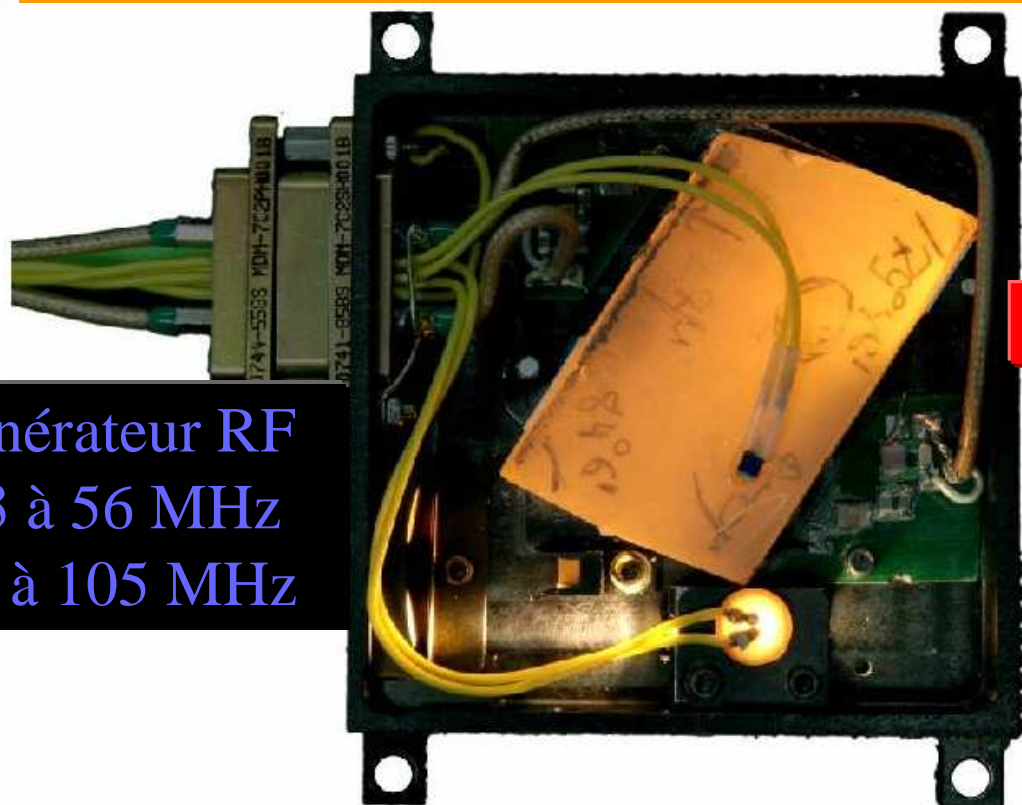






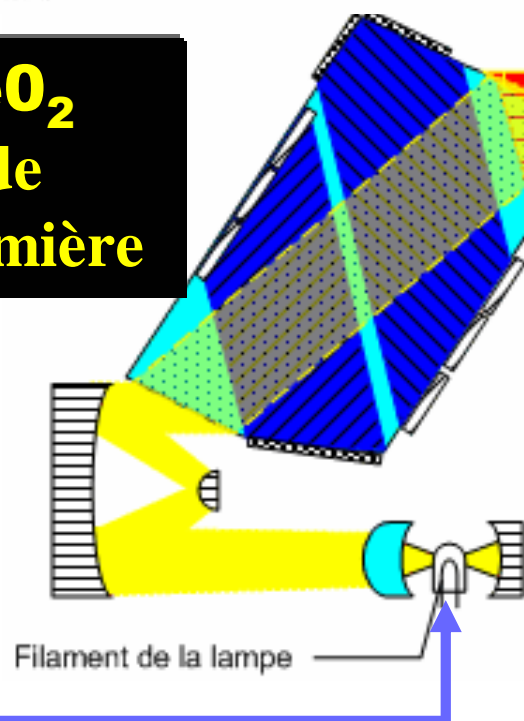


# Illumination : Filtre Acousto-optique réglable (AOTF)



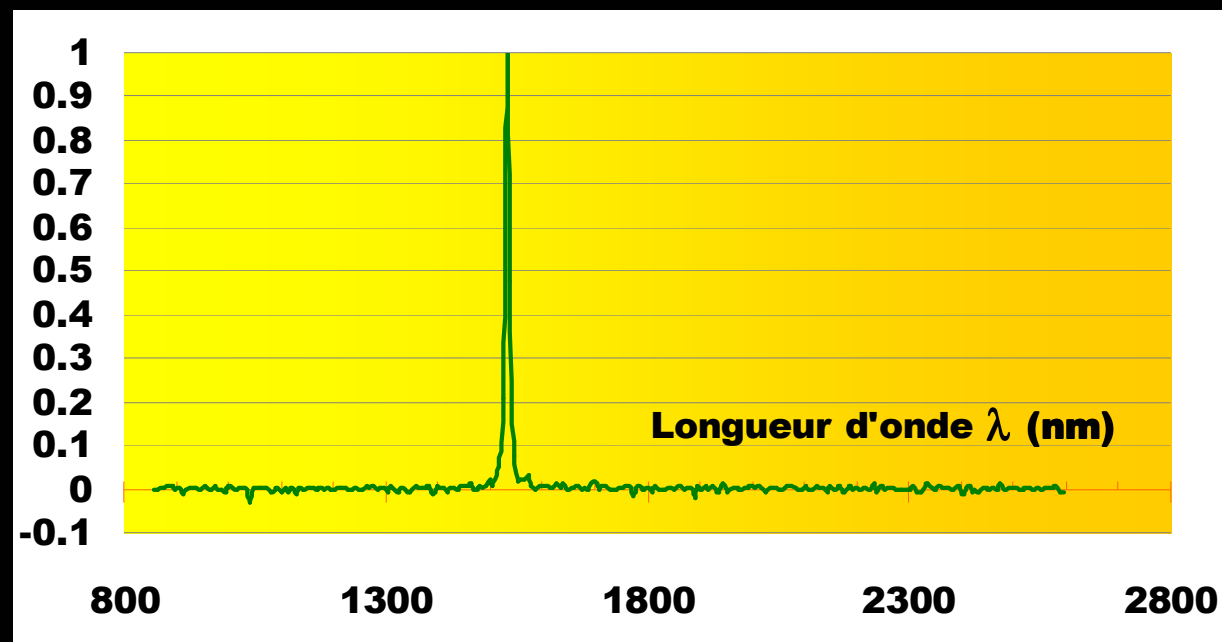
Générateur RF  
33 à 56 MHz  
56 à 105 MHz

**Cristal de  $\text{TeO}_2$**   
Interaction onde  
acoustique RF - lumière



Source de  
lumière blanche  
Alim DC  
5V – 115 mA

**Illumination monochromatique**  
 $\lambda[\mu\text{m}] = 84.0571/f [\text{MHz}] + 0.0943$   
 $\lambda = 0.9 \text{ à } 2.6 \mu\text{m}$







4 lignes E/L des registres par SPI  
1 commande synchro image : FSYNIN  
1 commande lampe AOTF

Alimentation  
Diode 2n2222  
25  $\mu$ A

Détecteur IR  
MARS SW1  
 $320 \times 256 = 81920$   
pixels sur 14 bits soit  
 $16383 \text{ ADU} = 1,25 \text{ Me-}$

Alimentation DC  
Refroidisseur Peltier  
7,4 V – 4,2 A max

*Flex SOFRADIR*  
20 cm



*Carte SOFRADIR*  
4 sorties – 3 MHz/sortie

*Harnais spécifique sur*  
connecteur ODU 40 points

Module USB/SPI  
NI 8451

Carte PCI d'Acquisition  
d'images à 50 MHz  
NI HS DIO 6541

Alimentations  
 $\pm 7\text{V DC}$  (partie analogique)  
 $+ 5\text{V DC}$  (partie numérique)

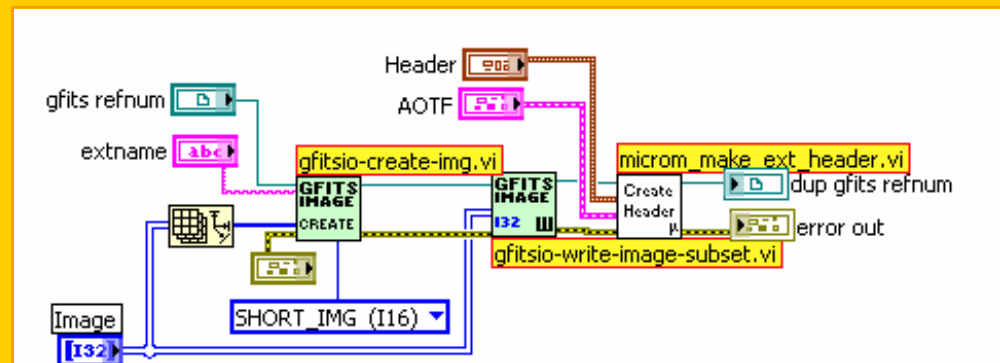
Voltmètre DC  
Lecture diode 2n2222



14 sorties de lecture pixels  
1 sortie synchro ligne : LSYNOUT  
1 sortie horloge : DCLKOUT



Joue le rôle d'un filtre interférentiel





# AGENDA

- ✓ Que doit-on mesurer ?
- ✓ Avec quel instrument ?
- ✓ **Que fait LabVIEW ?**
- ✓ Et la suite ?



# Configuration

Configurer Réglage vidéo Acquisition Scan AOTF AOTF Microscope

Initialisation du détecteur

Initialiser

Status Terminée

Alimentation diode 2N2222

Courant 0,025 Calibre MA

Configuration du thermocouple

Origine thermocouple -25

Lecture

T\_Cold (°C) -78,5812 T\_Cold (K) 194,569

T\_Hot (°C) -14,4166 T\_Hot (K) 258,733

T\_Ambiant (°C) 6,6348 T\_Ambiant (K) 279,785

Commande du TEC

Configurer

Courant (A) 0

Lecture

Courant 1,499 Tension 3,07

Puissance (W) 4,60193

1,5 A ~ 5 W  
2,1 A ~ 10 W

Commande du RF

RF OFF

Lampe ON

Lecture

Courant RF 0

AOTF STATUS

AOTF Model DM

Wavelength (µm) 2,49656

Frequency (MHz) 36,000

Channel LF

RF\_ON

Lampe\_ON

AOTF\_ON

Alimentation diode 2n2222 = 25 µA  
Registre SPI n°3 = 1 : Détecteur ON  
Registre SPI n°4 = 0 : Mode vidéo normal  
Registre SPI n°5 = 1 : Config. en horloge interne  
Registre SPI n°6 = 2 : diviseur = 4 → MC = 2,5 MHz  
Registre SPI n°7 = 1 : Frame synchro externe (SPI)  
Registres SPI n°8,9,10 = 0 : Frame période  
Configuration ni8451 pour commande lampe AOTF  
Configuration table de couleurs  
Lecture courant diode 2n2222

Lecture des températures :  
T\_cold : FPA détecteur (2n2222)  
T\_hot : doigt froid (TC type T)  
T\_ambient : Baffle (TC type T)

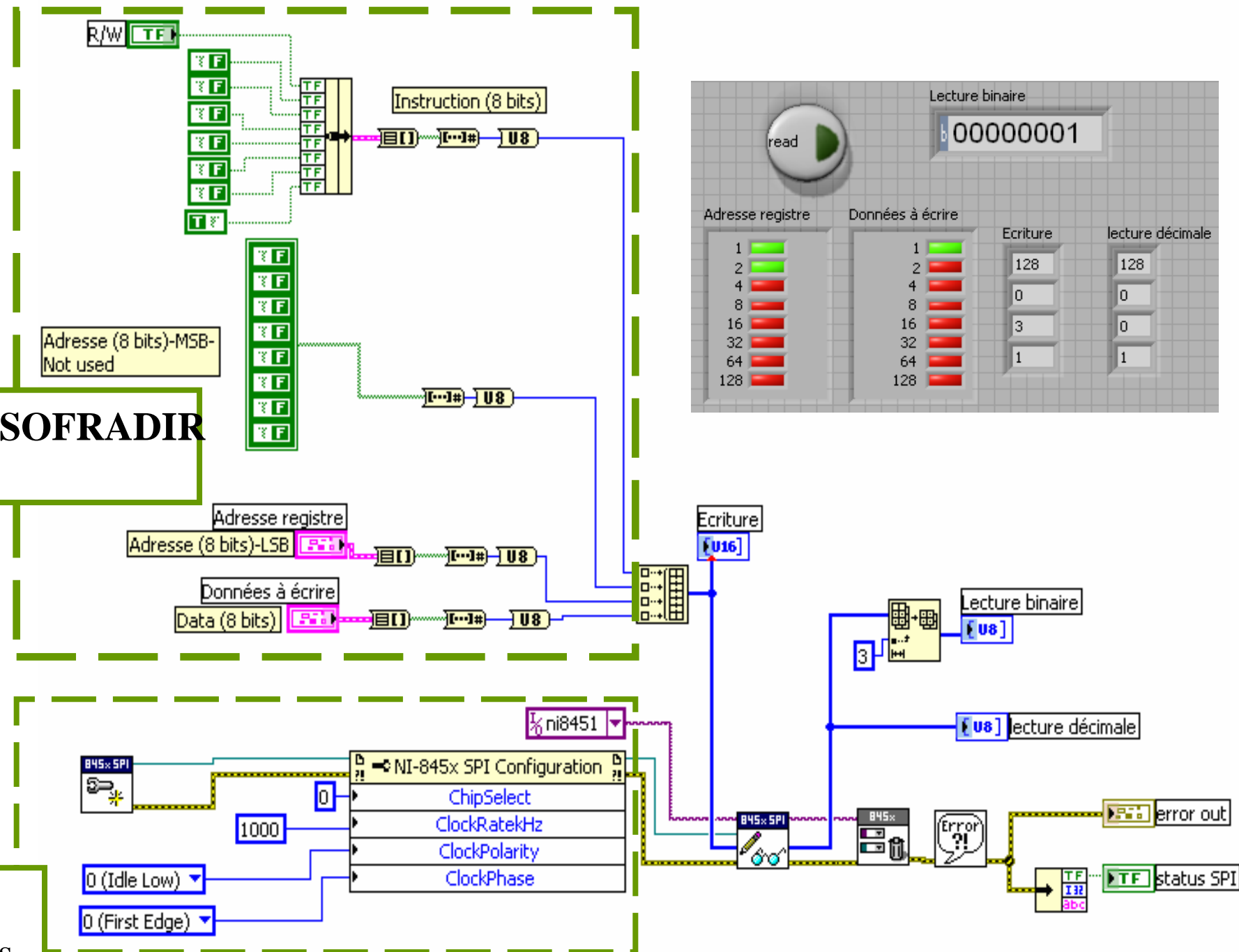


# SPI : Écriture - Lecture registres

**E/L des registres de la carte SOFRADIR**  
4 registres de 8 bits

## Module 8451 USB-SPI

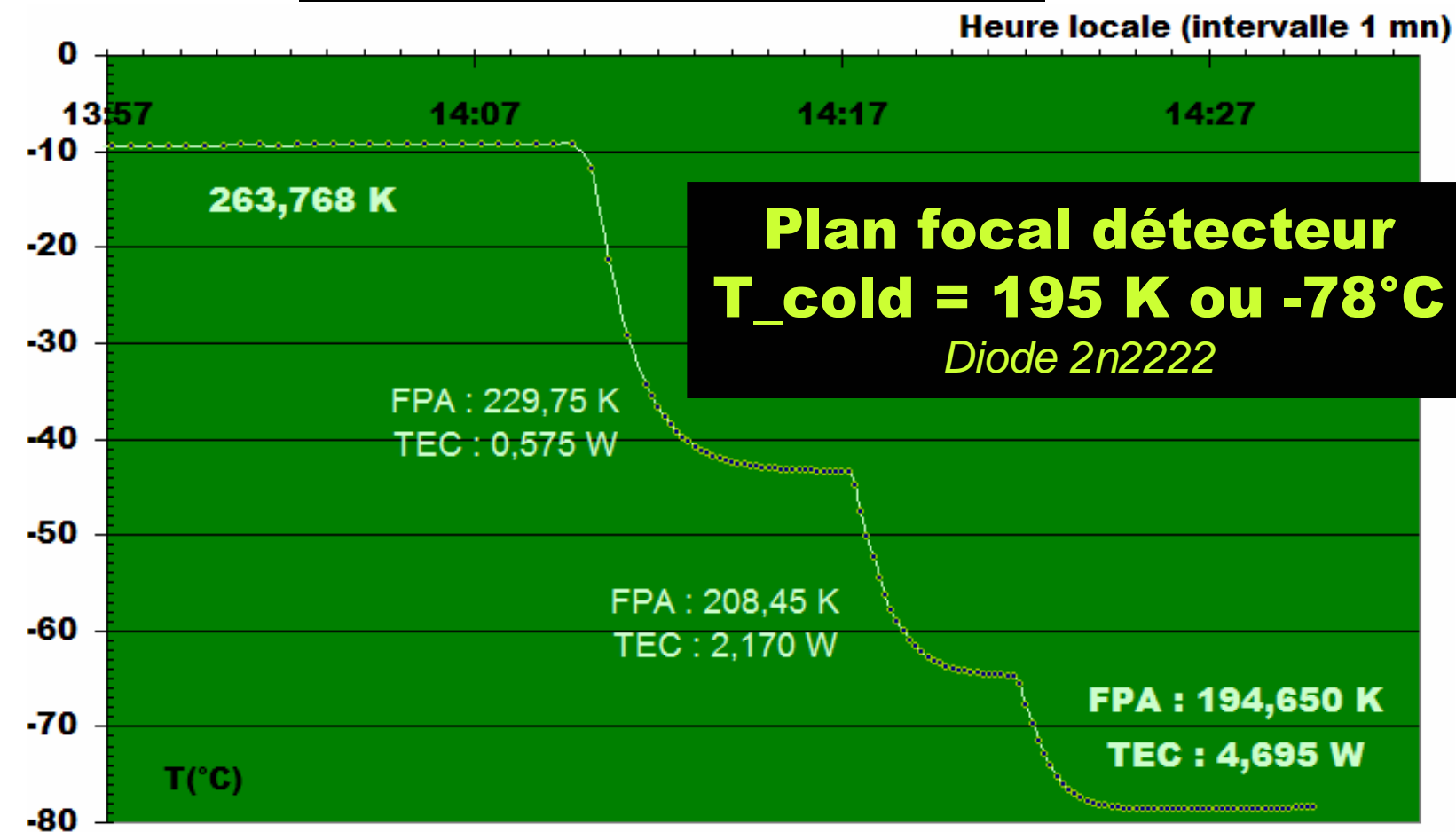
Le bus SPI a 4 signaux logiques  
1 - CS, chip select (n° esclave)  
2 - SCLK, horloge du maître  
3 - SDI, serial data IN,  
4 - SDO, serial data OUT.





# Descente en température

**Doigt froid = LAUDA**  
**T\_hot = 248 K ou -25°C**  
*Thermocouple type T*

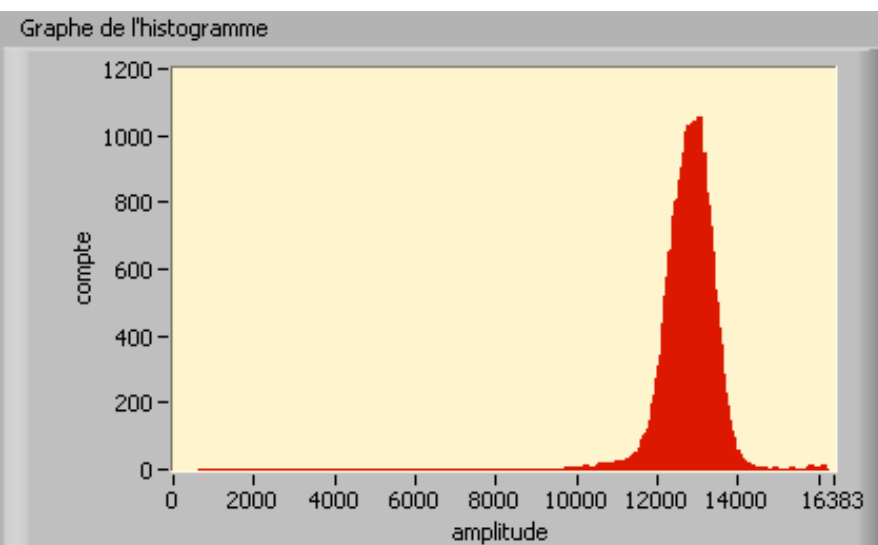
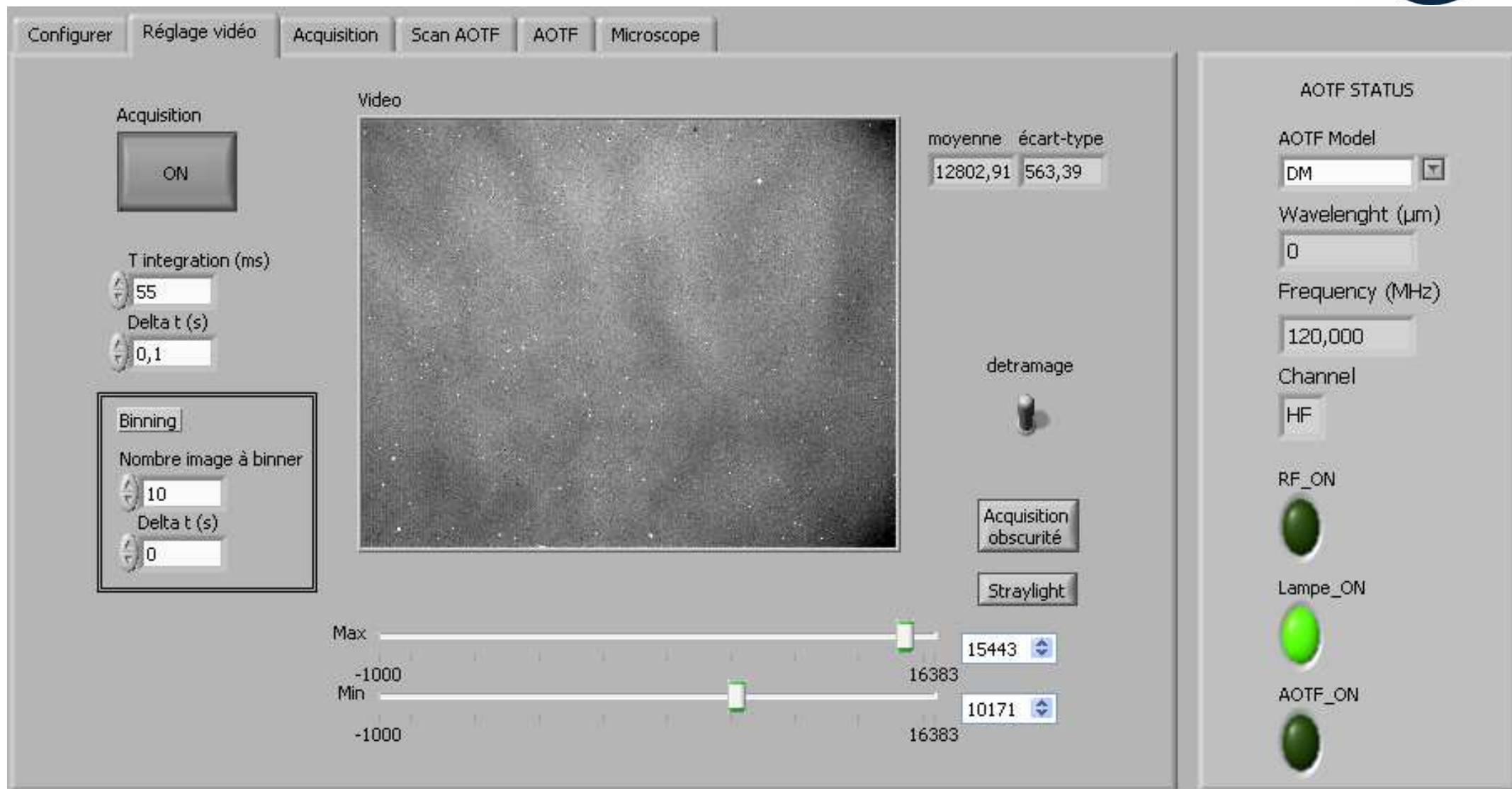


**T\_ambient = 278 K ou 5°C**  
*Thermocouple type T*





# Réglages avec référence



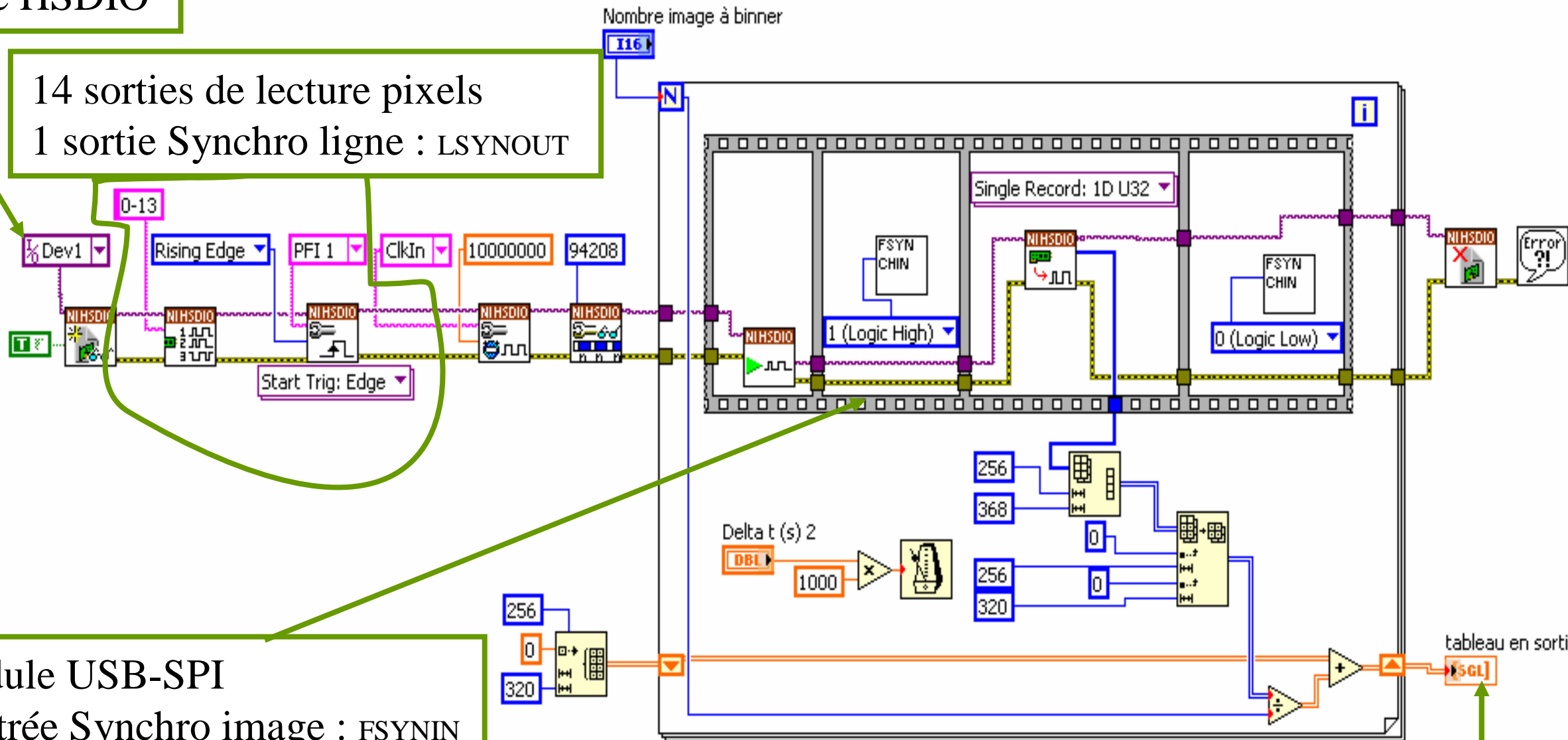
→ Déterminer le temps d'intégration max dans les conditions de température, d'illumination, et de référence de l'expérience.

FUTURVIEW - 5 décembre 2008



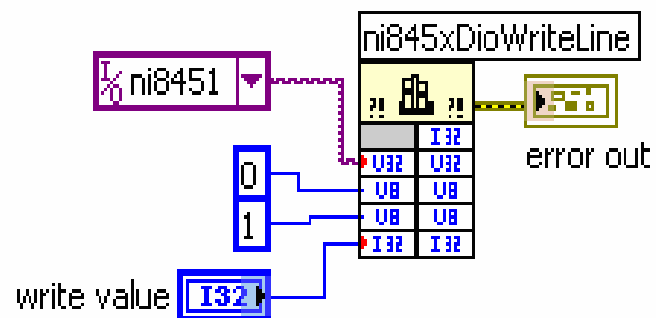
## Carte HSDIO

14 sorties de lecture pixels  
1 sortie Synchro ligne : LSYNOUT

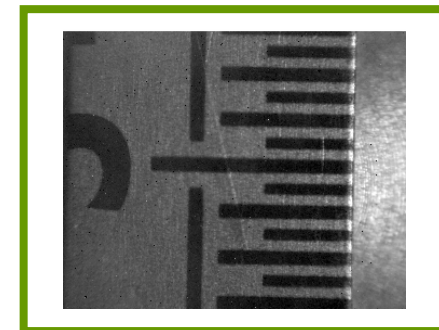


## Module USB-SPI

1 entrée Synchro image : FSYNIN



FUTURVIEW - 5 décembre 2008





Configurer Réglage vidéo Acquisition Scan AOTF AOTF Microscope

Fichier de configuration  
C:\Documents partagés\data mars\config\_251108.ini

Charger la configuration  
OK

ORIGIN 2  
micromega\_lab

INSTRUME 2  
Mars SW1

Modèle AOTF  
DM1

Répertoire de sauvegarde  
C:\Documents partagés\data mars\20081125

Prefixe du fichier  
référence

Longueur d'onde

Temps entre image (s) 2

Séquences  
Images

LANCER ACQUISITION

Configuration chargée

2

NAME  
SLICE1

IR\_ILL\_ON  
☒

IR\_DET\_INT\_TIME  
55

IR\_AOTF\_ON  
☒

IR\_AOTF\_RFON  
☒

IR\_AOTF\_RF\_FREQ\_START  
33

IR\_AOTF\_RF\_FREQ\_END  
105

IR\_AOTF\_RF\_LEVEL  
0

IR\_IM\_NUMBER  
180

IR\_IM\_SUMMING  
10

AOTF STATUS

AOTF Model  
DM

Wavelength (μm)  
2,28638

Frequency (MHz)  
38,586

Channel  
LF

RF\_ON  
☒

Lampe\_ON  
☒

AOTF\_ON  
☒



# Quelques images

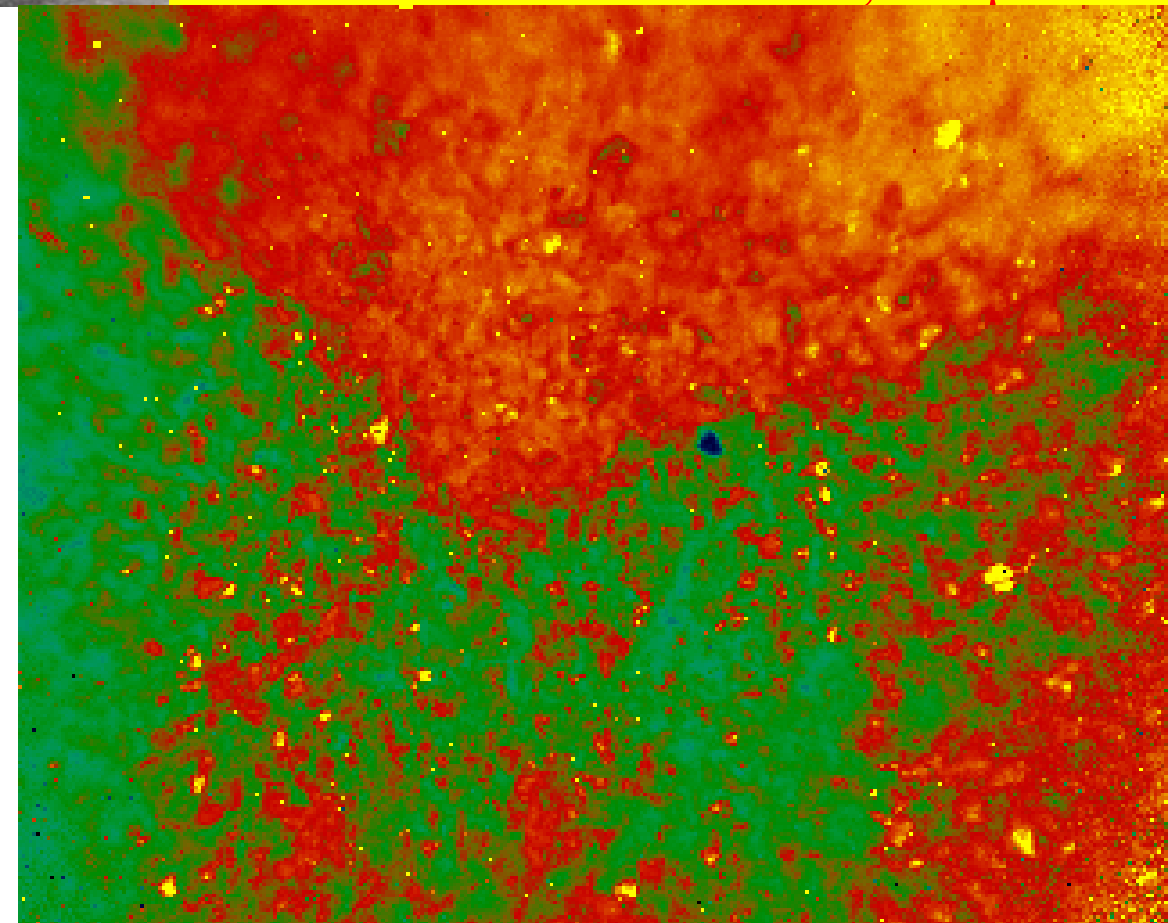
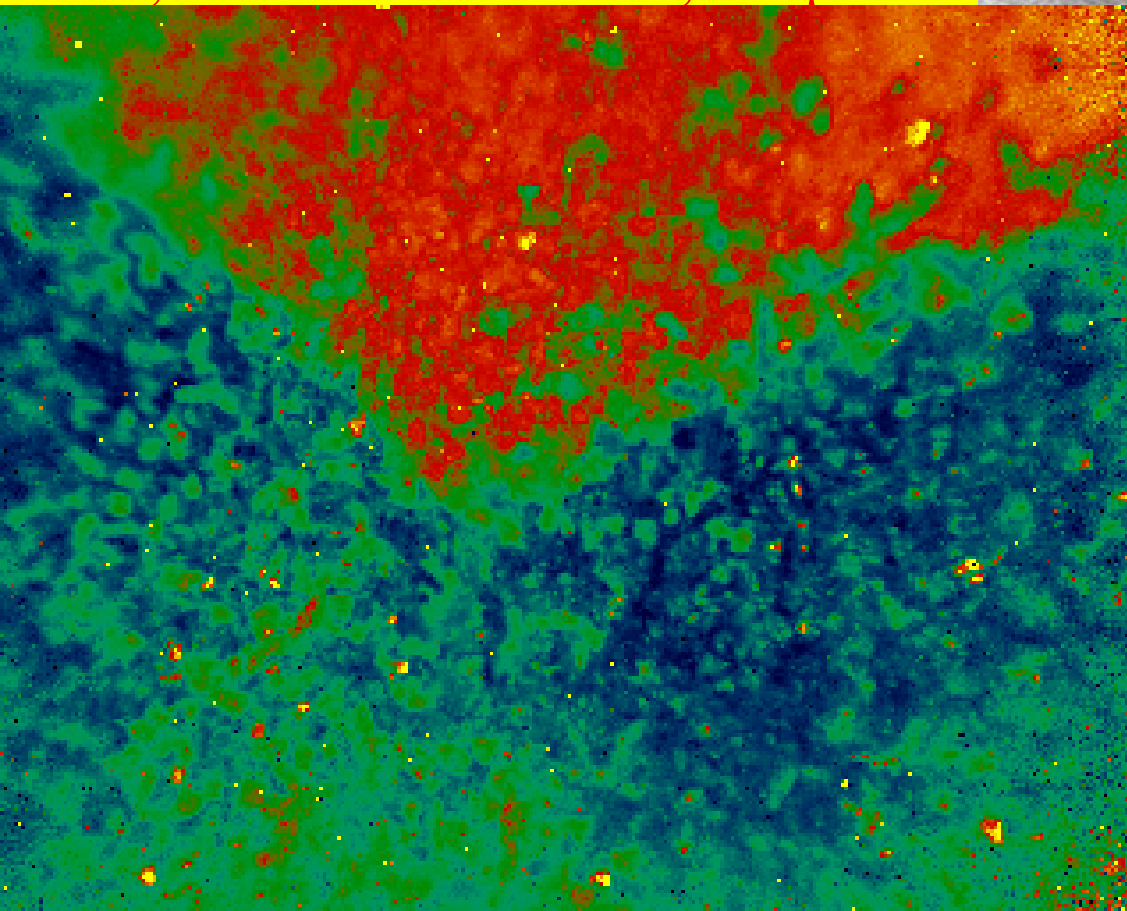


**Image 57**

42,1523 MHz  $\rightarrow \lambda = 2,088 \mu\text{m}$

**Image 81**

47.7265 MHz  $\rightarrow \lambda = 1,855 \mu\text{m}$





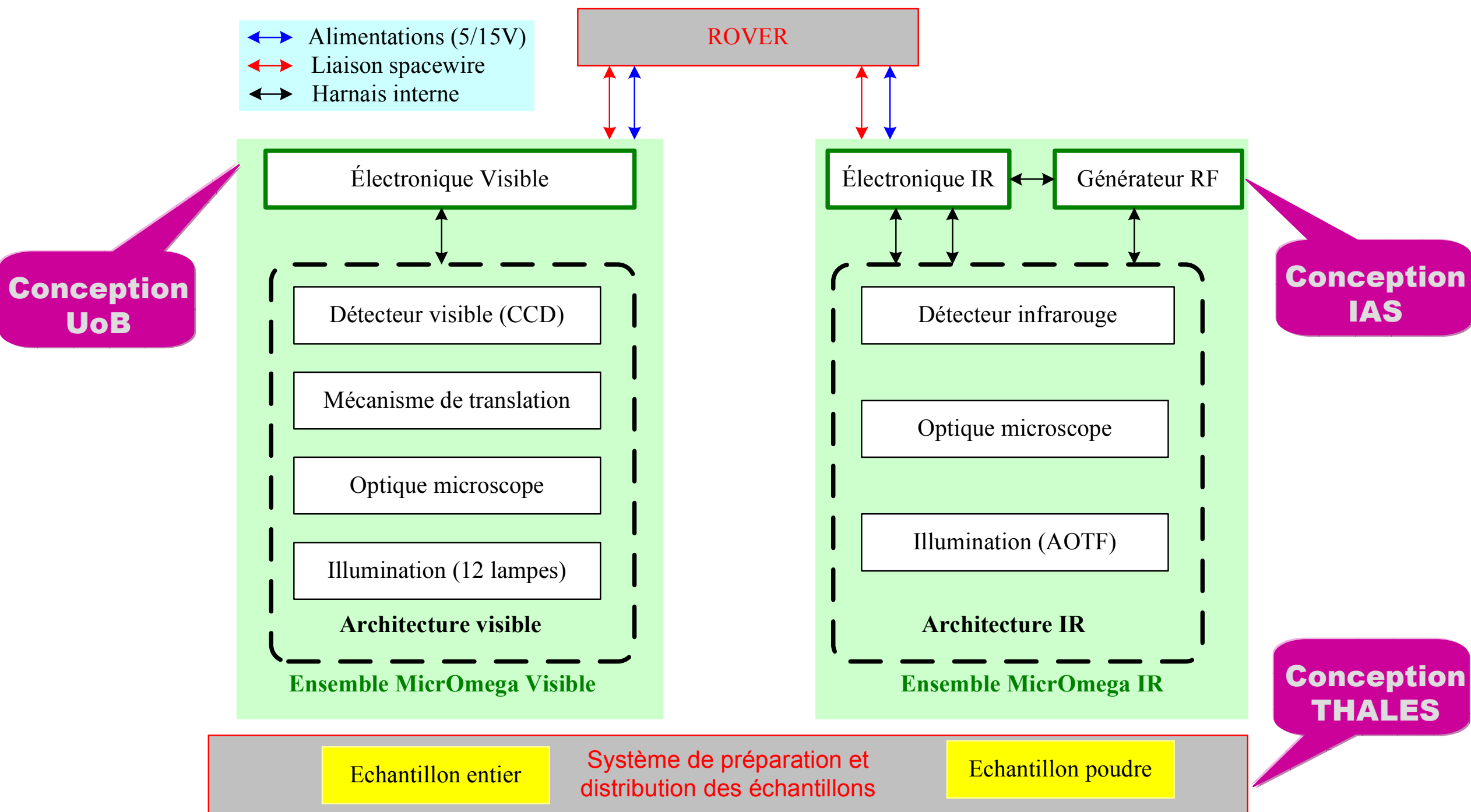
# AGENDA

- ✓ Que doit-on mesurer ?
- ✓ Avec quel instrument ?
- ✓ Que fait LabVIEW ?
- ✓ **Et la suite ?**



# Modèle de vol de MicrOmega IR

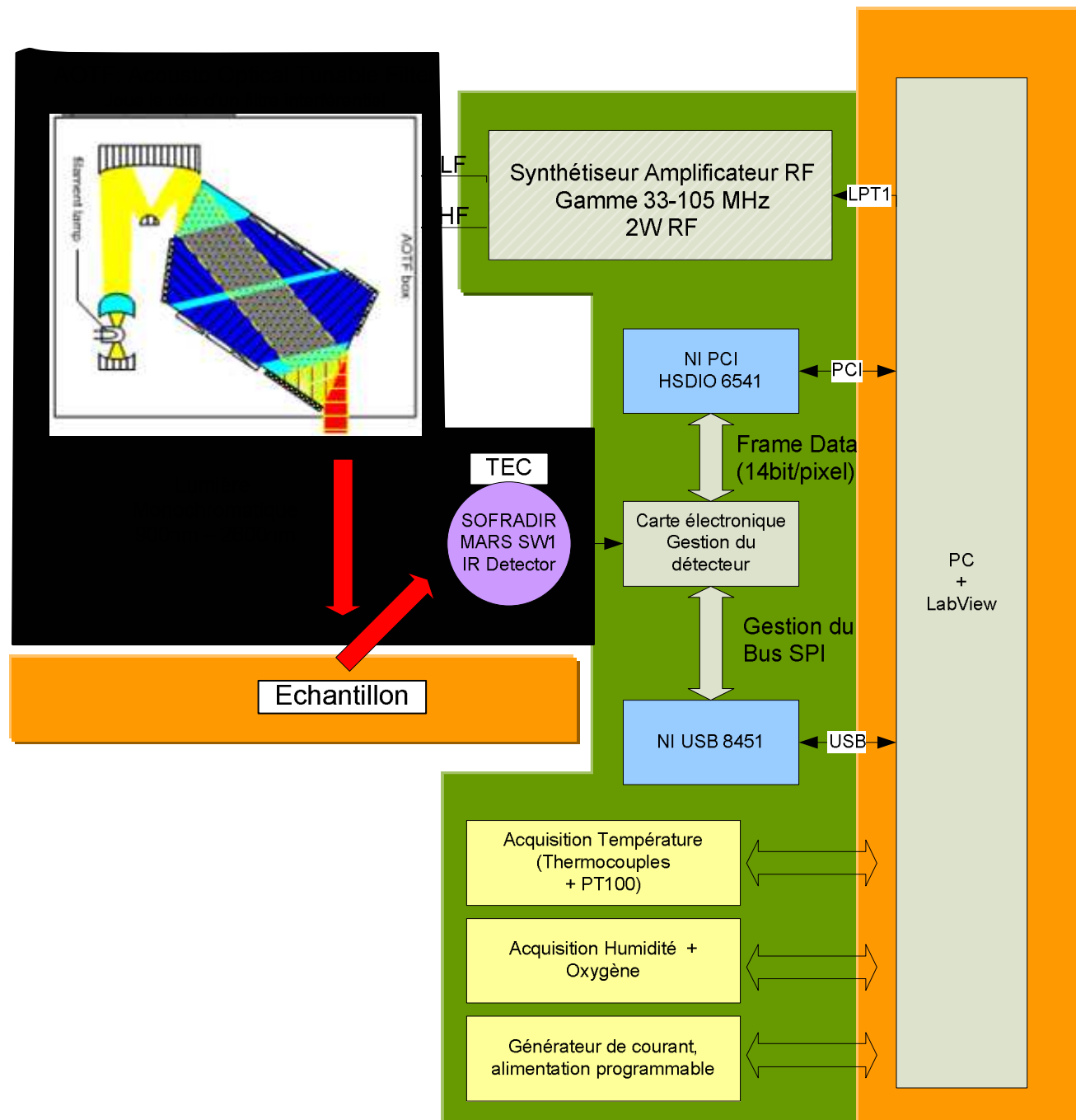
## Architecture fonctionnelle



# Maquette → Modèle de vol

## Instrument MicrOmega

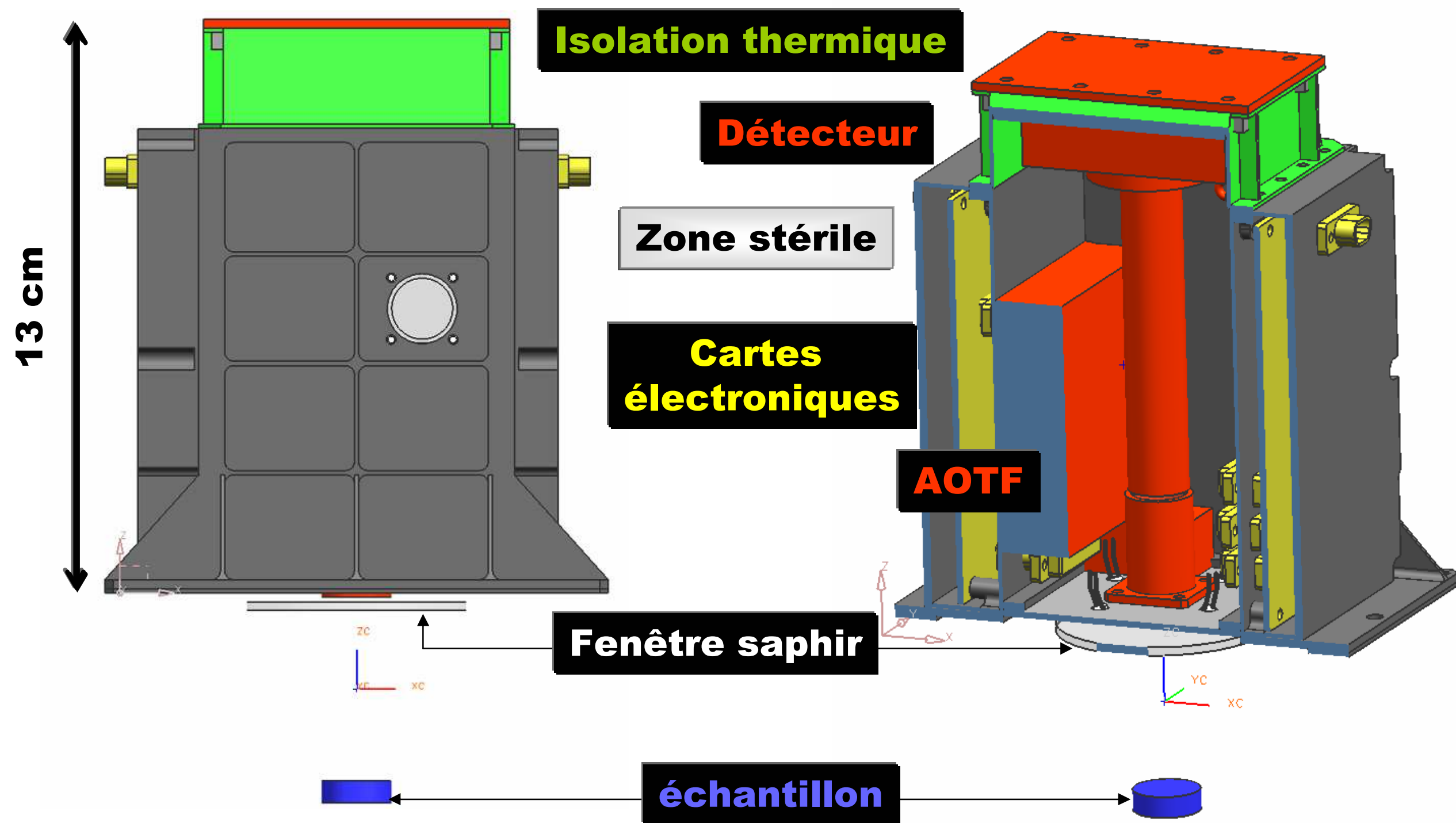
## Électronique MicrOmega



Rover



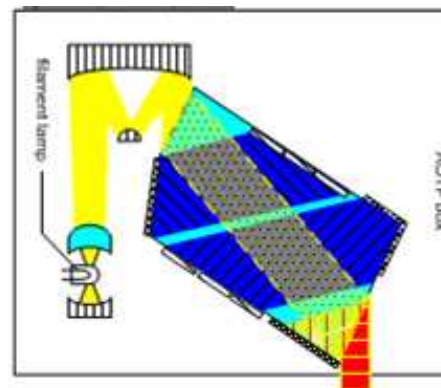
# MicrOmega IR : Modèle de vol



# Maquette → Modèle de tests

NI DAQ 9172

Électronique MicrOmega

AOTF: Acousto Optical Tunable Filter  
Joue le rôle d'un filtre interférentielLumière  
Monochromatique  
900nm – 2600nm

TEC

SOFRADIR  
MARS SW1  
IR Detector

Echantillon

Plateforme PC  
sous XP SP3**LabVIEW 8.5.2**  
NI-DAQmx 8.7.1f3  
NI-VISA 4.2  
NI-HSDIO 1.5.2.0  
**SpaceWire**

Carte PCI SpaceWire



Carte électronique - modèle spatialisable :

- Gestion des TC/TM par lien SpaceWire
- Génération signaux de commande du détecteur
- Gestion de l'illumination et signaux RF
- Gestion HK (T, U, I)

Communication par lien série SpaceWire  
2 à 200 Mbits/s

Norme ECSS E50-12A

European Corporation for Space Standardization

FUTURVIEW - 5 décembre 2008



## Jean-Pierre Bibring, scientifique coordinateur

### Management

- **Michel Berthé**, chef de projet
- **Sylvie Ardoin**, assistante projet
- **Frédéric Rouesnel**, chef système
- **Lionel Meslier**, chef assurance produit
- **Émeric Lefebvre**, assistant assurance produit
- **Aurore Masson**, assistante assurance produit
- **André Chardin**, chef AIT (Assemblage, Intégration, Test)

### Équipe technique

- **Corinne Evesque**, instrumentation
- **Ludovic Gonnod**, électronique
- **Vincent Lapeyrere**, instrumentation
- **Antoine Arondel**, mécanique
- **Thomas Breniere**, mécanique
- **Manou Chaigneau**, électronique
- **Bruno Crane**, mécanique
- **Vincent Hamm**, optique
- **Vaitua Leroi**, thésard