



# Prospectives IAS en spectro-imagerie pour les missions planétaires et solaires futures

Préparée par :

- François Poulet
- John Carter
- Cédric Pilorget
- Frédéric Auchère
- Benoit Lecomte
- Anne Philippon

Atelier CNES Détecteurs optoélectroniques pour applications scientifiques spatiales

*ISAE SUPAERO, 13/06/2024*



# Exemples de participations instrumentales envisagées : imagerie hyperspectrale VIS-IR

## Missions orbitales

ESA/HRE: Small lunar missions  
JAXA: Hayabusa3  
ESA/SCI: L4 (Enceladus orbiter)  
ESA/HRE: Mars low orbiter ?  
NASA: Uranus Orbiter Probe  
CNSA: Tianwen 3,4 ?

## Missions in situ

ESA/SCI: L4 (Enceladus Lander)  
NASA: Endurance ( $\mu$ LIBS/IRAP)  
NASA: New Frontier Ceres  
CNSA: Tianwen 3,4?

## Analyse en laboratoire

Ex: Activités curation via  
MicrOmega/MicrOmega+

2024

2030

2035

2040

Frise date lancement

Small lunar  
missions

Endurance  
Hayabusa3

UOP  
Ceres

L4

# Exemples de participations instrumentales envisagées : imagerie hyperspectrale VIS-IR

## Missions orbitales

ESA/HRE: Small lunar missions  
JAXA: Hayabusa3  
ESA/SCI: L4 (Enceladus orbiter)  
ESA/HRE: Mars low orbiter ?  
NASA: Uranus Orbiter Probe  
CNSA: Tianwen 3,4 ?

## Missions in situ

ESA/SCI: L4 (Enceladus Lander)  
NASA: Endurance ( $\mu$ LIBS/IRAP)  
NASA: New Frontier Ceres  
CNSA: Tianwen 3,4?

## Analyse en laboratoire

Ex: Activités curation via  
MicrOmega/MicrOmega+

2 concepts instrumentaux (LVF, AOTF)  
reposant sur la même chaîne de  
détection VIS→MWIR

Besoins : couplage ou non avec **machine cryo**, package **hermétique** ou non, besoins dans le visible ou non, flux attendus (architecture **DI** ou **CTIA**), taille des **matrices** typiques (Matrices > 1k orbiter, < 1K lander), détecteur courbe



# Exemples de participations instrumentales envisagées : imagerie hyperspectrale VIS-IR

## Missions orbitales

ESA/HRE: Small lunar missions  
JAXA: Hayabusa3  
ESA/SCI: L4 (Enceladus orbiter)  
ESA/HRE: Mars low orbiter ?  
NASA: Uranus Orbiter Probe  
CNSA: Tianwen 3,4 ?

## Missions in situ

ESA/SCI: L4 (Enceladus Lander)  
NASA: Endurance ( $\mu$ LIBS/IRAP)  
NASA: New Frontier Ceres  
CNSA: Tianwen 3,4?

## Analyse en laboratoire

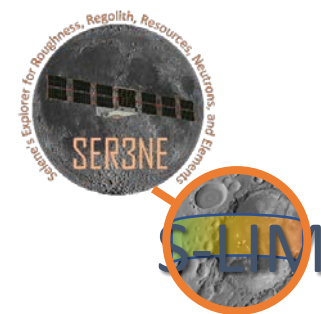
Ex: Activités curation via  
MicrOmega/MicrOmega+

2 concepts instrumentaux (LVF, AOTF)  
reposant sur la même chaîne de  
détection VIS→MWIR

Intérêt croissant aussi  
pour des concepts avec  
gamme spectrale  
**étendue vers le MIR**  
(organiques)

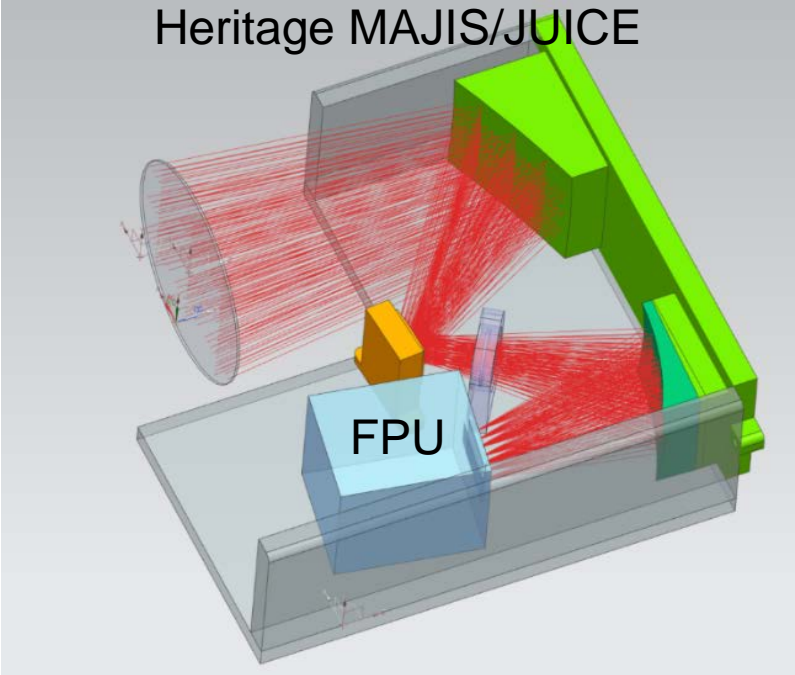
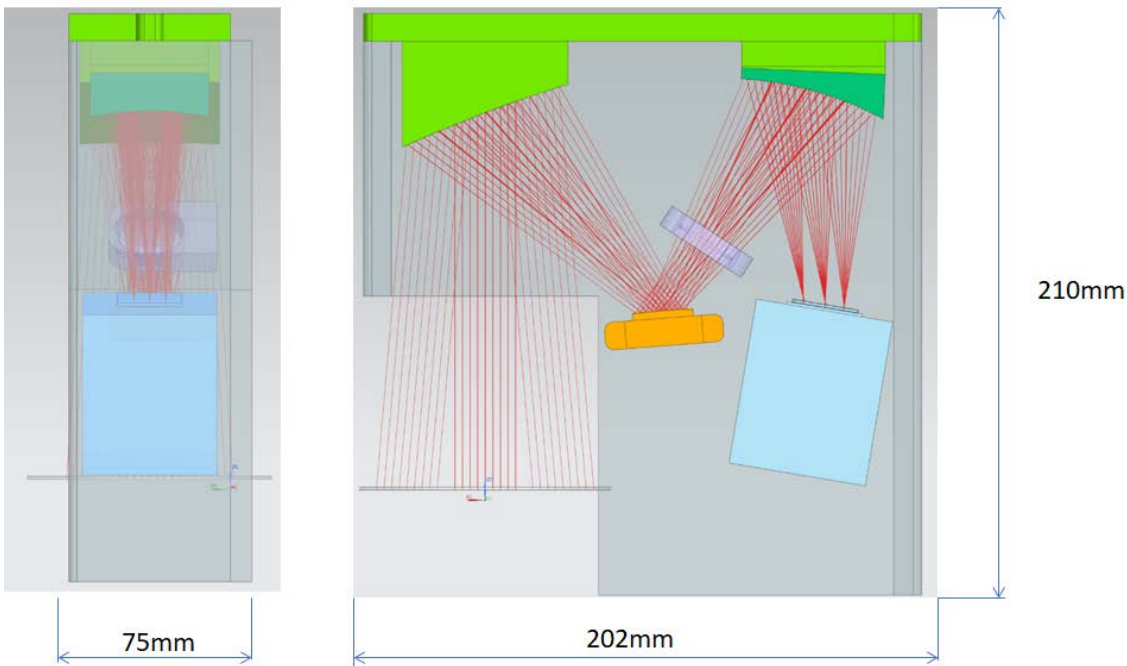
Besoins : couplage ou non avec **machine cryo**, package **hermétique** ou non, besoins dans le visible ou non, flux attendus (architecture **DI** ou **CTIA**), taille des **matrices** typiques (Matrices > 1k orbiter, < 1K lander), détecteur courbe

# Exemple 1: S-LIM or a Moons light spectrometer



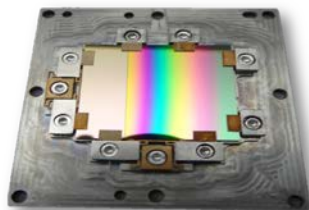
Current status: Pre-Phase A  
Development: ~2024-2029

## Telescope assembly (+COBRA-S)



LVF integrated on FPA package

LVF Filter



Focal plane array

Spectral FOV	9.1
Spatial FOV	6.8
Entrance pupil [mm]	22
EFFL [mm]	105
Mirrors	Freeform (1&3) Hyperb (2)

FPU Op T [K]	110-150
Pixel size [μm]	60x60 (binning)
Bandwidth [μm]	0.9 – 3.6 μm
Det FOV[pix]	250x250 (binning)

## Exemple 2: L4 Enceladus mission

Call payload : fin 2020s  
Development: ~2030-2038

Deux options:

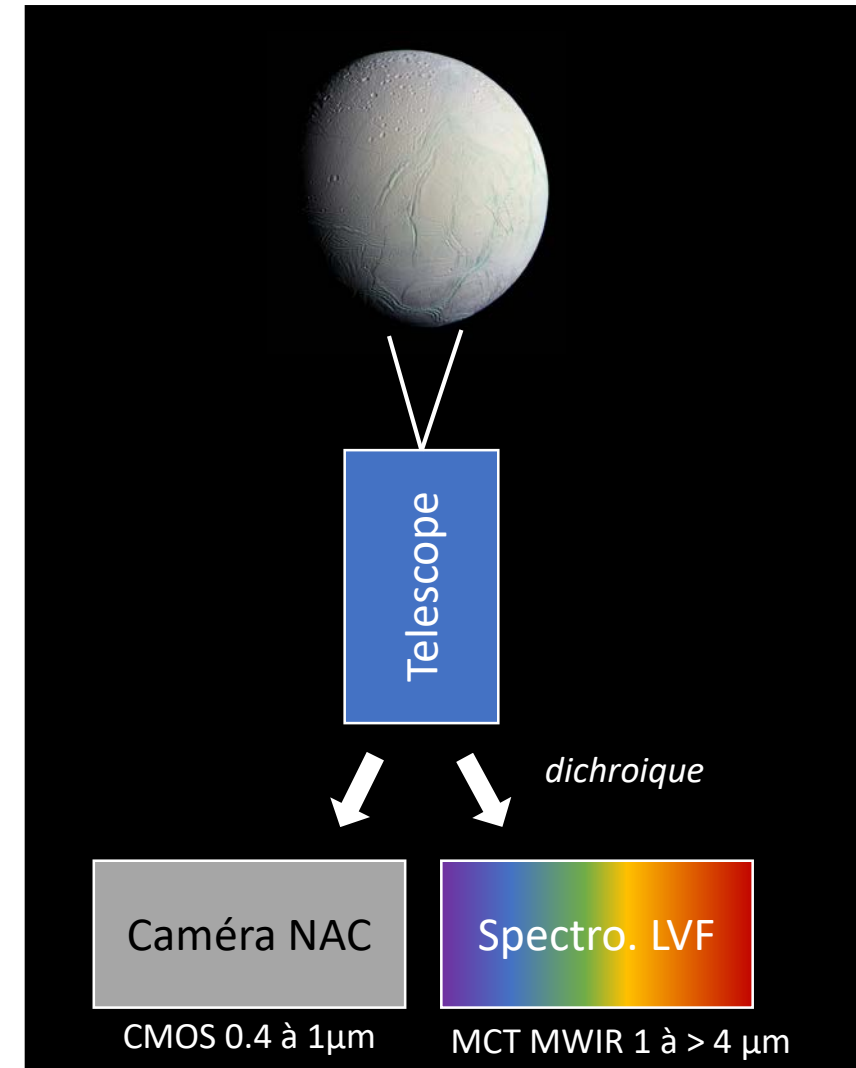
- **Orbiteur** : spectro-imageur IR (LVF) si possible en symbiose avec la caméra → *évolution instrument lunaire*
- **Lander**: spectro-imageur IR in-situ, évolution filière MicrOmega avec plus grande longueur d'onde de coupure et/ou FTIR

Température d'équilibre à Saturne ~80K : refroidissement passif possible

Hybridation côte à côte CMOS VIS et MCT MWIR ?

Intégration LVF au contact du MCT

Miniaturisation recommandée

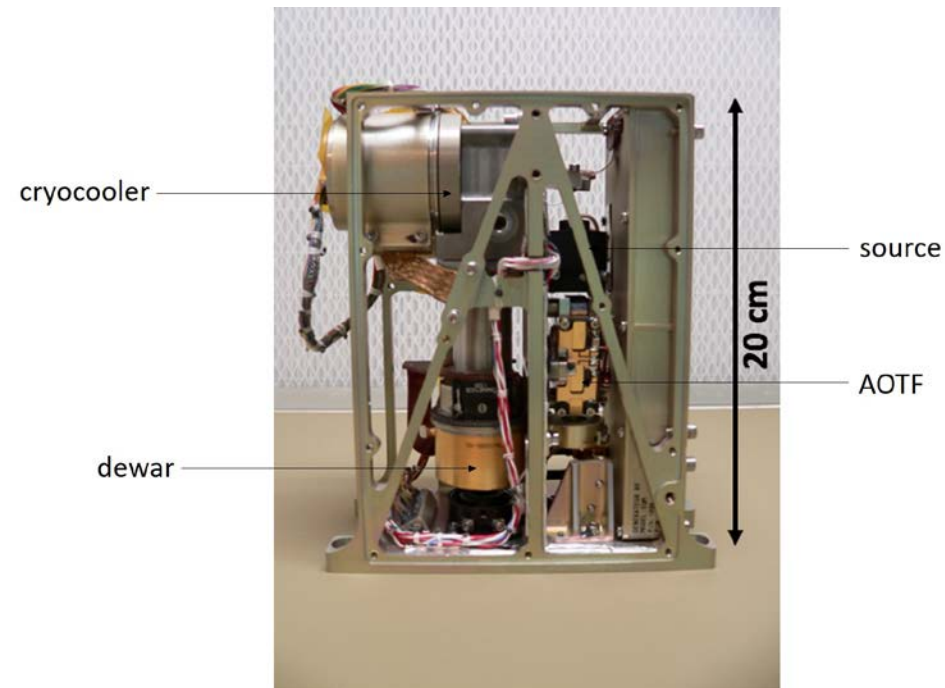




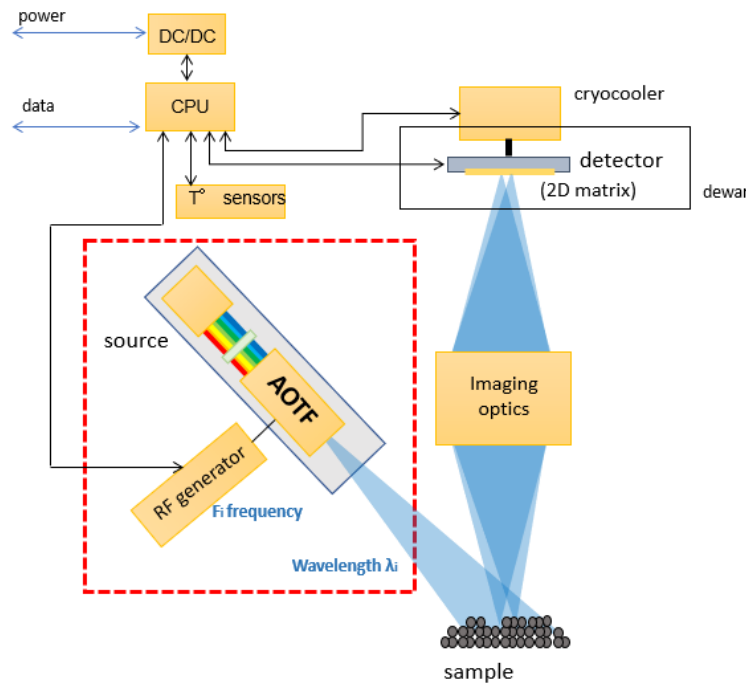
## Exemple 3: MicrOmega / MacrOmega (AOTF based imaging spectrometers)

Réalisations :

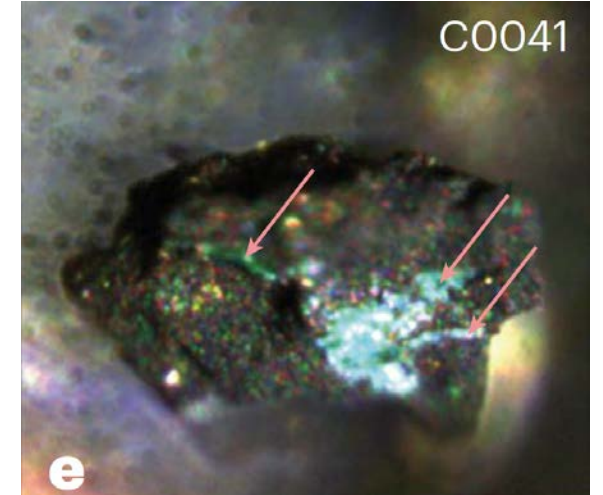
- Hayabusa2 / MASCOT
- Hayabusa2 / Curation Facility
- ExoMars rover



EQM MicrOmega/ExoMars



Concept MicrOmega



Inclusions de carbonates (en bleu/vert) dans un grain de l'astéroïde Ryugu (diamètre ~2 mm)

Futurs développements :

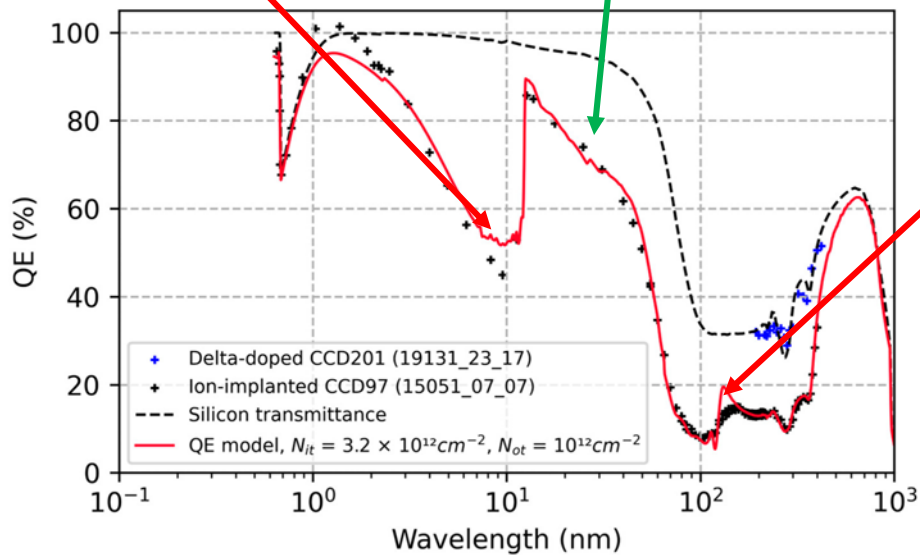
- Neptune → Cobra (autres ?)
- Evolution du cryocooler (RM3, micro-cryocooler ?)
- Développement traitements à bord (binning multi-échelles, extraction de zones d'intérêt, etc.)

Très utilisé en physique solaire, mais intérêt fort aussi en physique stellaire

Gamme de longueur d'ondes typique: 9 – 130 nm

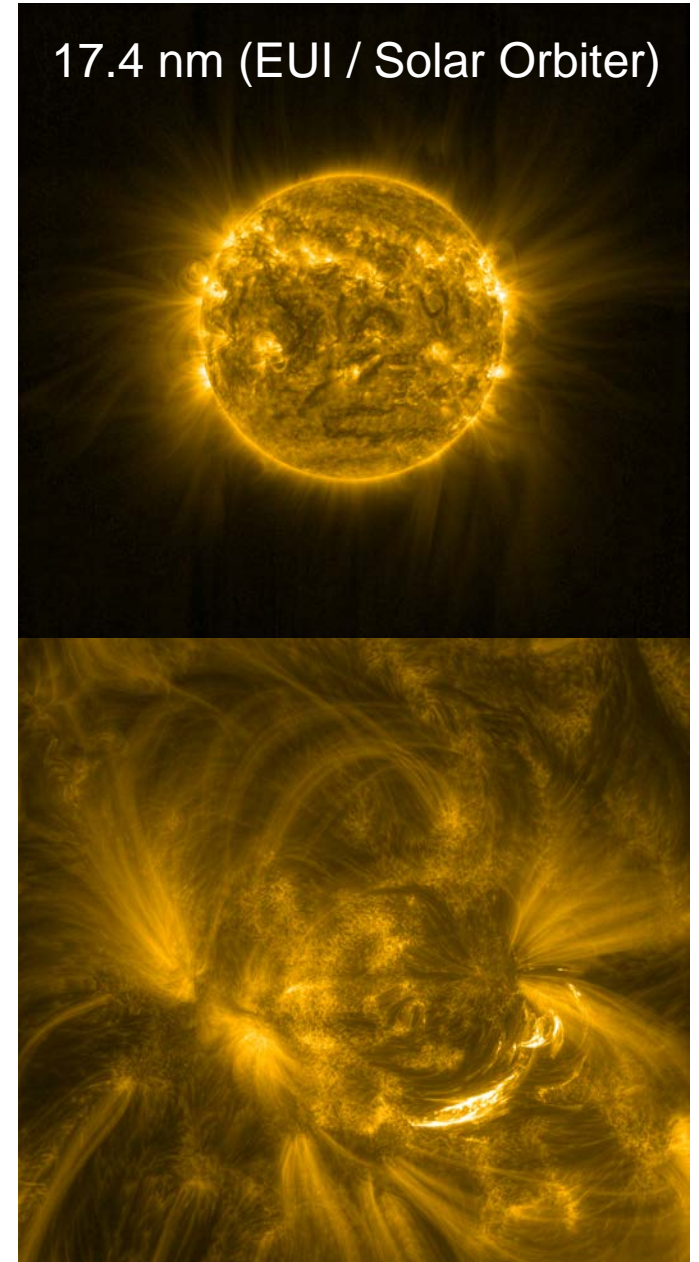
Raies d'émission (liste non exhaustive)

9, 13, 17, 19, 21, 28, 30, 33, 46, 103, 121 nm

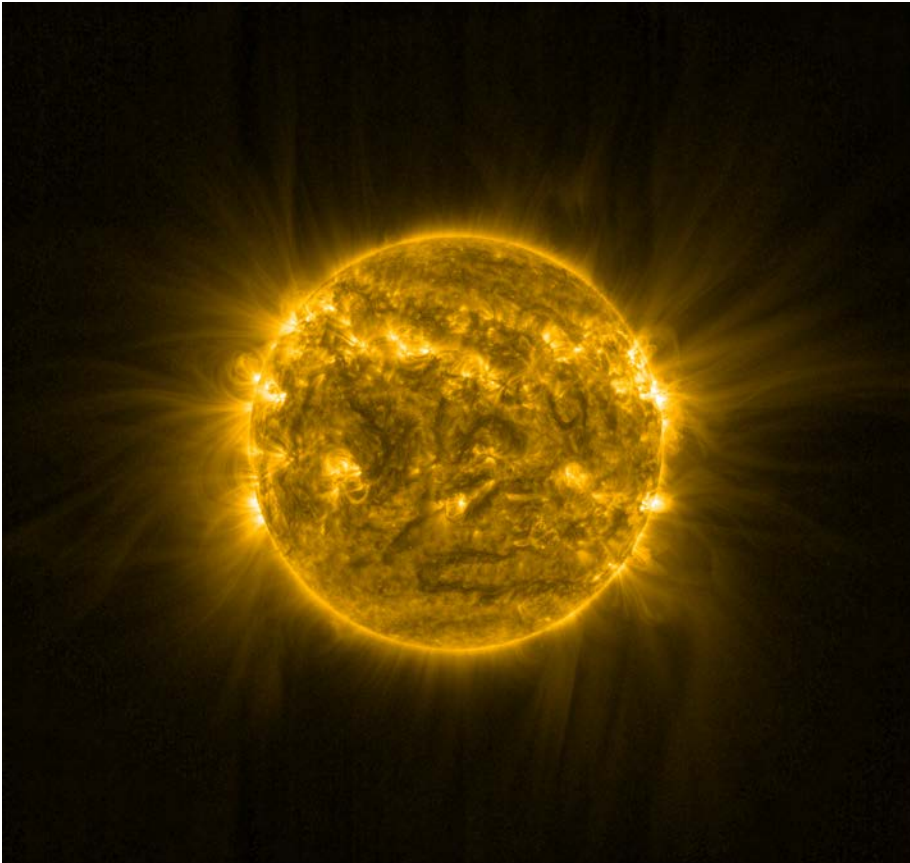


- Besoin de QE amélioré autour de 121 nm (Lyman  $\alpha$ )
- Solutions à intensificateur ont de mauvaises MTF

17.4 nm (EUI / Solar Orbiter)







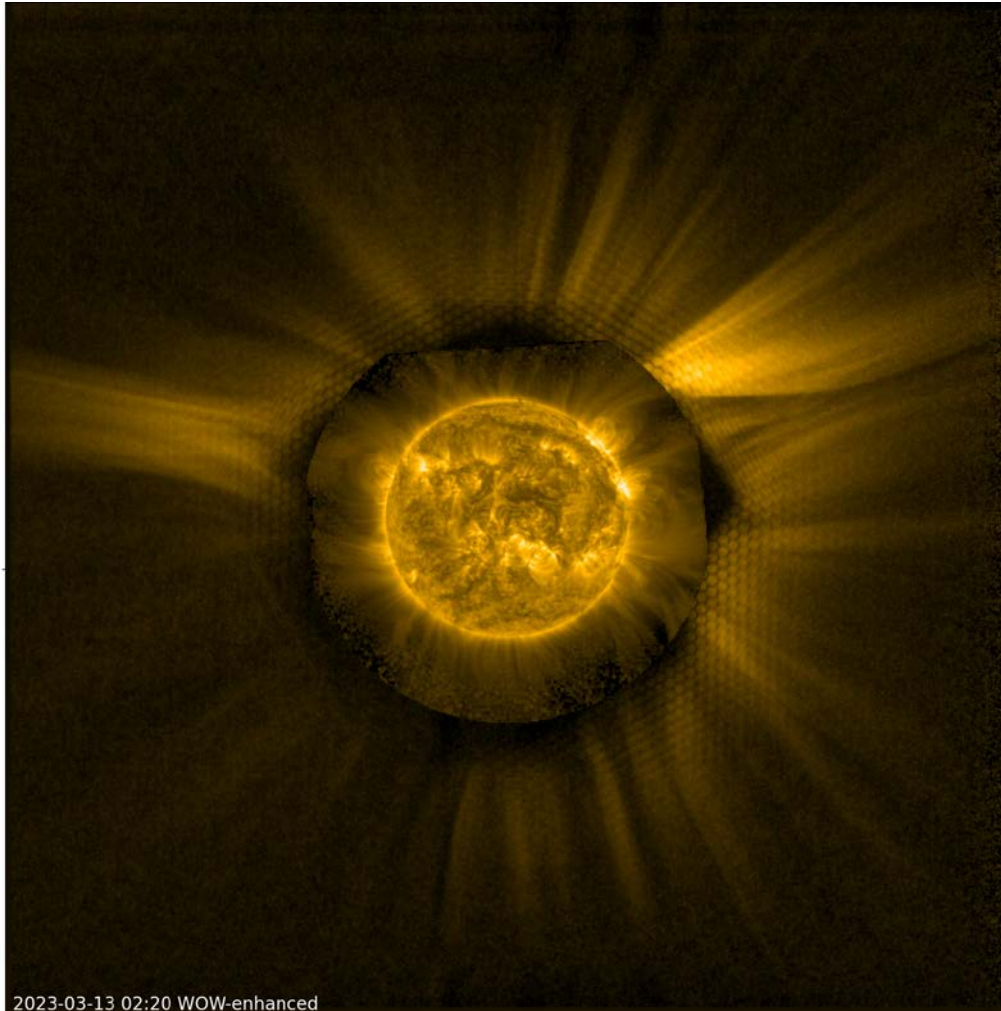
Très grande dynamique dans les scènes observées:  
15 bits ou plus

Solar Orbiter: 12 bits natifs, deux gains différents,  
combinés à bord pour reconstruire du 15 bits.  
Fonctionne mais très lourd et étalonnage complexe

Besoin de full well > 100 000 e-

et/ ou

Compensation de la dynamique par des temps de  
pose différent par pixel (besoin de vraie capacité de  
pixel actif pour les CMOS)



Imagerie grand champ (plusieurs degrés)

Schémas optiques limités par  
le nombre d'optiques (efficacité dans l'UV)  
la planéité des détecteurs

Des plans focaux courbes permettraient des  
designs plus compacts et / ou des gains  
d'efficacité

Besoin de grand formats > 16 Mpix