

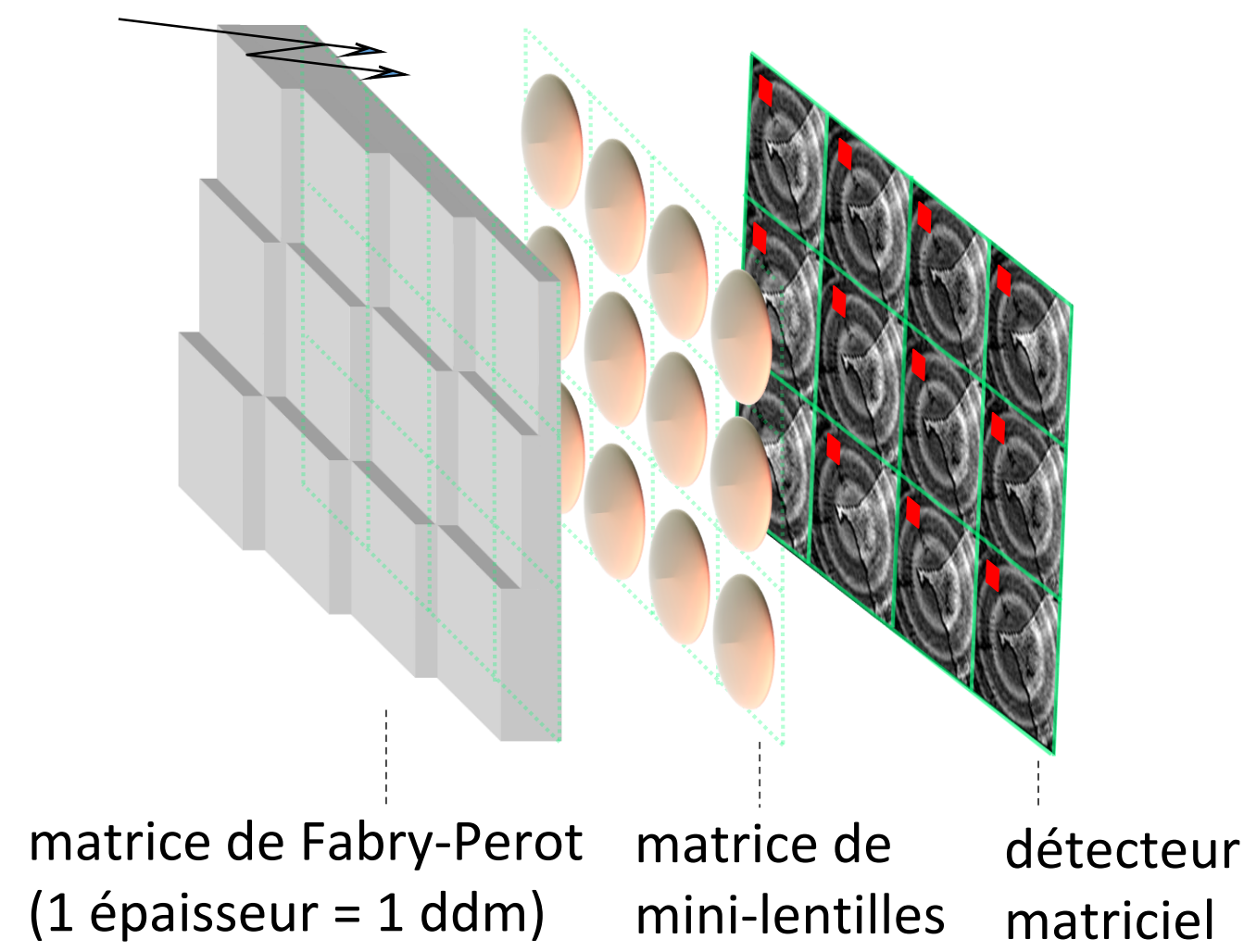
Nanocarb et le projet H2020 Scarbo : un sondeur atmosphérique compact pour la mesure de CO₂ et CH₄

yann.ferrec@onera.fr

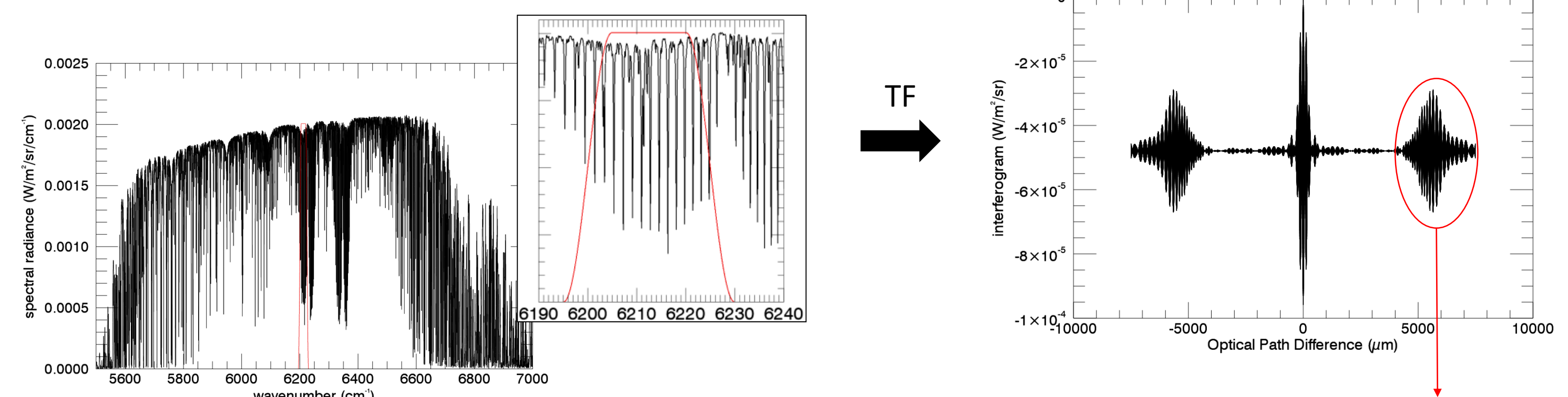
Le concept Nanocarb [1,2]

Une matrice d'interféromètres de Fabry-Perot à faible finesse :

- faible finesse \Rightarrow interféromètre à deux ondes (transformée de Fourier)
- matrice \Rightarrow spectro-imageur « snapshot »



Des interférogrammes parcellaires pour ne mesurer que l'information la plus utile (si signature périodique) :
 \Rightarrow une haute résolution spectrale avec peu de points de mesure
 \Rightarrow un rapport signal à bruit amélioré par rapport à un interférogramme complet

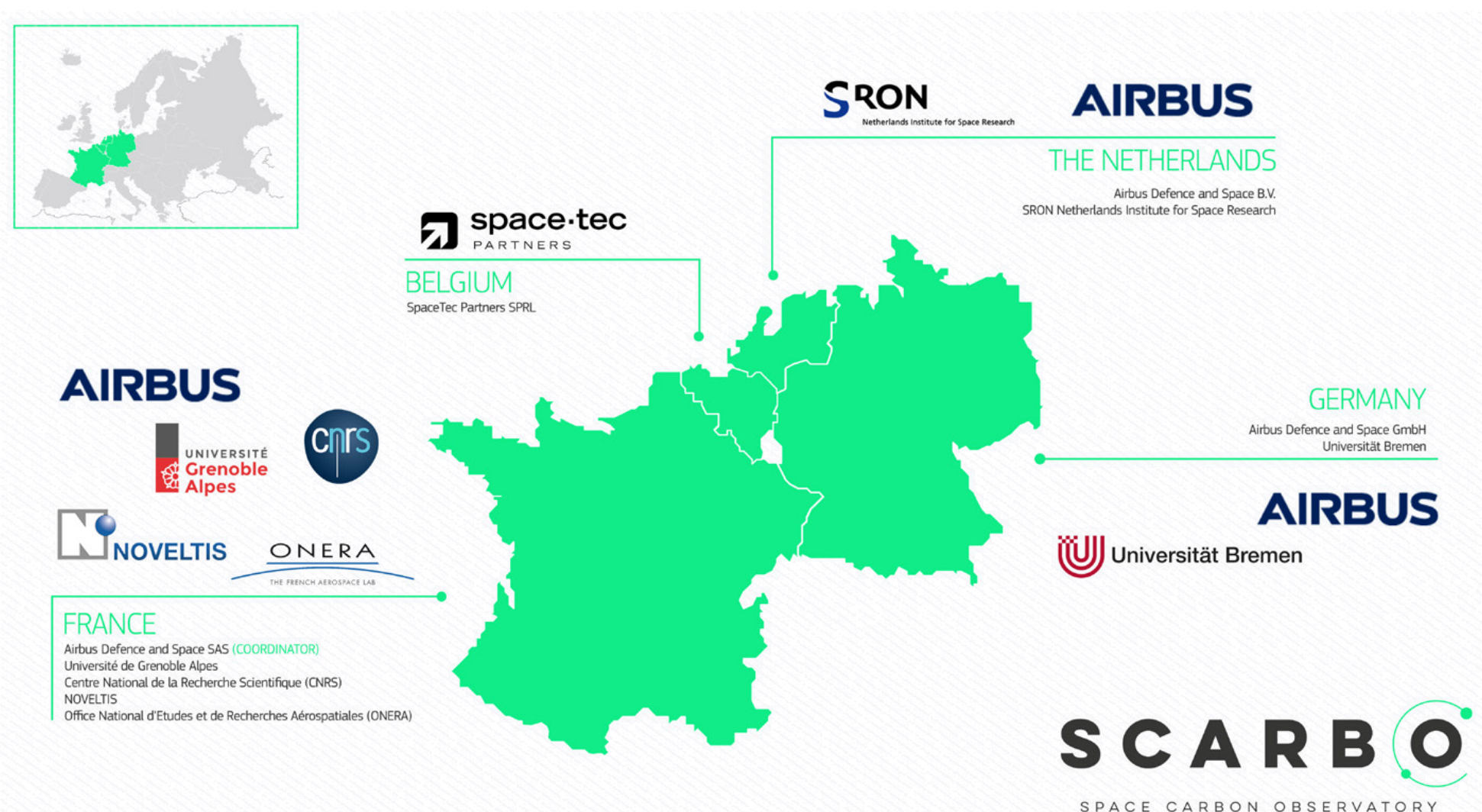


l'information est concentrée à quelques différences de marche

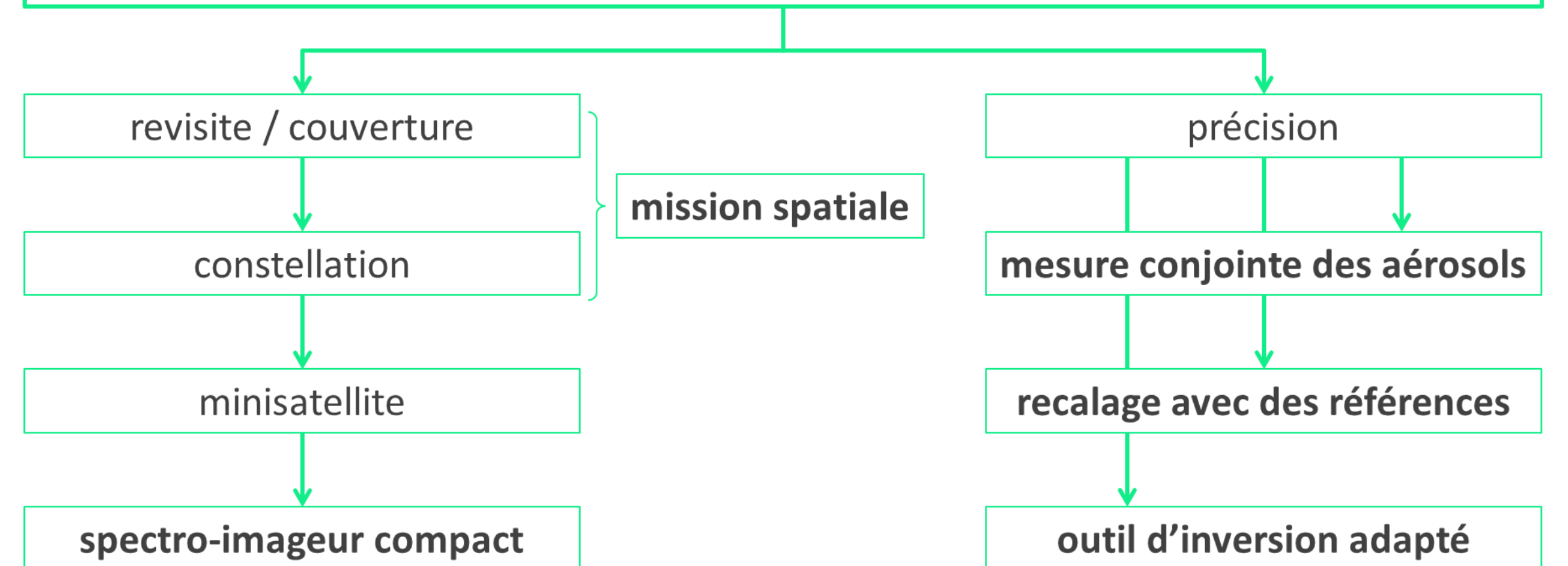
Le projet H2020 Scarbo (2018-2021) [3]

Appel à projets (novembre 2016 - février 2017) :

- montée en TRL de nouveaux concepts de mission d'observation de la Terre
- tirant parti des nano/mini satellites
- en complémentarité avec l'existant



mesurer les sources et puits anthropiques / les flux des gaz à effet de serre (CO₂, CH₄)



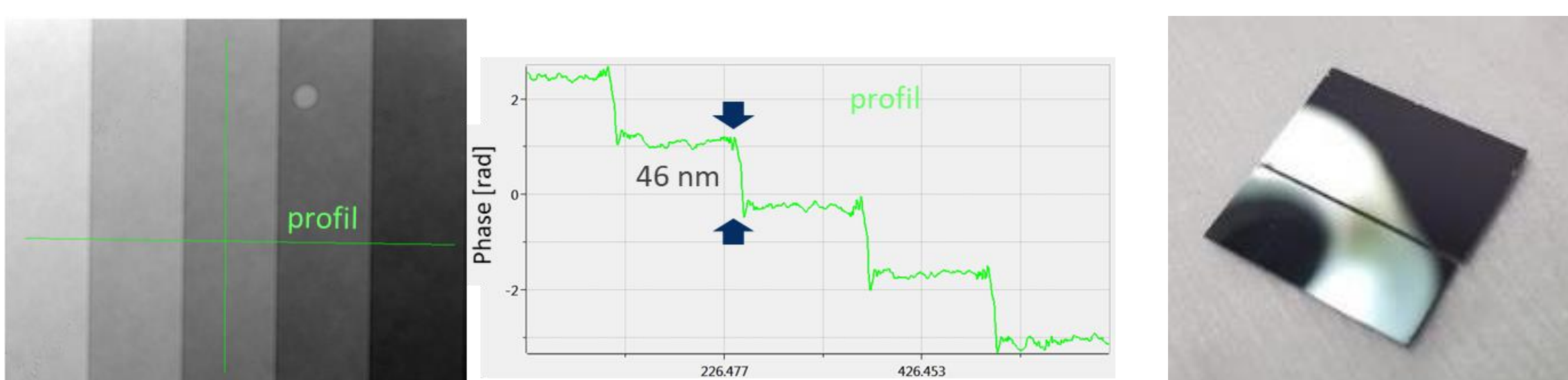
2 axes de développement :

- étude d'une mission spatiale, de la définition de la mission à la qualité des produits (estimation des flux)
- amélioration de la maîtrise technologique de la charge utile, en allant jusqu'à une démonstration aéroportée

La montée en TRL de Nanocarb durant Scarbo

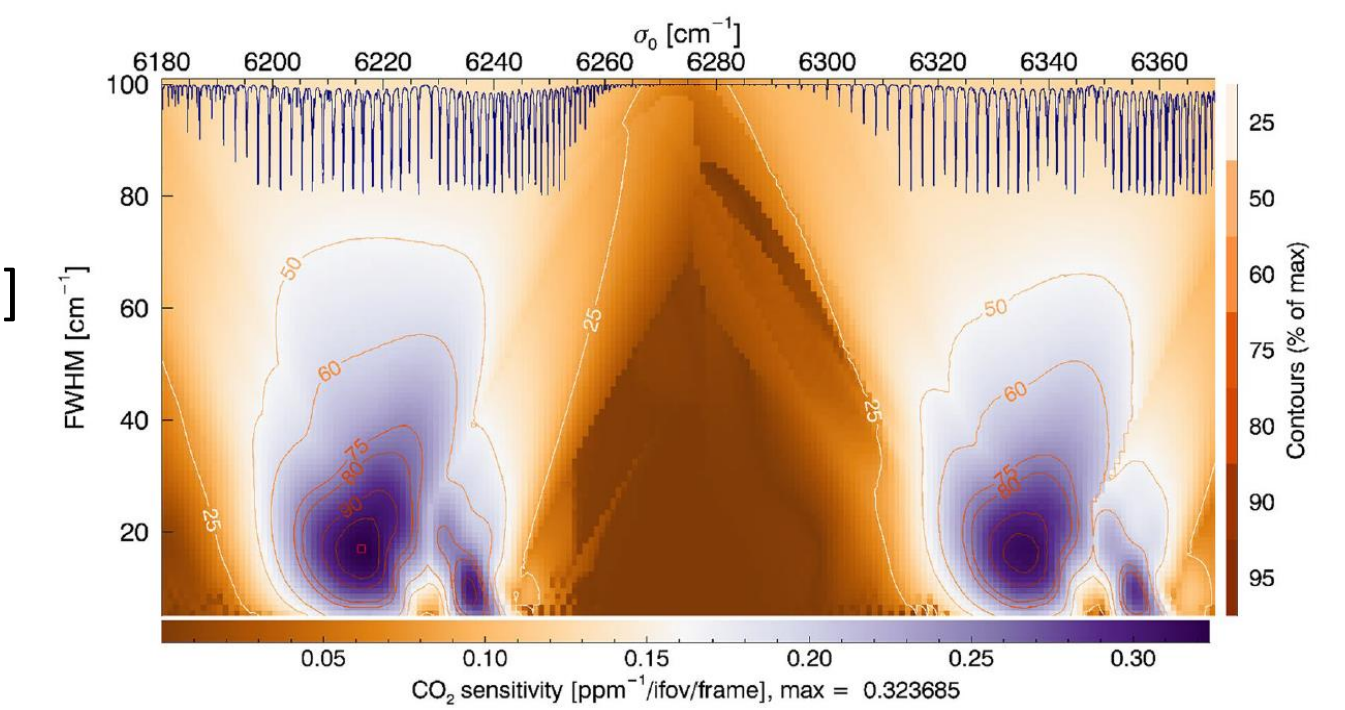
Un composant-clé : la lame interférométrique en silicium

- l'indice élevé du silicium augmente l'étendue admissible
- marches de 960x960 μ m², avec des sauts de 50nm
- gravée au LTM (Laboratoire des Technologies de la Microélectronique, Grenoble)



Des outils de dimensionnement :

- choix des bandes spectrales et des différences de marche [4]
- règles de dimensionnement du système (optique ; lame ; détecteur)

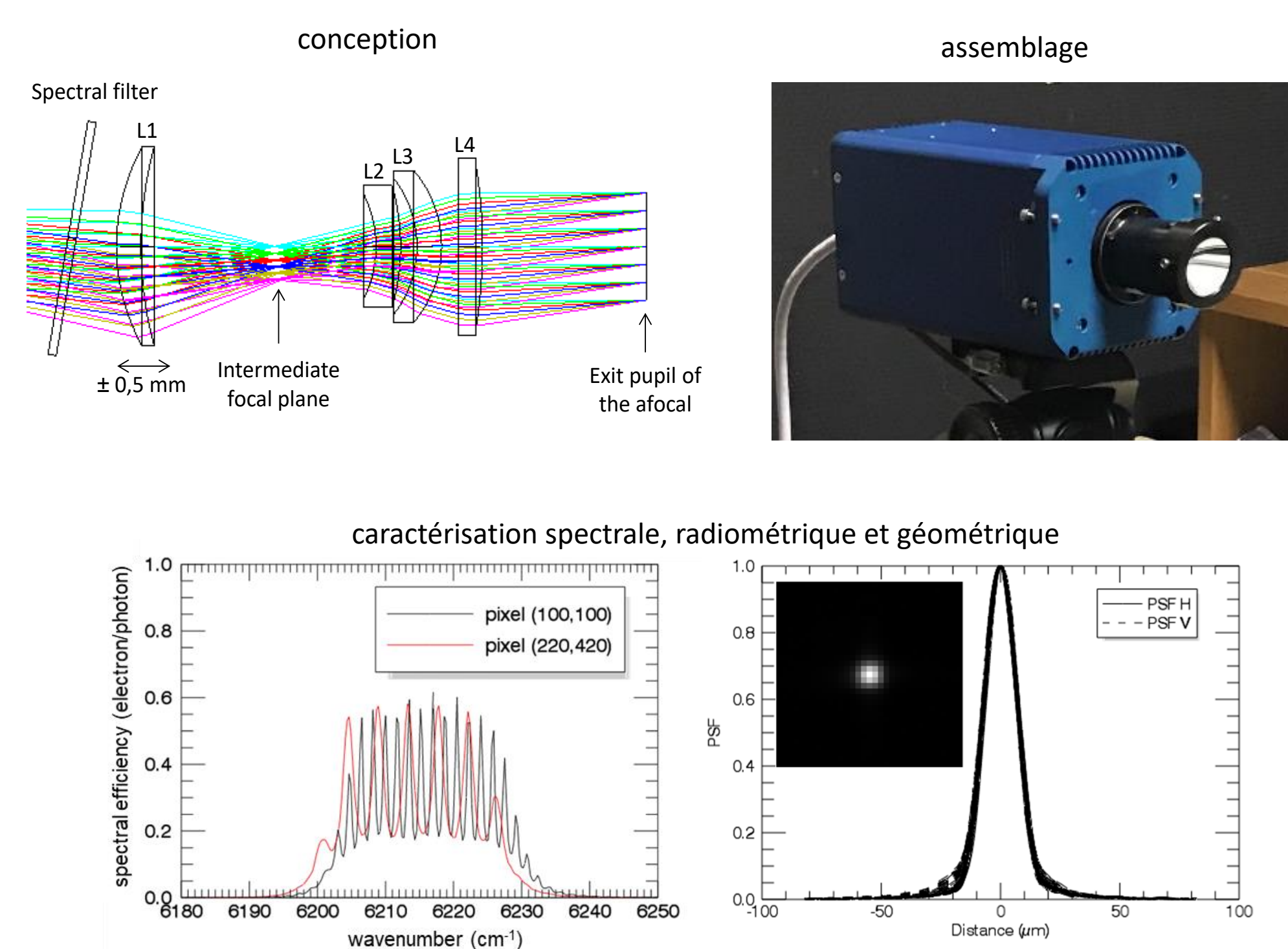


\Rightarrow conception des démonstrateurs aéroportés

\Rightarrow conception préliminaire d'une charge utile pour la mission spatiale

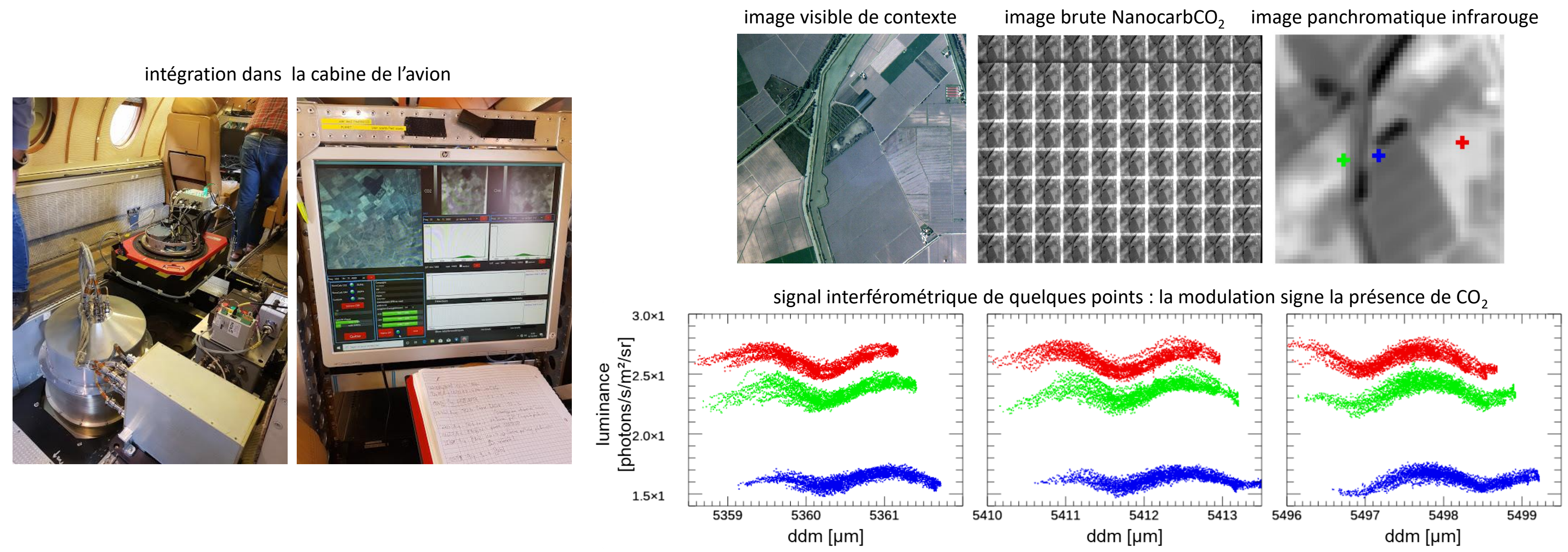
\Rightarrow modélisation de données d'entrée pour l'estimation de performances de la mission : les travaux du LMD (Laboratoire de Météorologie Dynamique, Palaiseau) ont ainsi montré la pertinence des interférogrammes parcellaires et de la mesure conjointe des aérosols [5]

Réalisation et caractérisation de deux prototypes aéroportés (CO₂ et CH₄) autour de 1,6 μ m [6]



Acquisition de données aéroportées en octobre 2020 [7] :

- campagne dans le Falcon20 de Safire avec l'instrument Spex [8] du SRON (Pays-Bas) dédié aux aérosols
- comportement satisfaisant de Nanocarb (stabilité, rapport signal à bruit)
- pas de survol d'un panache de centrale à charbon en raison des conditions météorologiques



Bilan et perspectives

Scarbo a permis :

- de définir une mission de mesure des flux anthropiques de CO₂ et CH₄ à partir d'une constellation de mini-satellites
- d'élever le TRL (Technological Readiness Level) de Nanocarb
 - en montrant sa pertinence théorique (contenu en information)
 - en montrant sa pertinence expérimentale (démonstration aéroportée)

Les principaux travaux à poursuivre pour Nanocarb sont :

- une reprise de la conception de la charge utile spatiale à la lumière des résultats obtenus ;
- le développement de procédés plus performants pour la gravure des lames [9] ;
- l'amélioration du traitement des images et de la restitution des informations géophysiques ;
- la comparaison avec des mesures de référence au sol (en cellule à gaz et par occultation solaire) ;
- la réalisation d'une nouvelle campagne aéroportée avec survol d'un panache de CO₂.

[1] S. Gousset et coll., NANOCARB-21: a miniature Fourier-transform spectro-imaging concept for a daily monitoring of greenhouse gas concentration on the Earth surface. *International Conference on Space Optics—ICSO 2016*, 2017, p. 105624U

[2] Y. Ferrec et coll., NanoCarb part 1: compact snapshot imaging interferometer for CO2 monitoring from space. *International Conference on Space Optics—ICSO 2018*, 2019, p. 1118021

[3] <https://scarbo-h2020.eu/>

[4] S. Gousset et coll., NanoCarb hyperspectral sensor: on performance optimization and analysis for greenhouse gas monitoring from a constellation of small satellites. *CEAS Space Journal*, 2019, vol. 11, no 4, p. 507-524

[5] M. Dogniaux et coll., The Space CARBON Observatory (SCARBO) concept: Assessment of XCO₂ and XCH₄ retrieval performance. *Atmos. Meas. Tech. Discuss.*, 2021, <https://doi.org/10.5194/amt-2021-224>, en cours de revue

[6] F. de la Barrière et coll., Instrumental development of NanoCarb, a new spectro-imaging sensor. *International Conference on Space Optics—ICSO 2020*, 2021, p. 118523Z

[7] S. Gousset et coll., NanoCarb spaceborne miniaturized GHG sensor: first experimental results. *International Conference on Space Optics—ICSO 2020*, 2021, p. 118522L

[8] M. Smit et coll., Polarimetric calibration of a spectro-polarimeter for remote sensing and characterization of aerosols. *International Conference on Space Optics—ICSO 2020*, 2021, p. 118523Z

[9] N. Gerges et coll., Optimized ultraviolet grayscale process for high vertical resolution applied to spectral imagers. *Journal of Vacuum Science & Technology B*, 2021, vol. 39, p. 062602