

NanoCarb-21 : suivi journalier de la concentration des gaz à effet de serre par spectro-imagerie à transformée de Fourier ultra-compacte

S. Gousset, E. Le Coarer, N. Guerineau

Colloque SFPT-GH Mai 2016 Grenoble



Sommaire

suivre et étudier les émissions de gaz à effet de serre

NanoCARB-21 : une flotte de nanosatellites pour un suivi journalier des concentrations en CO₂ et CH₄

Développement d'un spectro-imageur miniaturisé

Etude de sensibilité préliminaire

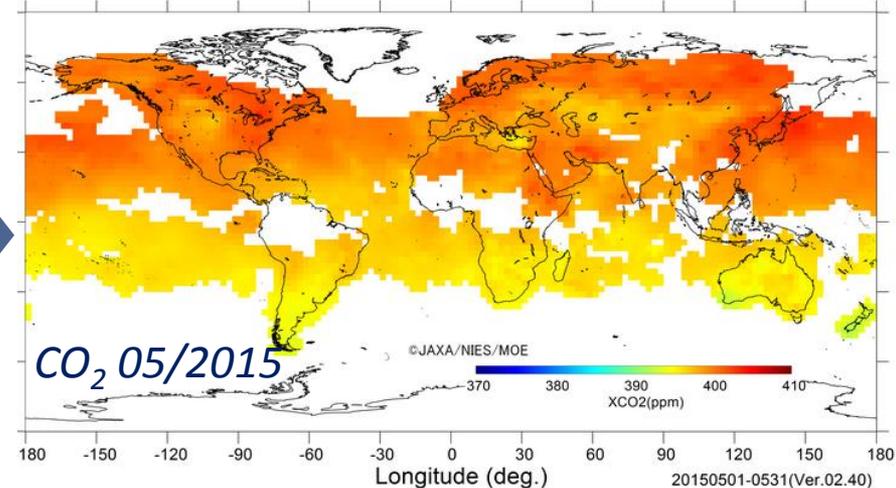
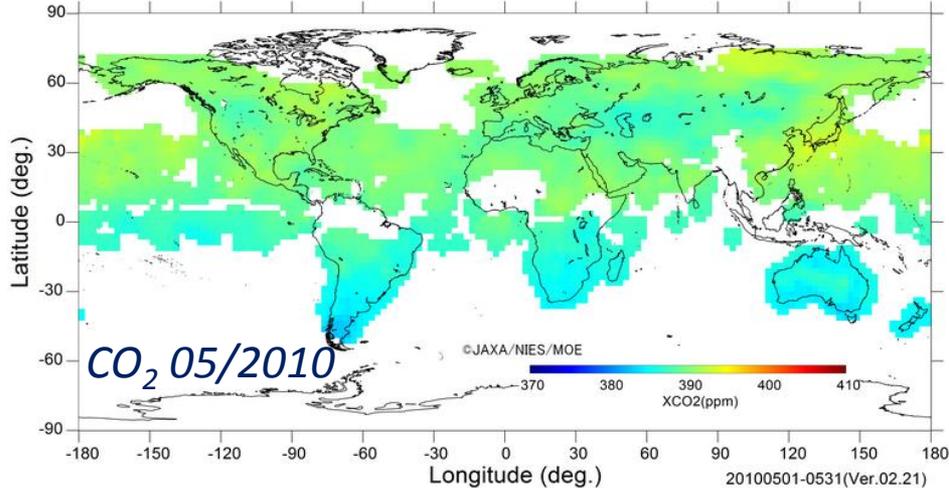
Conclusion

Cartographier la concentration des gaz à effet de serre à la surface de la Terre

Croissance des émissions anthropiques de CO_2 et CH_4

➤ Perturbation des cycles géophysiques naturels

[GOSAT – JAXA]



Enjeux scientifiques : mécanismes
captation/émission, flux

Enjeux sociétaux : surveillance,
contrôle/régulation des émissions

Grande dynamique d'observation
Spatiale : locale (ville, forêt, volcan)
-> régionale -> globale
Temporelle : **jour** (cycle forêt,
dégazage) -> année

Développement d'un réseau d'observation spatial pour le contrôle des émissions de CO₂/CH₄

GOSAT [JAXA] – 2009

- 1750kg
- FTS nIR résolution spatiale 1km, 56000 points de mesure à la surface du globe, revisite en 3j

MicroCARB [CNES] – 2020

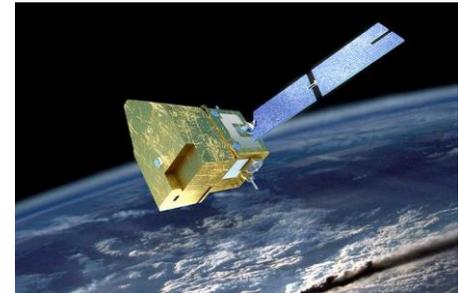
- Plateforme Myriade (~200-300kg) payload 80kg
- Spectromètre à réseau nIR

OCO-2 [NASA] - 2014

- 450kg, revisite en 16j

Tansat [Chine] – 2016

- ~500kg, revisite en 16j



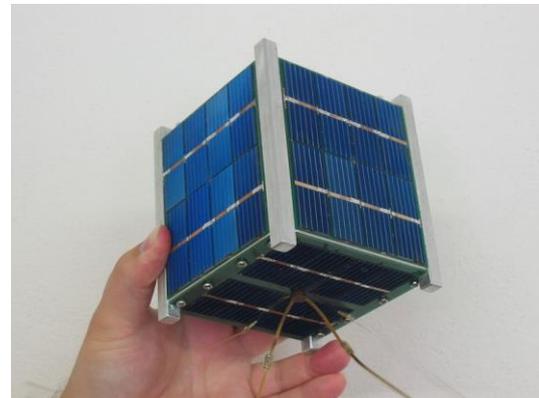
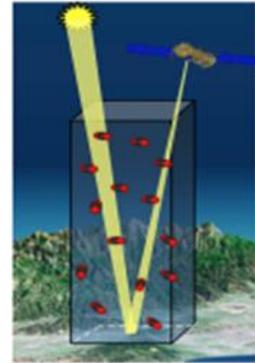
Coordination des observations et des flux de données



Lancement du nombre suffisant de satellite : complexité, coût

NanoCARB-21 : des nanosats pour une revisite journalière de la Terre

- Une flotte de **21 nanosats** supplée à MicroCARB
- Intégration d'un **spectro-imageur** pour augmenter la fauchée et le nombre de points de mesure
- 21 orbites héliosynchrones espacées de 5min => **revisite journalière**
- Observation de la lumière réfléchiée par la Terre au Nadir
- Fauchée 150km, résolution spatiale au sol 3km



Plateforme nanosat 1U
=[1kg, 1L, 1W]
=10x10x10cm³

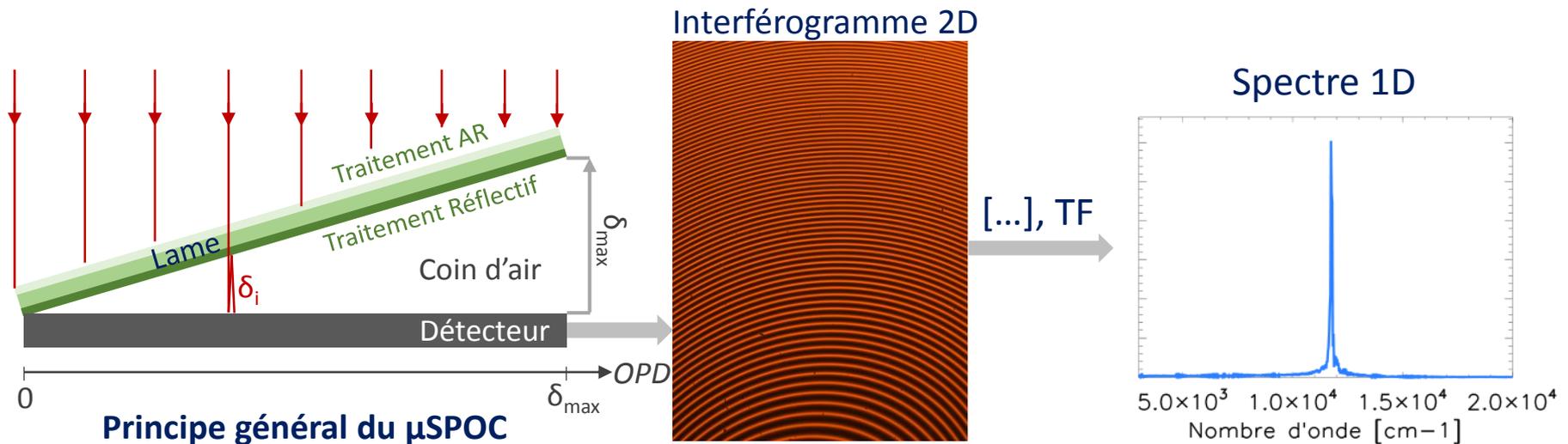
Centre
Spatial
Universitaire
de Grenoble



Miniaturisation de la payload
Développement d'un spectro-imageur
nIR <300g (~)

Micro-Spectro On Chip

- Famille de spectromètres compacts à transformée de Fourier intégrés sur le détecteur <100g, ~10-100cm³

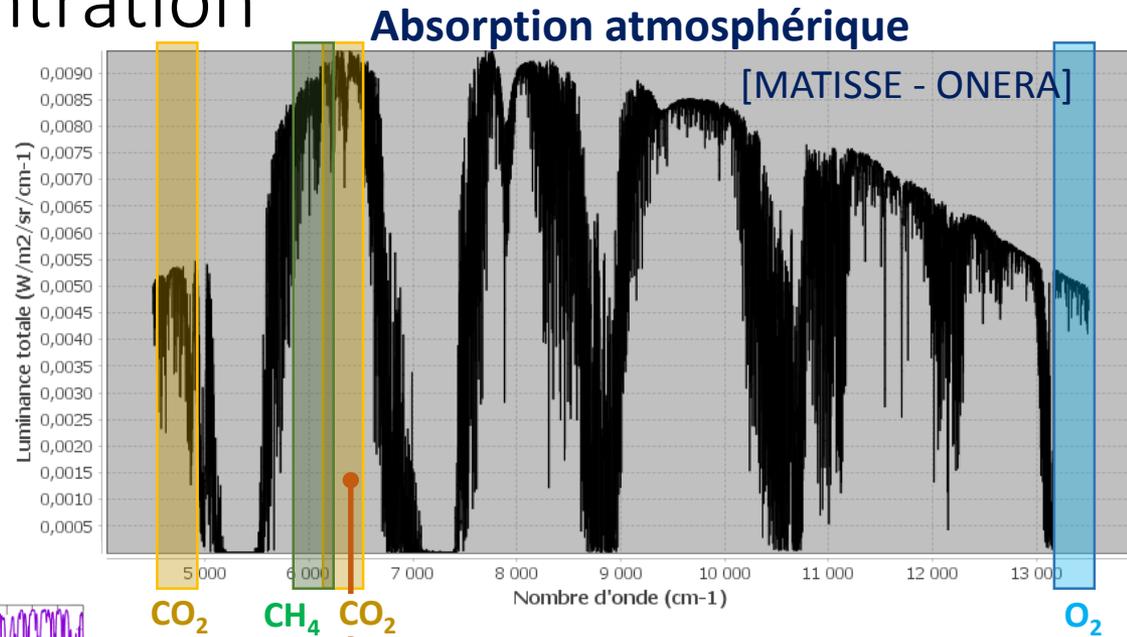
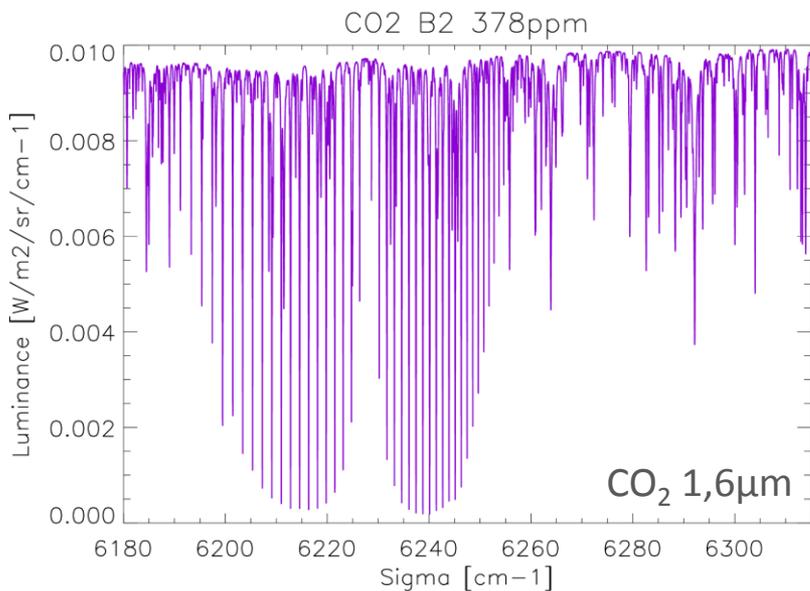


➡ Mise en œuvre en spectro-imagerie embarquée (Nanosat, drone, ...)

Mesurer la concentration de CO₂/CH₄

Raies d'absorption

- XCO₂ => profondeur
- Résolution 0,2cm⁻¹
- R~30000



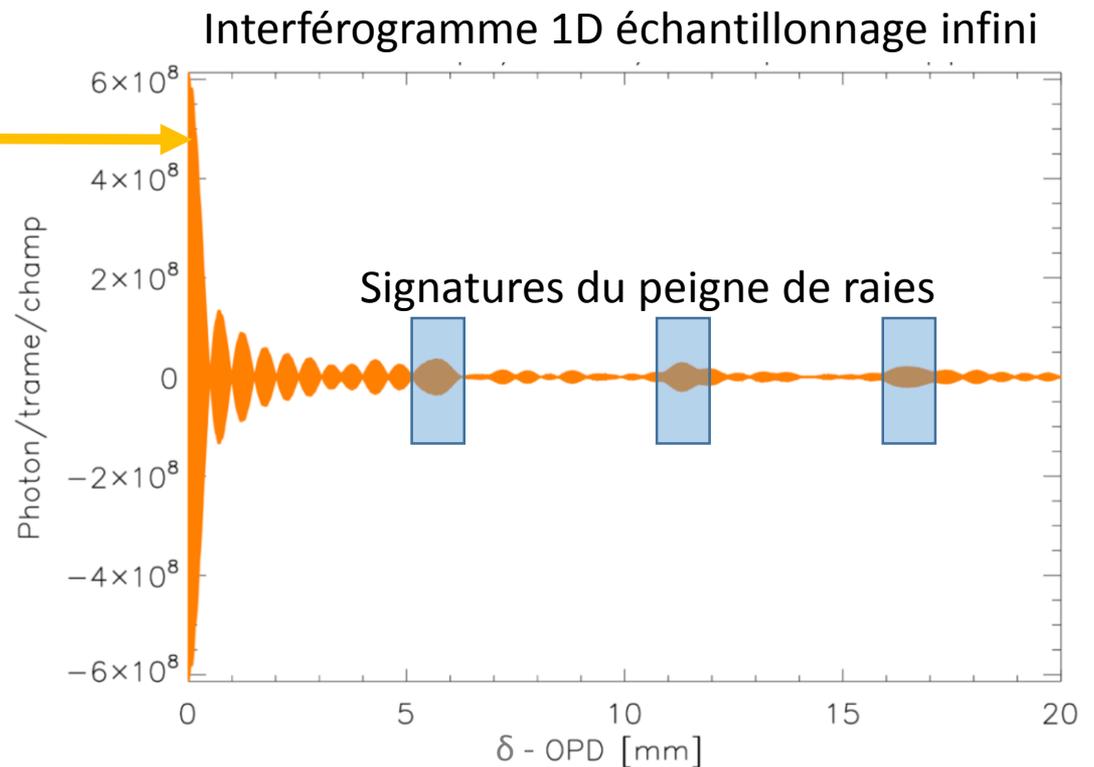
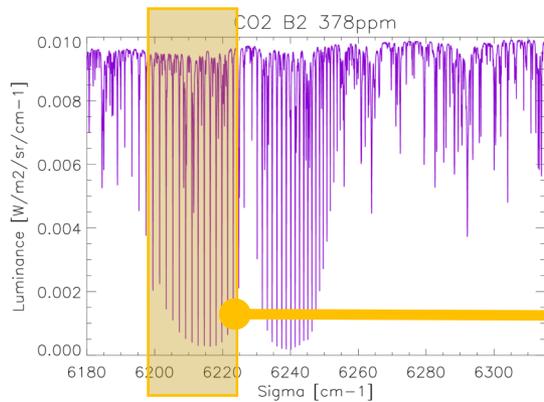
Sensibilité requise :

- CO₂ : ~1ppm, CH₄ : ~10ppb

Biais sur la ligne de visée, biais géophysiques

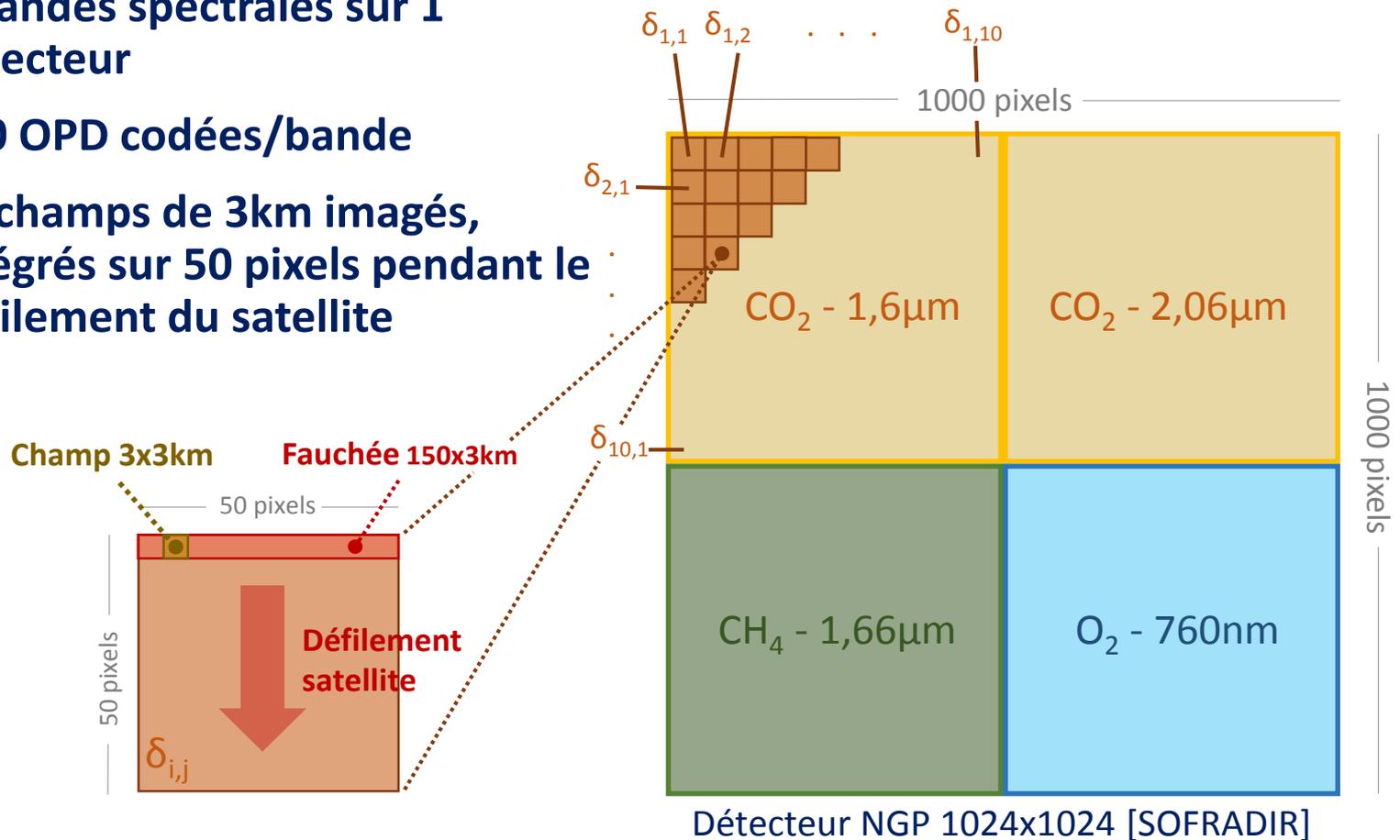
- Altitude => mesure de la pression (O₂)
- Aérosols, humidité => signatures spectrales
- Couverture nuageuse

Spectro-imageur μ SPOC : échantillonnage de l'interférogramme aux OPD d'intérêt



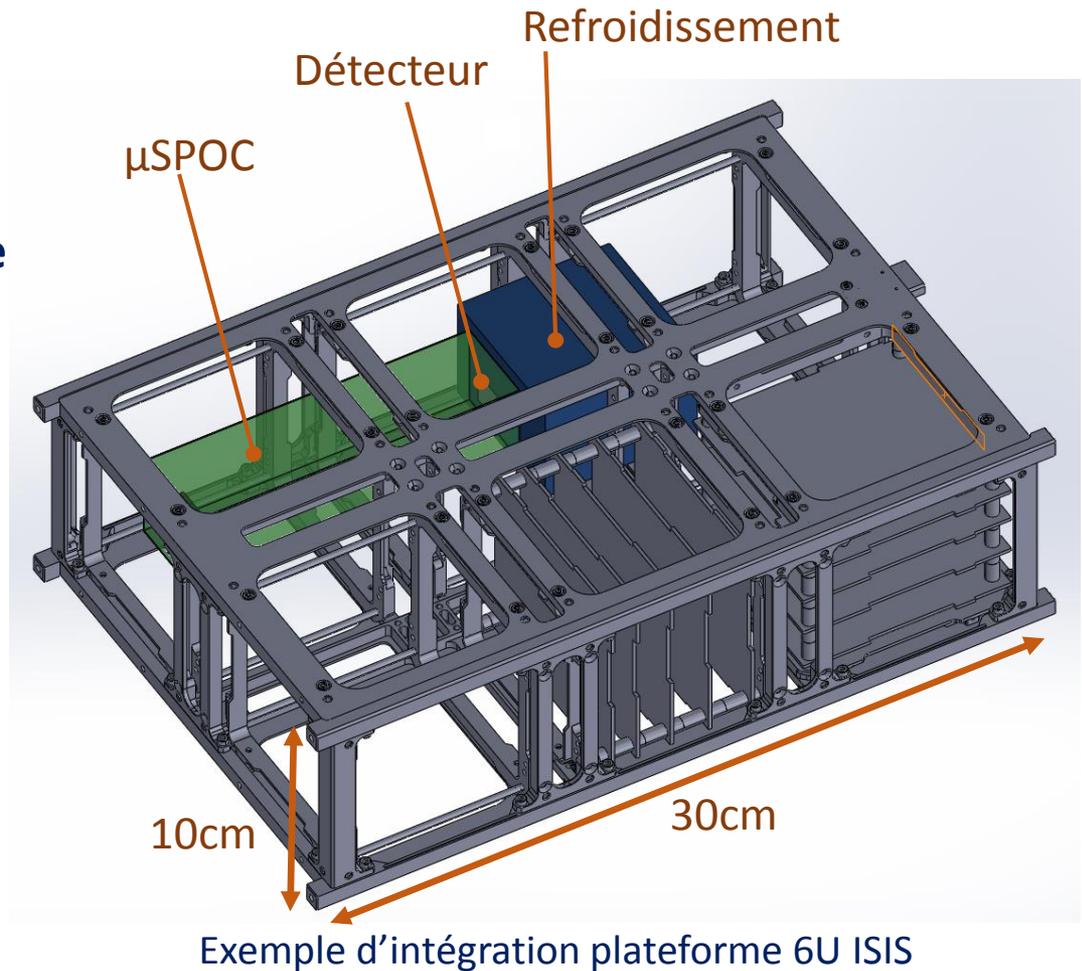
Spectro-imageur μ SPOC : présentation de l'instrument

- 4 bandes spectrales sur 1 détecteur
- 100 OPD codées/bande
- 50 champs de 3km imagés, intégrés sur 50 pixels pendant le défilement du satellite



Spectro-imageur μ SPOC : présentation de l'instrument

- 4 bandes spectrales sur 1 détecteur
- **Télescope $d_{\text{obj}}=3\text{mm}/\text{bande}$
 $f=10\text{mm}$**
- **Avec télescopes : 208cm^3
 \Rightarrow Nanosat 6U**

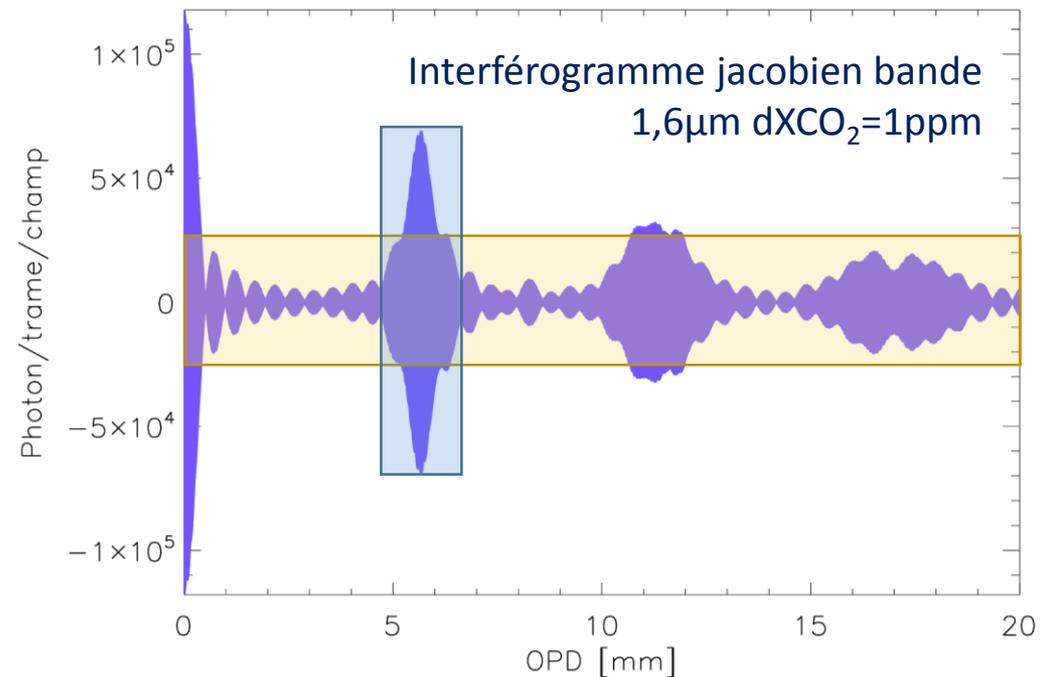


Etude de sensibilité préliminaire

Etude d'interférogrammes « jacobiens » => différentiel de concentration

- Maximisation du contraste N_{jmax} pour les OPD d'intérêt
- Définition d'un RSB Jacobien/bruit photon+détecteur
- Bilan de flux/scénarios N_{photon}

$$SNR_{1ppm} = \frac{n_{pix} n_{plage} N_{jmax}}{\sqrt{n_{pix} n_{plage} N_{photon} + n_{pix} n_{plage} \sigma_{RON}^2}}$$



Etude de sensibilité préliminaire

Maximisation du RSB

- Optimisation de la bande spectrale
- @1,6 μm : bande de 20 cm^{-1} optimale

Résultats pour la mesure de concentration de CO_2 à 1,6 μm :

Eclairement	RSB 1ppm
$L_{min}=4.9$	0,62
$L_{moy}=13.1$	1.12
$L_{max}=41.6$	2,11

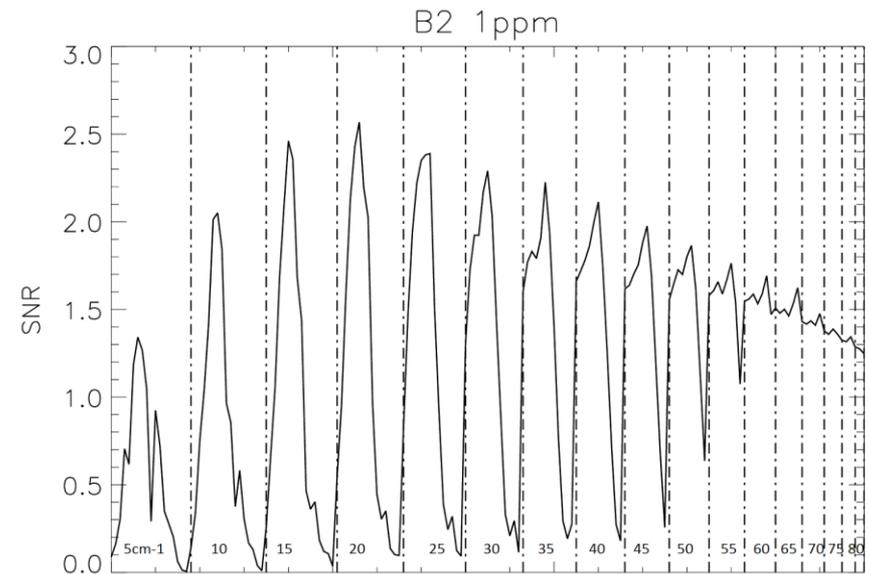


Figure de mérite pour la maximisation du contraste jacobien



μSPOC sensible à des variations de 1ppm de CO_2

Etude de sensibilité : pour la suite

Prise en compte des biais géophysiques => aérosols

- Optimisation de l'échantillonnage de l'interférogramme (mesure d'effets de diffusion dans le spectre, saturation/non saturation des raies, ...)

Mise en œuvre de la Phase 0 de la mission NanoCARB

- Etude des biais thermiques
- Stabilité de l'orbite/pointage

Conclusion

Développement d'un spectro-imageur ultra-compact pour une nouvelle génération d'instruments spatiaux

Sensibilité instrumentale de NanoCARB comparable à celle de MicroCARB

Mise en œuvre de spectro-imageur SPOC embarqués : drones, applicables à d'autres thématiques (végétation, ...)

Merci de votre attention !