



IASI-NG
A more precise look on the Earth Atmosphere

webinaire "Métrologie Optique et Instrumentation"
4 février 2021

IASI-NG un spectro-radiomètre infrarouge pour la prévision météo et le suivi de l'atmosphère.

Présentation : Elisa Baldit CNES, DSO/SI, Service Instrument

Coll. CNES: A. Penquer, C. Luitot, A. Deschamps, F. Bernard, F. Bermudo (...)

Coll. ADS: J.F. Pasquier, S. Thomas, A. Dumas, J. Lorsignol, B. Calvel, F. Faure (...)



Abstract



IASI NG un spectro-radiomètre infrarouge pour la prévision météo et le suivi de l'atmosphère.

Développé par Airbus Defence and Space sous la responsabilité globale du CNES en partenariat avec Eumetsat, le spectromètre infrarouge IASI-NG pour Infrared Atmospheric Sounding Interferometer New Generation est un élément clé de la charge utile des satellites météorologiques européens en orbite polaire METOP-SG. Avec IASI NG, l'objectif est de poursuivre et améliorer la mission de IASI au cours des prochaines décennies (2020-2040) dans le domaine de la météorologie opérationnelle, de la surveillance du climat et de la caractérisation de la composition atmosphérique liée au climat, à la chimie atmosphérique et à l'environnement. Le principal défi est l'amélioration des performances d'un facteur deux des performances spectrales et radiométriques par rapport à IASI, sur la gamme spectrale 3,5 μm - 15,5 μm .

- La technique de mesure est basée sur un spectromètre à transformée de Fourier à grand champ mettant en œuvre avec un seul mécanisme un interféromètre de Mertz. Le mouvement de 2 paires de prismes limite fortement l'auto-apodisation et permet d'obtenir la résolution spectrale souhaitée un champ dans l'interféromètre de plus de 8°. L'instrument inclut dans sa conception différentes métrologies et systèmes d'étalonnages pour assurer ses performances tout au long de ces 7.5 années de vie en orbite.

- Il est actuellement en phase d'intégration et de test de qualification et de performance, pour une livraison du premier des 3 modèles pour fin 2021.

- La présentation détaillera le design de cet instrument, en mettant l'accent sur les nouveautés à la fois technologiques et conceptuelles par rapport à IASI. Nous présenterons également ses performances, telles qu'estimées à la Revue de Conception Détaillée et les résultats des premières mesures. Enfin, nous nous concentrerons sur l'état général de développement de l'instrument et les différentes étapes à venir jusqu'à la livraison.

Sommaire



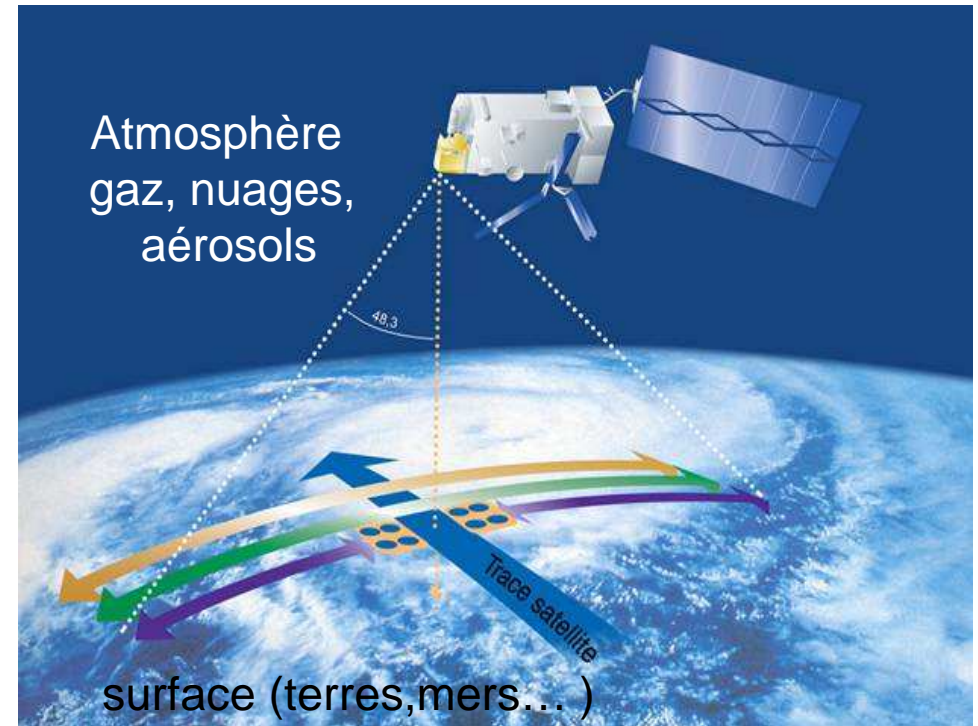
- La mission IASI NG : mesure optique de l'atmosphère
- Le concept instrumental : interféromètre compensé dans le champ
- Architecture instrumentale et métrologies internes
- Principales Performances
- Mesure des performances au sol

A partial view of the Earth from space, showing the blue oceans and white clouds of the atmosphere, is visible in the upper left corner of the slide. The rest of the slide has a dark blue background.

La mission de IASI et IASI-NG mesure optique de l'atmosphère

IASI / IASI NG mission de sondage atmosphérique

- Objectif caractériser l'atmosphère en 3 dimensions depuis l'espace
 - 2 dimensions accessibles par les mouvements du satellite et de l'instrument
 - La 3^{ème} dimension (z-profil atmosphérique) est accessible grâce à la haute résolution spectrale de la mesure
- IASI/IASI NG mission de sondage passif dans l'infrarouge 3,6 μm – 15,5 μm
 - Source du flux : système terre + atmosphère \Leftrightarrow Corps Noir 180K à 310 K, mesures de jour comme de nuit.
 - Phénomènes : absorption émission diffusion



IASI sur Metop :

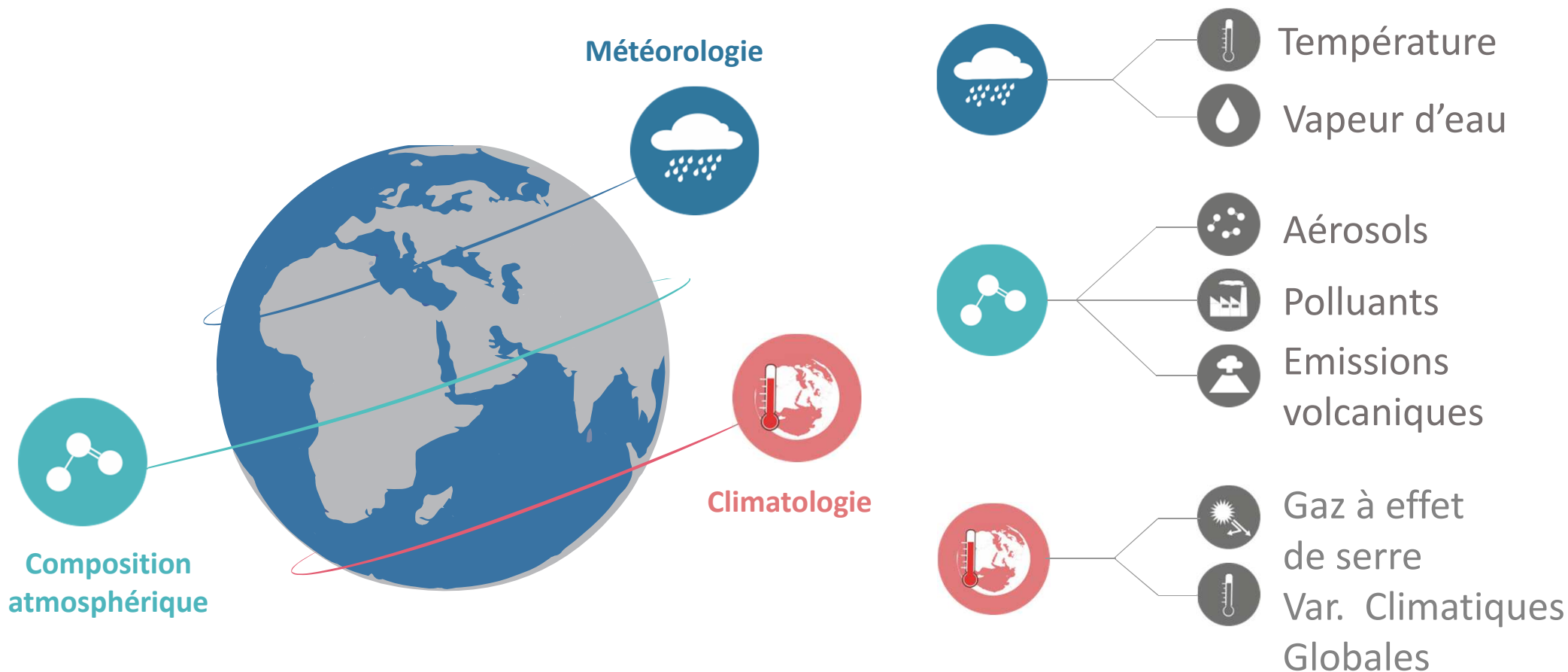
A 2006-2021, B 2012 – ..., C 2018 –

IASI NG sur Metop SG:

A 2023-..., B 2030-... , C 2037...

Applications

Les applications visées par IASI et IASI-NG sont les mêmes :



Exemple de l'utilisation de données dans la prévision numérique du temps

Pour la prévision numérique du temps, les données IASI sont massivement utilisées dans les modèles météorologiques

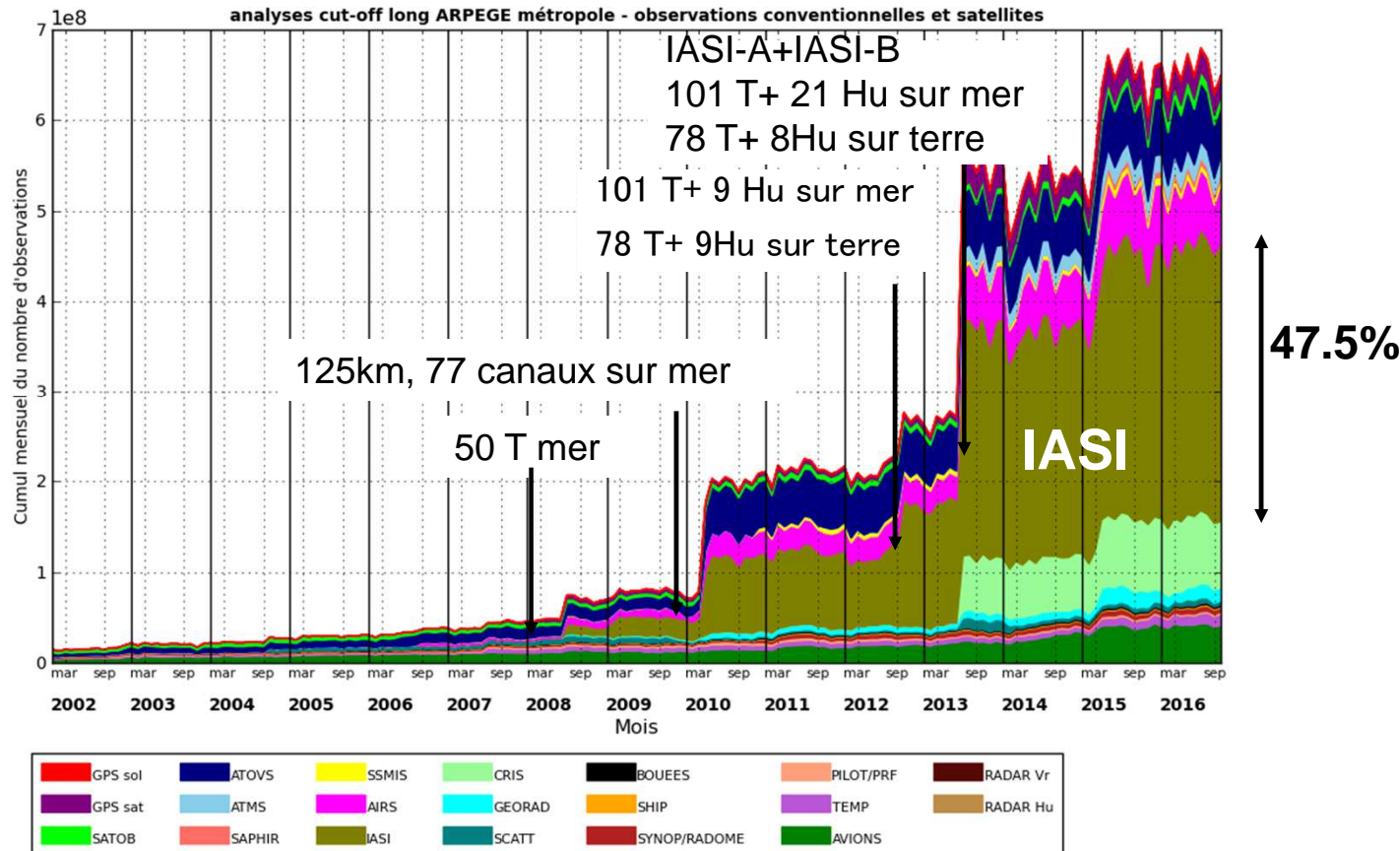
Elles sont utilisées avec de nombreuses autres données de capteurs différents

→ Besoin de cohérence et de performance entre ces différentes mesures

- position temps et espace
- grandeurs physiques mesurées
- bilans d'erreurs

→ Impacte les spécifications IASI-NG

Evolution des cumuls mensuels de nombre d'observations utilisées par type d'observation

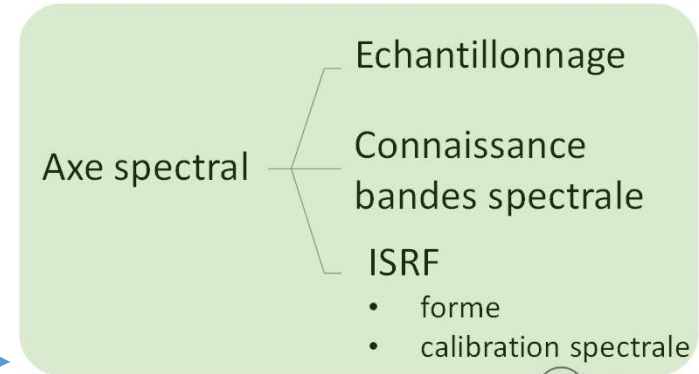
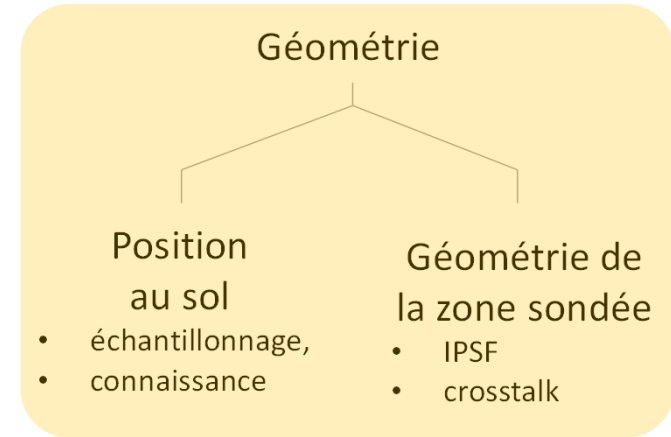
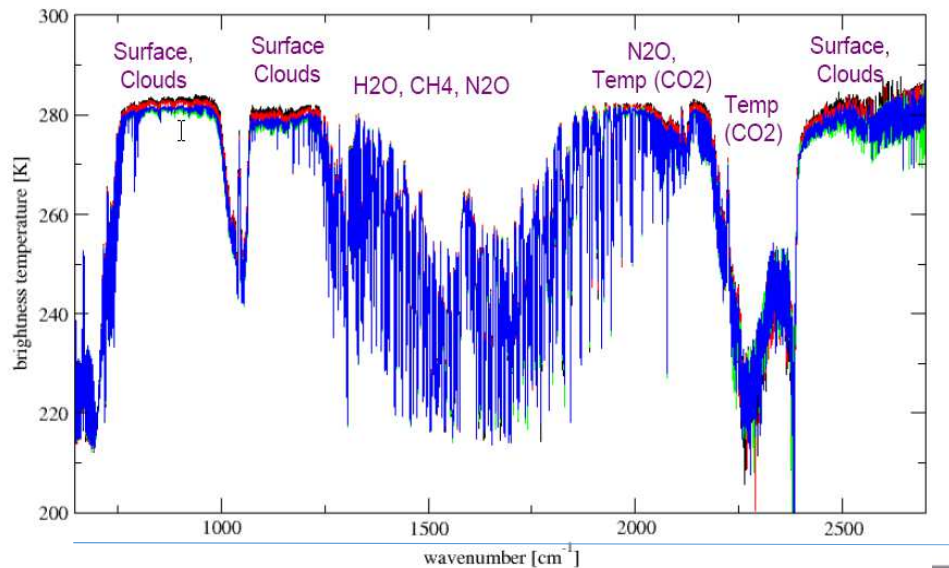
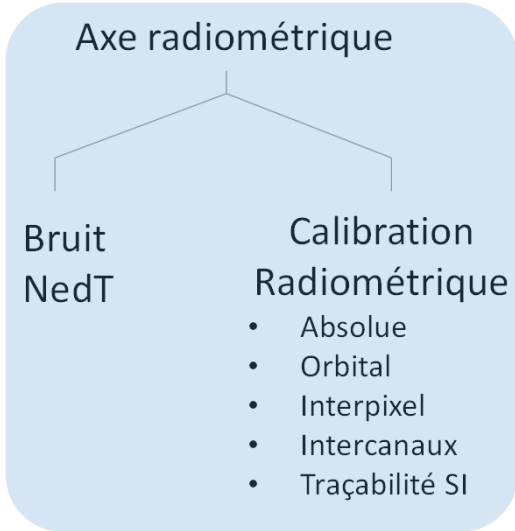


Les qualités de la mesure IASI /IASI NG

Le produit de niveau 1 livré par l'instrument est un **spectre calibré spectralement et radiométriquement**, géo-localisé
L'instrument est composé d'un imageur IR [12µm] et d'un **sondeur IR.**

Spectral range : 3,6µm - 15,5 µm
Radiometric range : 180K - 300K

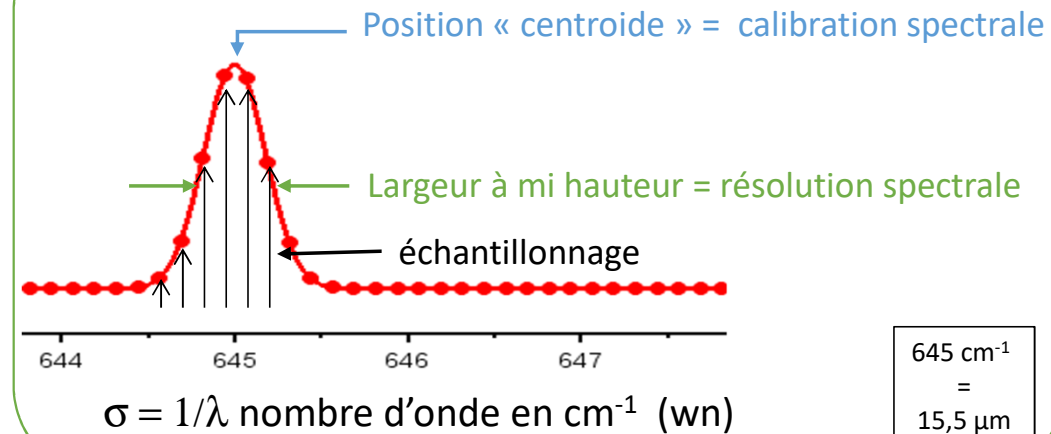
Spectromètre par TF



Spécifications majeures IASI NG

SPECTRAL RESOLUTION	0.25 cm ⁻¹ (2 times better than IASI)
SPECTRAL SAMPLING	~17000 Spectral Channels (2 times better than IASI)
SPECTRAL CALIBRATION ERROR	$d\sigma/\sigma=10^{-6}$ (2 times better than IASI)
SOUNDING PIXEL SIZE DIAMETER	12 km
RADIOMETRIC CALIBRATION	NedT ~ 0.25K (2 times better than IASI)
RADIOMETRIC NOISE	NedT ~ 0.1K (2 times better than IASI)

ISRF : Instrument Spectral Response Function



NedT : Noise Equivalent Delta Température

Transcription du NedL en température de brillance,
Lien avec le SNR

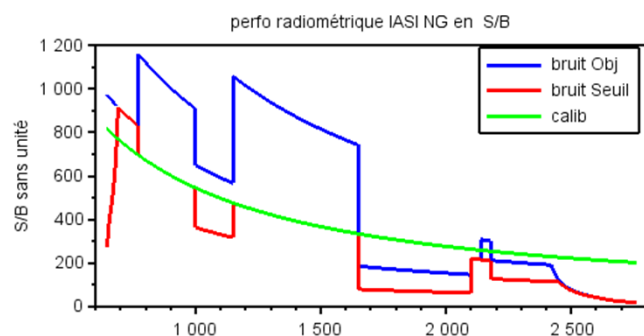
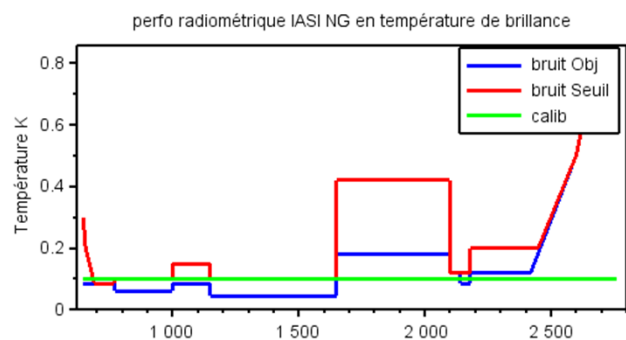
$$NedT(\sigma) = \frac{NedL(\sigma)}{\partial Planck(T_{sc})/\partial T}$$

T_{sc} : température de la scène en K

$$NedT(\sigma) = \frac{Planck(T_{sc})}{\frac{\partial Planck(T_{sc})}{\partial T} \cdot snr}$$

Radiométrie

Bruit, spécification IASI NG en température ou en SNR pour un CN @280K



Découpage de la bande science en 4 sous bandes

Calibration

- Travail dans l'IR => le fond émis par l'instrument contribue au bruit mais n'est pas un signal utile
- Nécessité de calibrer les mesures en unité physique sur la durée de vie, rattachement au SI

⇒ Étalonnage bord de chaque mesure terre (EV : Earth View) avec

⇒ mesures sur un corps noir CHAUD (BBI : Black Body Interne)

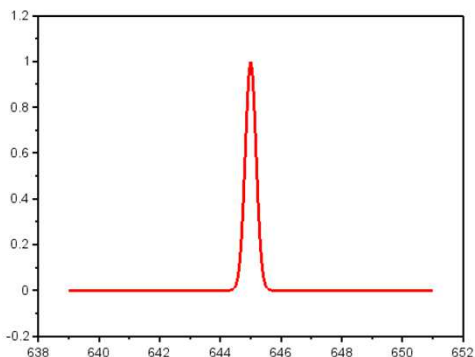
⇒ Mesure sur un corps noir FROID (Cold Space)

⇒ Corps Noir chaud + Chaîne de mesure de température rattachée au SI.

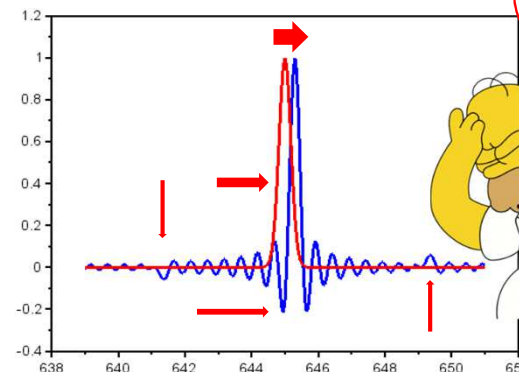
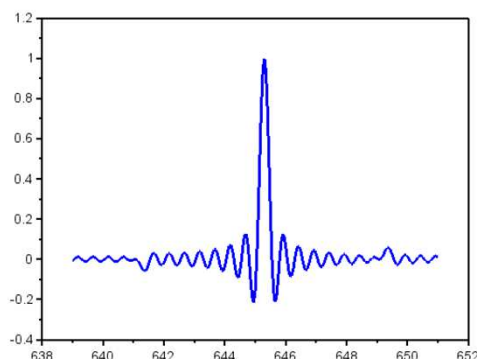
$$Spectre_{cal} = \frac{S_{EV} - S_{CS}}{S_{BBI} - S_{CS}} Planck(T_{BBI})$$

Spectral

Ce qu'on veut



Ce que mesure l'instrument



⊖ Décalage
⊖ Largeur
⊖ Parasites

Idée principale : si on connaît la forme de la mesure, on peut la corriger...

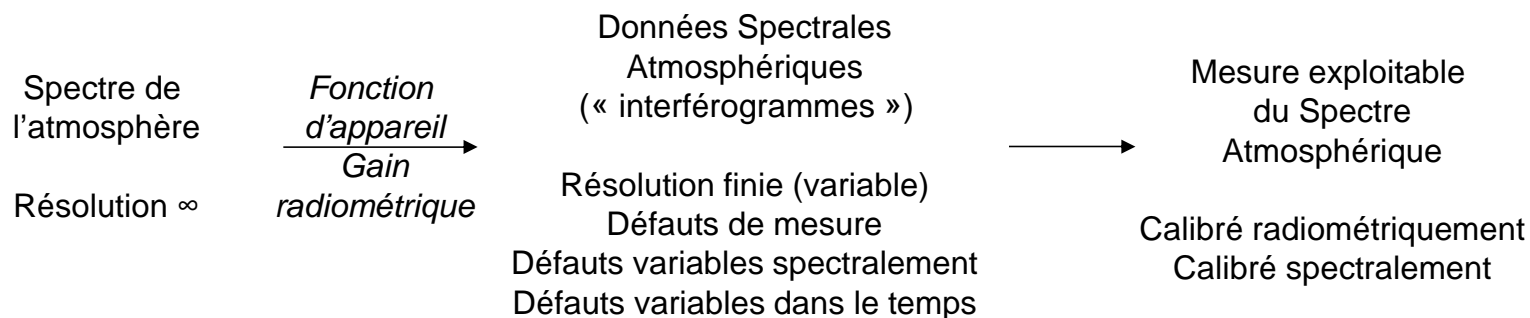
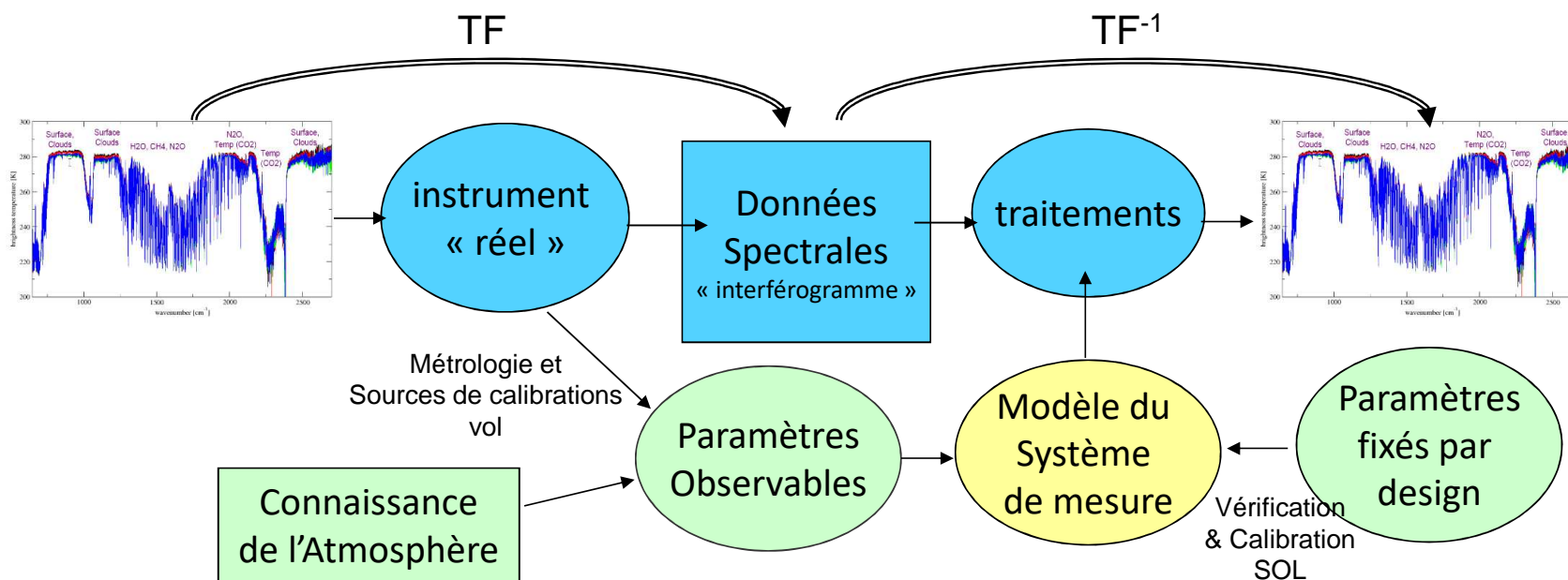
⇒ Chaîne de traitements numériques exécutés sur toutes les mesures scientifiques pour tenir les performances « ground processing L1Pop »

Comment connaître l'ISRF ?

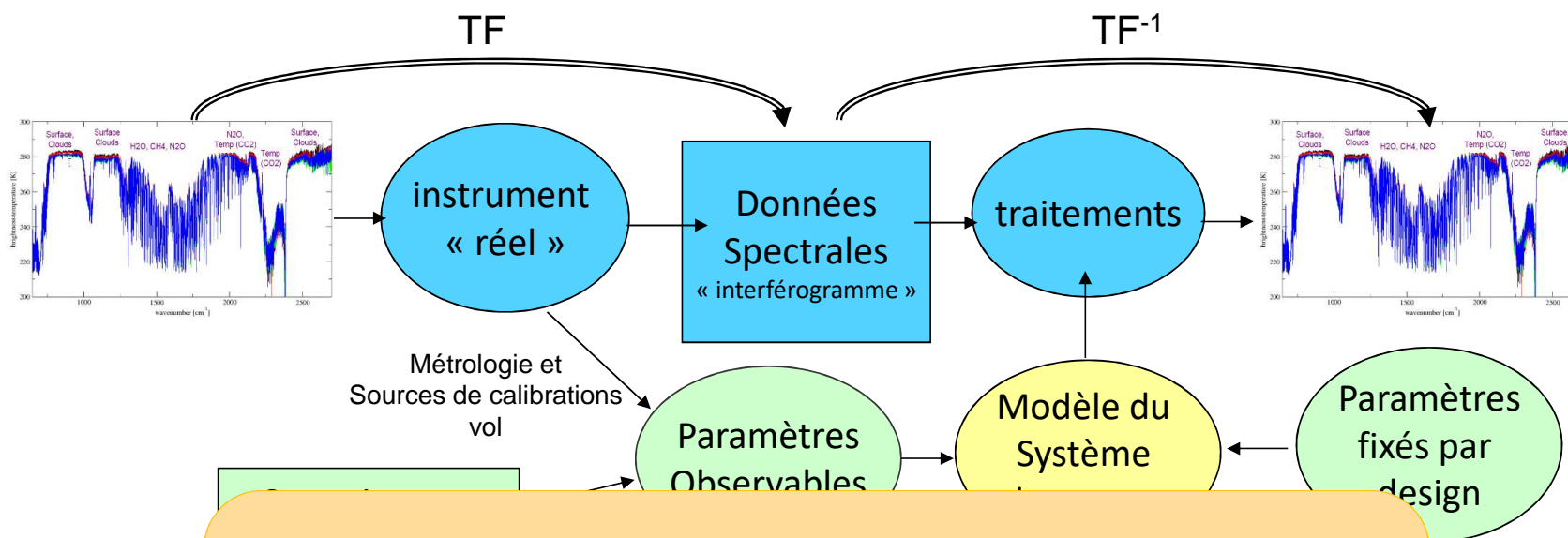
- Modélisation
- Caractérisation avec des mesures spécifiques d'étalonnages au sol, ou en vol lors du fonctionnement de l'instrument
 - Métrologie internes : lasers, Fabry-Perrot
 - Raies atmosphériques vues par la mesure scientifique



Vision principe de la chaine de mesure IASI & IASI-NG



Vision principe de la chaine de mesure IASI & IASI-NG



La performance finale sur les mesures dépend

- Des performances hardware de l'instrument
- Des performances et adéquation des traitements

La faisabilité d'une bonne mesure dépend de l'équilibre entre les deux

Spectre
l'atmosphère
Résolution

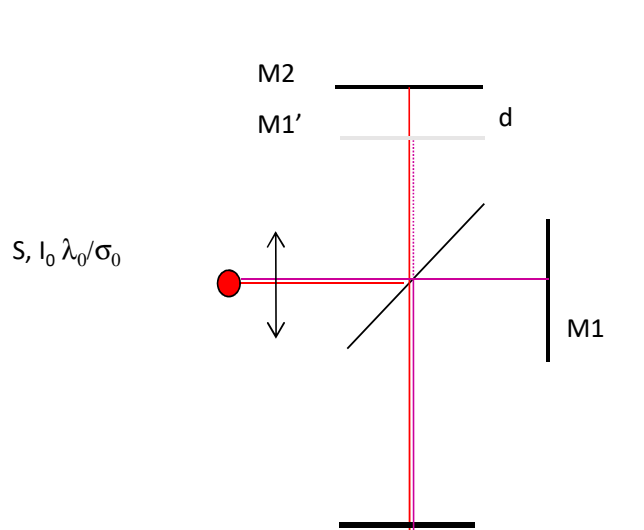
Défauts de mesure
Défauts variables spectralement
Défauts variables dans le temps

Calibré radiométriquement
Calibré spectralement

Concept instrumental

Spectromètre par transformée de Fourier. Le Michelson

Source ponctuelle Monochromatique $\sigma_0 = 1/\lambda_0$

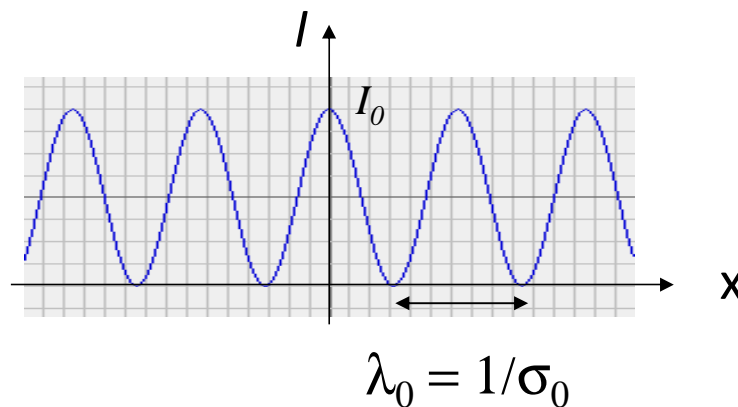


Différence chemin optique
 $ddm=OPD=2d=X$

$$I(X, \lambda_0) = \frac{I_0}{2} \left[1 + \cos\left(2\pi \frac{X}{\lambda_0}\right) \right]$$

$$I(X, \sigma_0) = \frac{I_0}{2} \left[1 + \cos(2\pi\sigma_0 X) \right]$$

→ Intensité du signal =
fonction (X=2d, sigma, rayon)



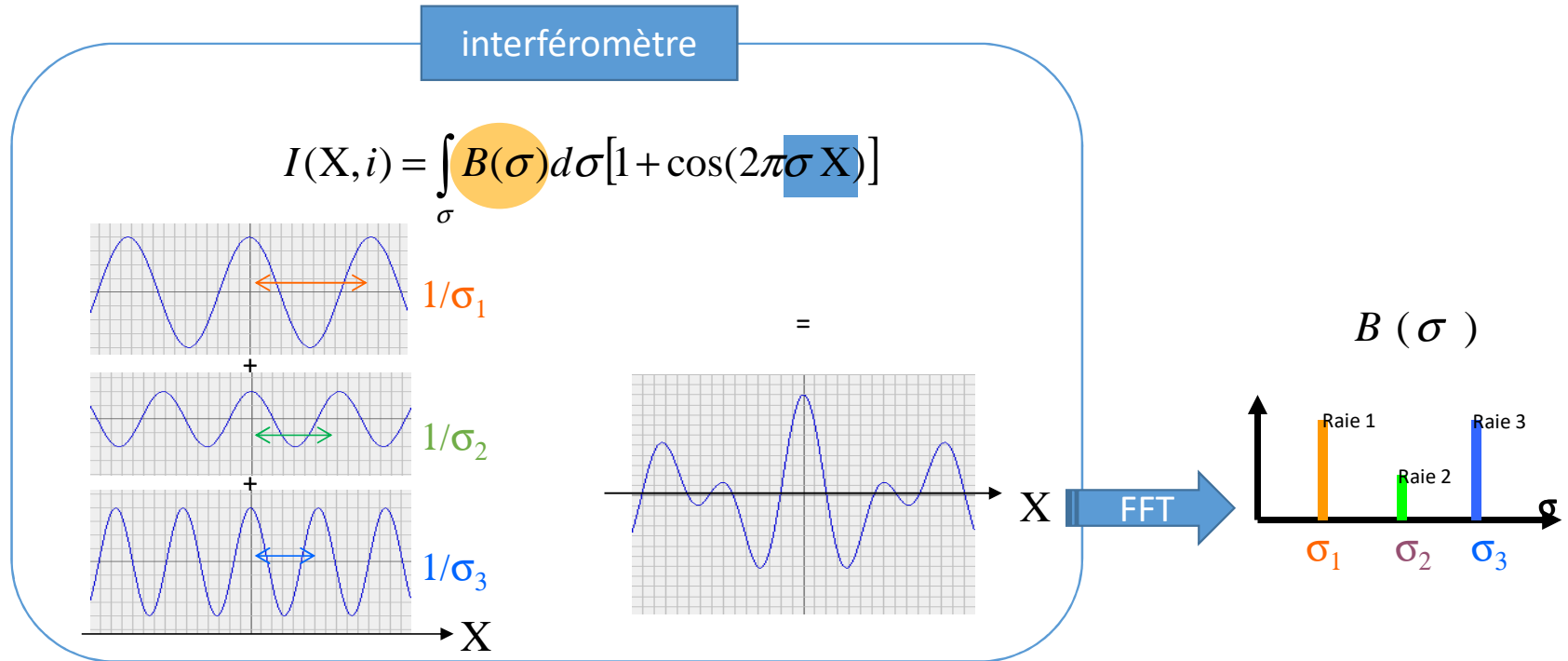
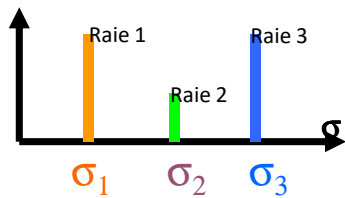
Du Michelson à la Spectromètre par transformée de Fourier

Source Polychromatique $B(\sigma)$

=

\sum source monochromatique

$B(\sigma)$

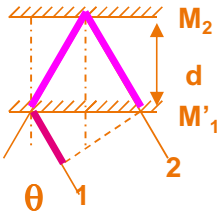


Hyp : source INCOHERENTE
Somme des contributions de
chaque longueur d'onde en
INTENSITE

Les propriétés du spectre obtenu sont liées à échantillonnage en ddm
DDMmax et $ddm_{ech} \Leftrightarrow \delta\sigma$ et $\Delta\sigma$

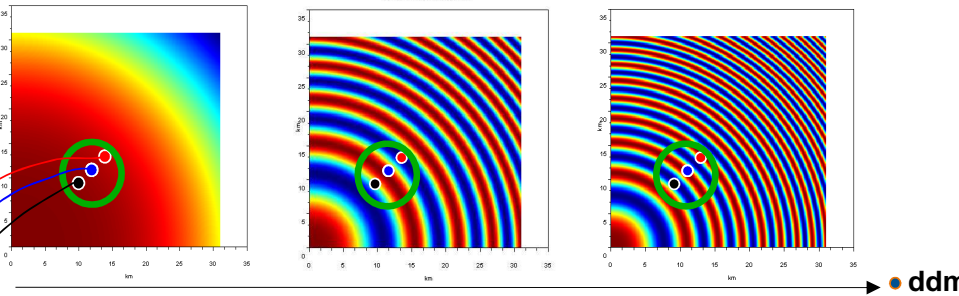
Effet de champ dans le Michelson et impact sur la réponse spectrale

Image des franges d'interférences à l'infini (dans le champ θ_x, θ_y)
Fonction de la ddm pour un nombre d'onde σ

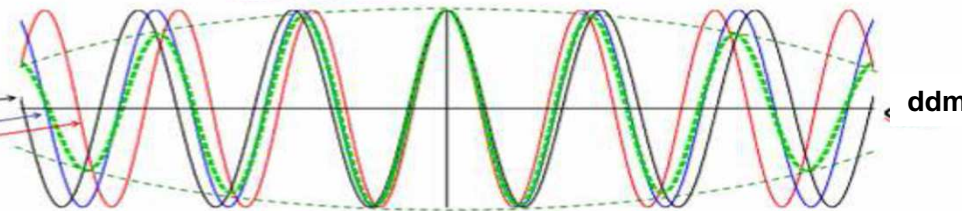


$$ddm(\theta) = 2 d \cos\theta$$

Nombre d'onde apparent de chaque sinusoïde $\sigma \cdot \cos\theta$

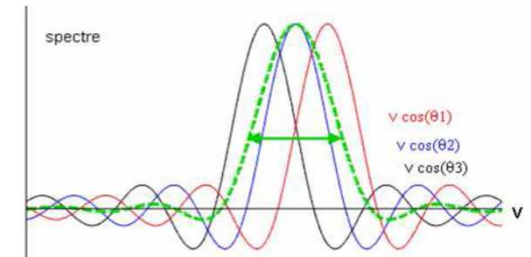


Interférogramme $I(ddm)$

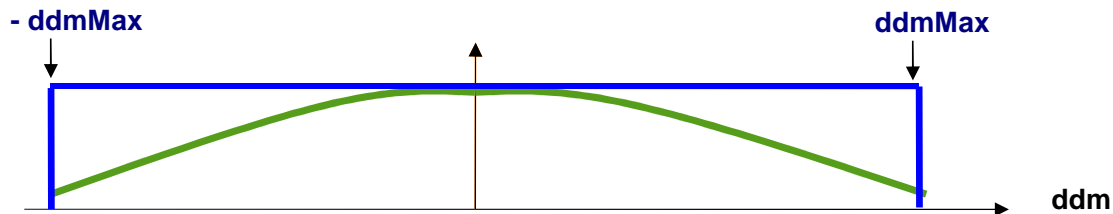


TF

ISRF

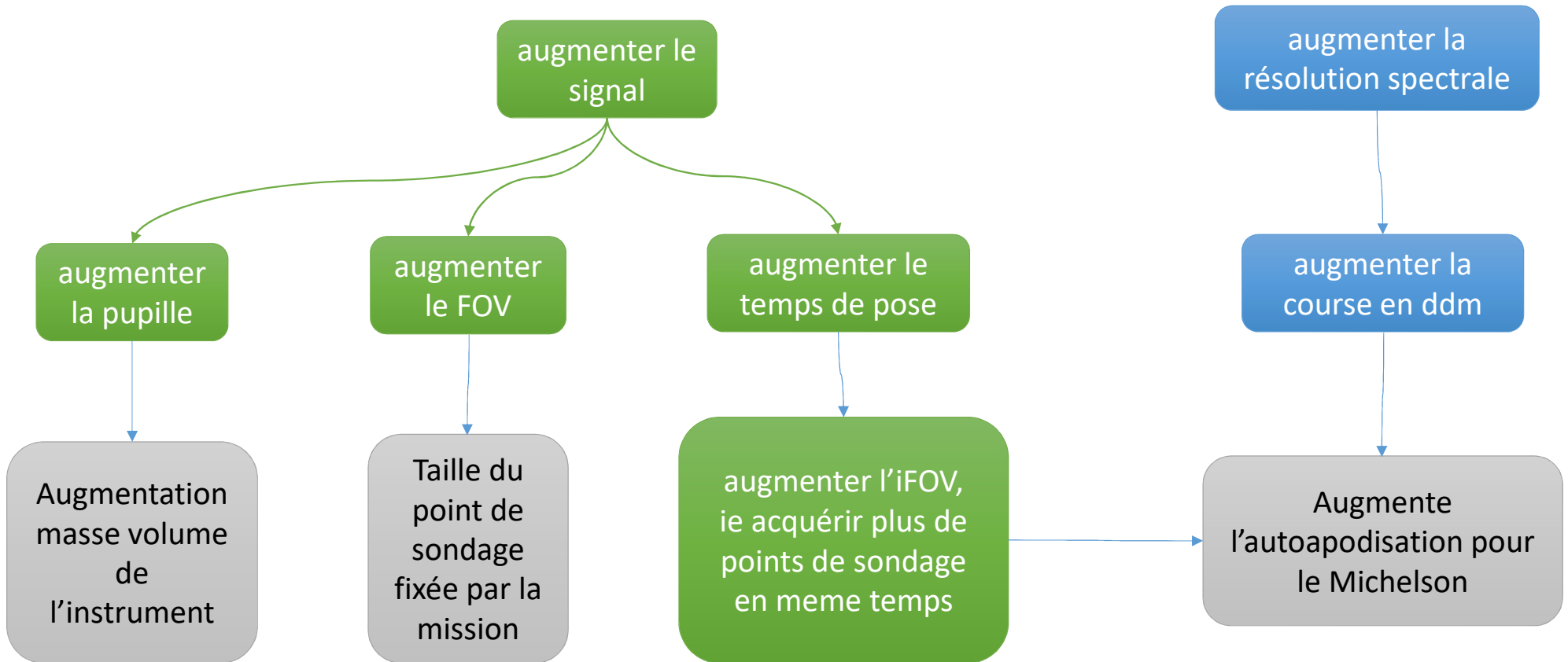


Enveloppe de l'interférogramme $ME(ddm)$



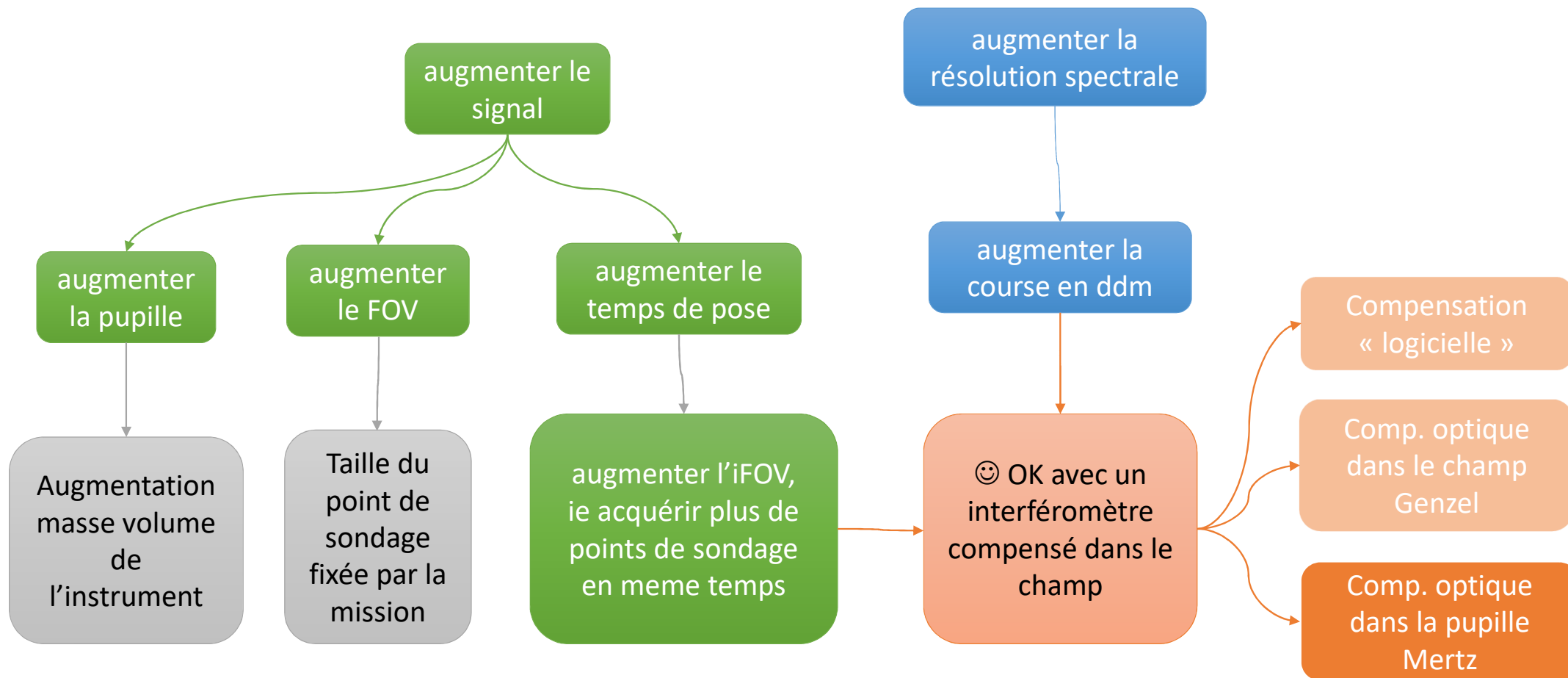
Élargissement réponse spectrale
+ décalage apparent

Besoin spécifique au spatial : interféromètre grand champ



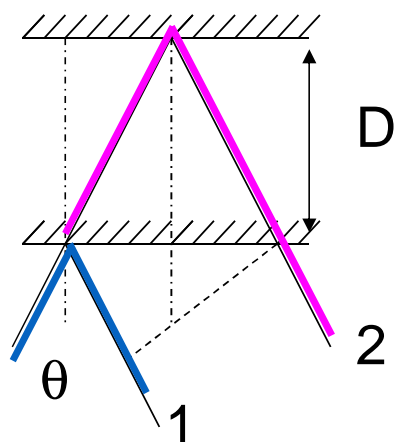
Point de fonctionnement impossible?

Besoin spécifique au spatial : interféromètre grand champ



Principe de la compensation de champ de Mertz

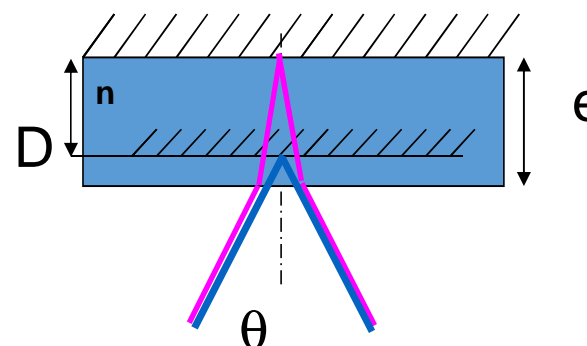
Michelson classique



effet de champ les rayons 1 et 2 ont la même orientation mais ne semblent pas venir du même point

=> Il faut rajouter un système optique qui maintient la conjugaison de la pupille dans les 2 bras

Compensation de Mertz
par introduction d'une lame épaisse d'indice n



Les rayons 1 et 2 ont la même orientation et semblent venir du même point grâce à la conjugaison réalisée par la lame de verre ☺

$$ddm = 2 \left[(d - e) \cos \theta + e \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta} \right]$$

$$ddm \approx 2 \left[d + e(n - 1) \right] + \theta^2 \left[e \frac{n - 1}{n} - d \right] + \dots$$

Condition de compensation:
 $D = e(n-1)/n$

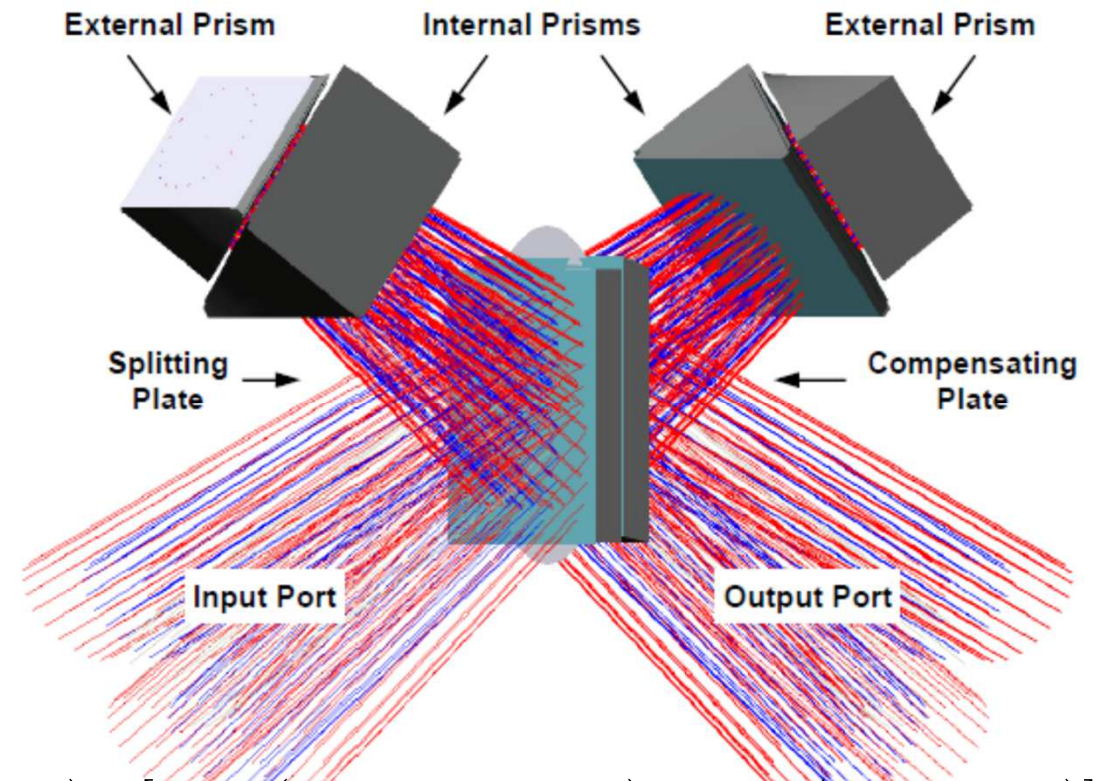
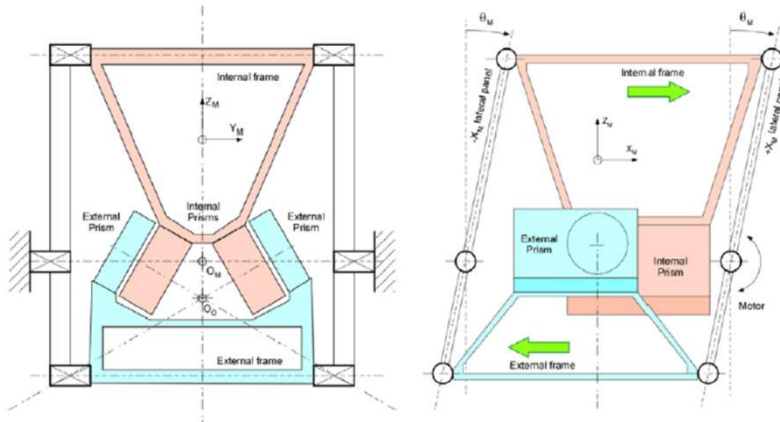
En maintenant la condition de compensation entre D et e, on annule l'effet de champ sur toute la course

→ Un grand champ est possible avec peu d'impact spectral

Compensation de champ de Mertz et concept mécanisme DSM d'ADS

- En pratique : la lame de verre est composée de 2 paires de prismes tête bêche et un seul actuateur permet de translater les 4 prismes en respectant la condition de compensation

Film ppe compensation



$$ddm_{mertz} \sim 2e_{IP}^T(r) \cdot \left(\sqrt{(n_{IP}^T)^2 - \sin^2 \theta} - \cos \theta \right) + 2e_{EP}^T(r) \cdot \left(\sqrt{(n_{EP}^T)^2 - \sin^2 \theta} \right) - \left[2e_{IP}^R(r) \cdot \left(\sqrt{(n_{IP}^R)^2 - \sin^2 \theta} - \cos \theta \right) + 2e_{EP}^R(r) \cdot \left(\sqrt{(n_{EP}^R)^2 - \sin^2 \theta} \right) \right]$$

Vous avez dit grand champ? Grand jusqu'à combien?

Champ projeté sur terre
(gain en temps d'observation)

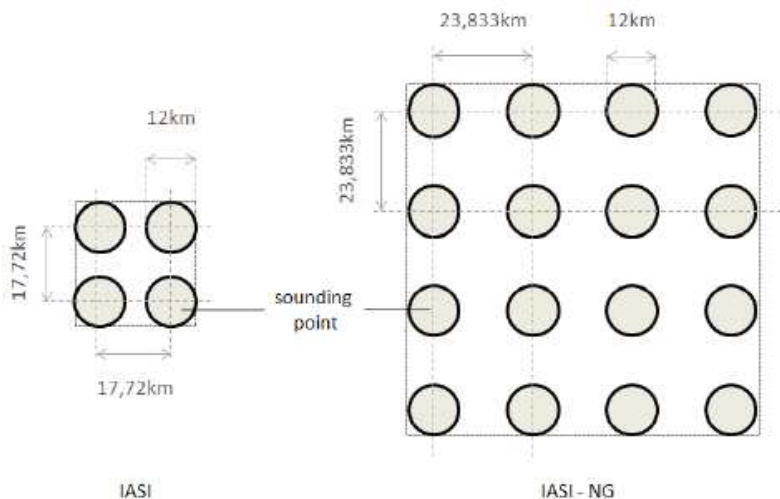
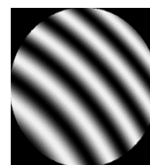
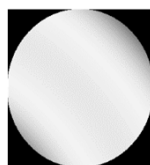


Image du champ
d'un pixel sondeur

SANS

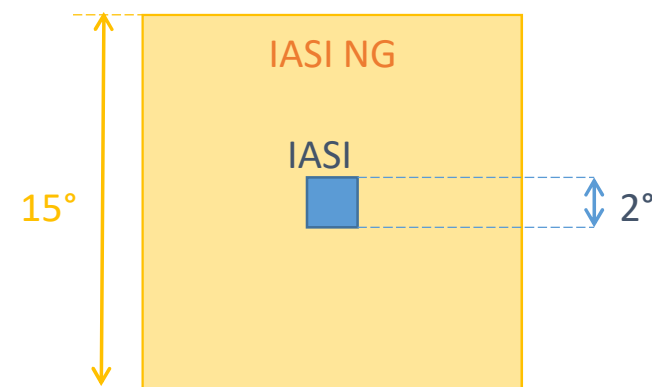


AVEC



compensation
de champ

On peut augmenter le champ **dans l'interféromètre** jusqu' à +/-7,5° sans perte d'auto-apodisation due au champ !

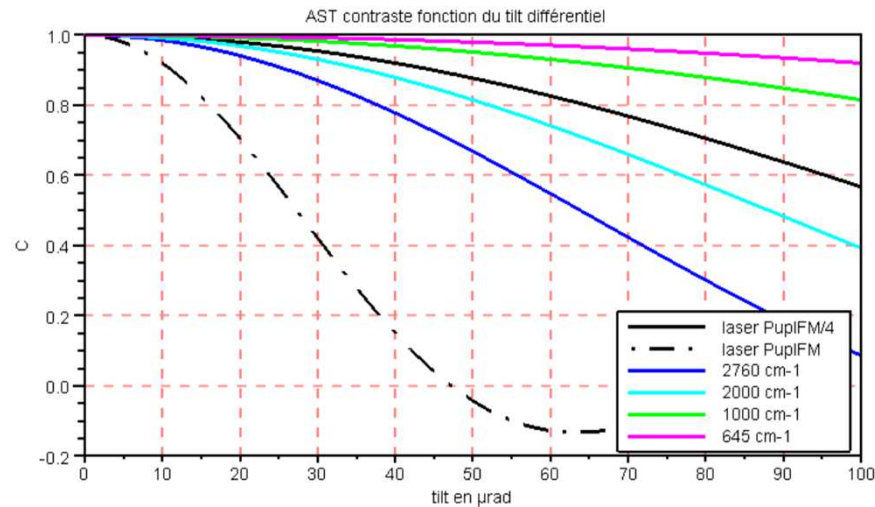
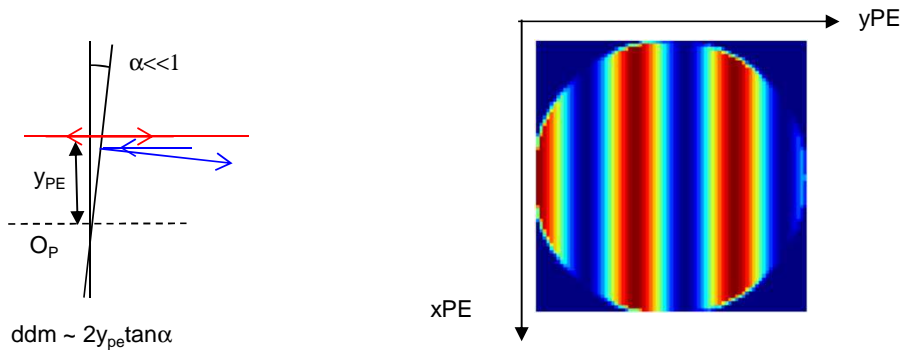


Erreurs dans la pupille : le tilt

Ce qu'on veut



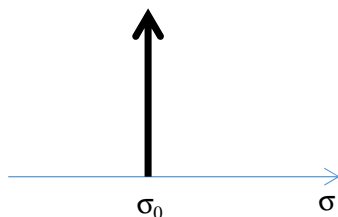
Ce qu'on a



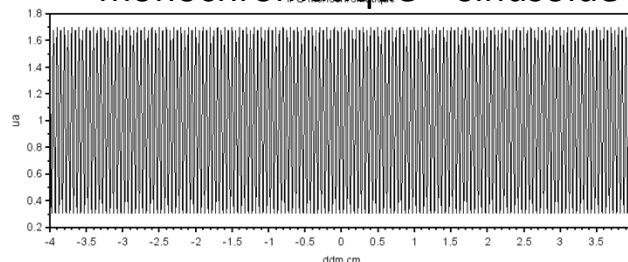
- Variation d'OPD dans la pupille
- Chute du contraste $C(\alpha) = \frac{J_1(\pi\sigma\alpha D_{pup})}{\pi\sigma\alpha D_{pup}}$

Erreurs dans la pupille : le tilt... dynamique

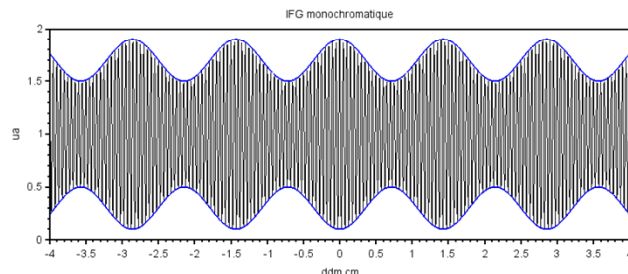
Entrée Laser



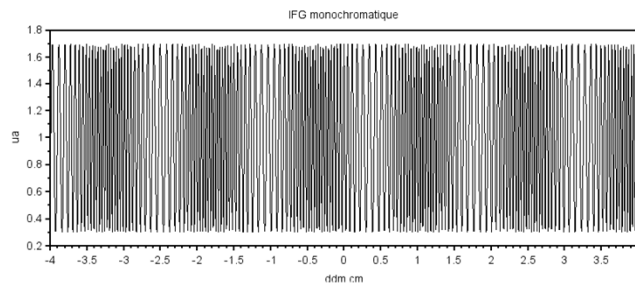
Interférogramme
monochromatique = sinusoïde



WFT

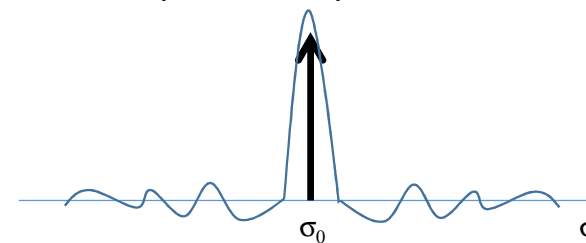


OPD

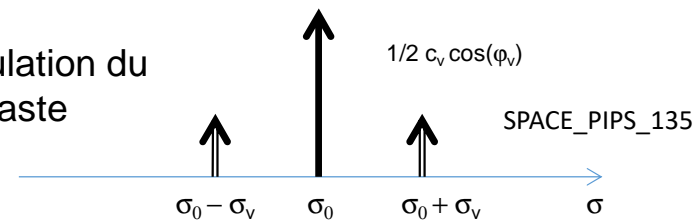


Spectre de sortie

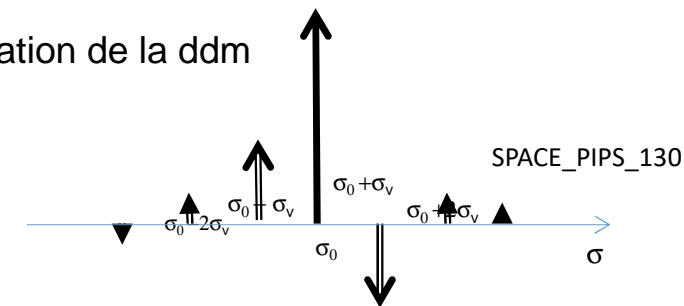
=> ISRF, réponse fréquentielle de l'instrument



Modulation du
contraste



Modulation de la ddm



Erreurs dans la pupille : MSE et WFE

Ce qu'on veut



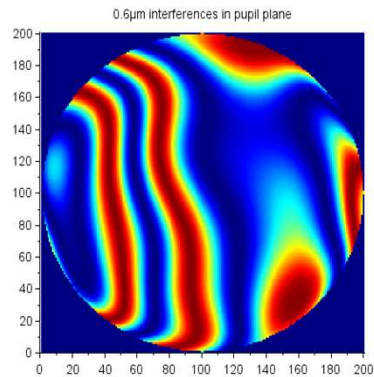
Ce qu'on a



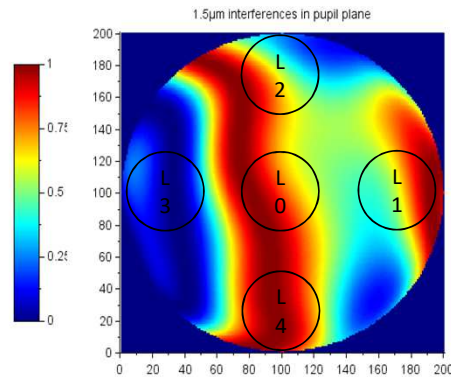
- Variation d'OPD dans la pupille
- Chute du contraste

$$C(\alpha) \sim 1 - 2(\pi\sigma\delta WFE_{rms})^2$$

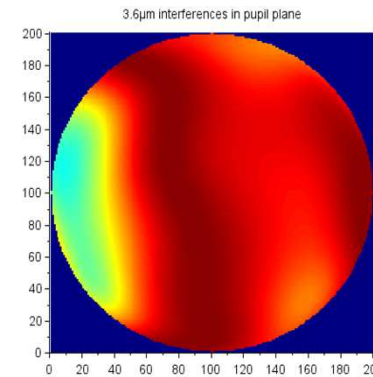
0,6 μm



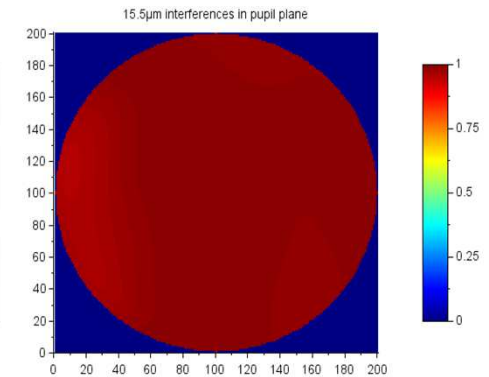
1,5 μm



3,6 μm



15,5 μm



Indice de réfraction des prismes : défaut de calibration spectrale

$$I(\sigma_0, r) = a + b \cos(2\pi\sigma_0 ddm(\sigma_0, r))$$

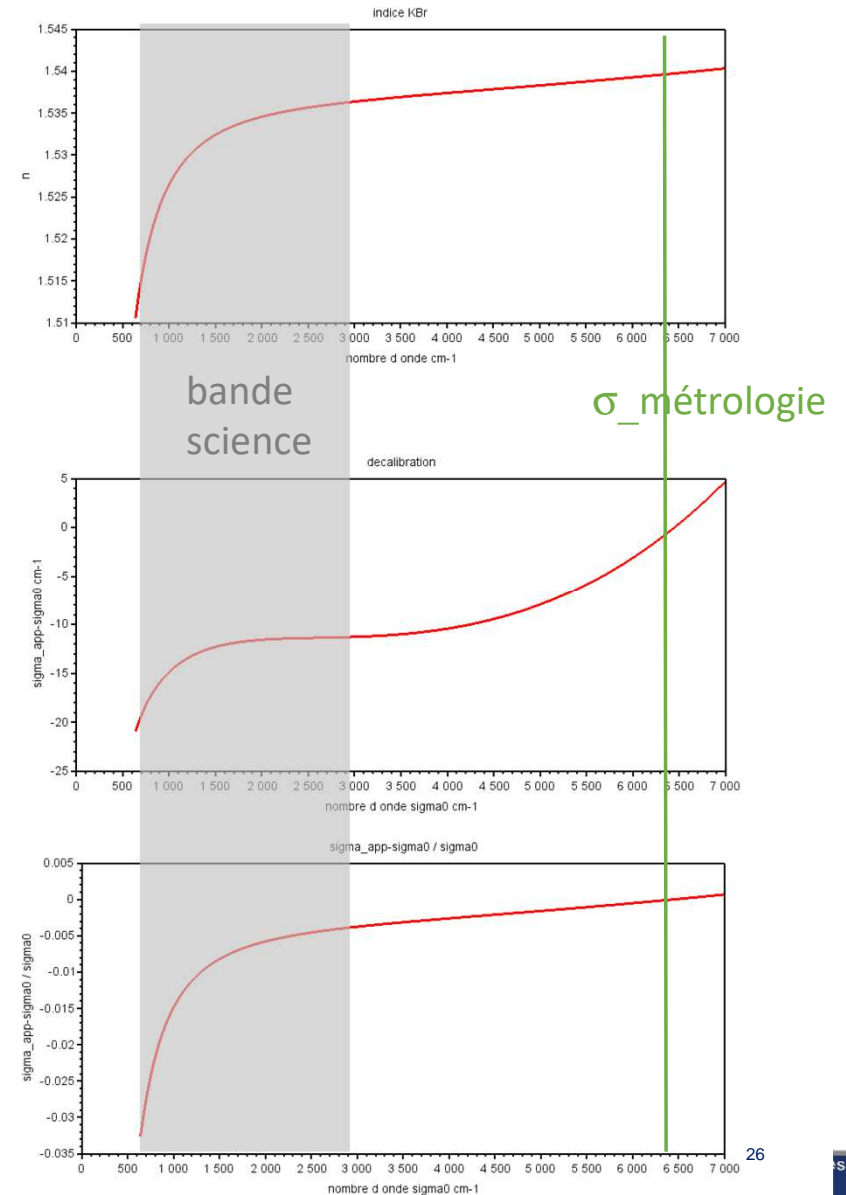
=> On fait la fft avec comme référence de ddm celle de la métrologie laser interne de l'instrument z0

$$I(\sigma_0, z_0) = a + b \cos\left(2\pi\sigma_0 \cdot \frac{ddm(\sigma_0, r)}{z_0(r)} \cdot z_0\right)$$

Après fft, sans calibration spectrale

$$\sigma_{app} = \sigma_0 \cdot \frac{ddm(\sigma_0, r)}{z_0(r)} = \sigma_0 A_{cal}$$

$$A_{cal} \sim \frac{(1 + Q)\sqrt{n^2(c) - \sin^2 \theta} - \cos \theta}{(1 + Q)n(\sigma_{met}) - 1}$$

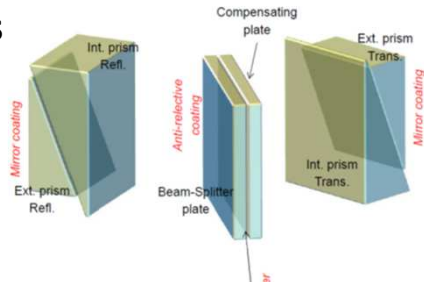


Risque du concept	Solution mise en oeuvre
Utilisation de prismes introduit un décalage chromatique du centroïde des raies	Etalonnage en vol sur des raies bien choisies de l'atmosphère + visée FPI Etalonnage au sol avec Cellule à Gaz
Sensibilité de l'ISRF Sensitivity aux tilts des miroirs plans et donc au mouvement, notamment microvibrations dans le mécanisme	Métrologie opérationnelle basées sur 5 faisceaux lasers répartis dans la pupille, acquis en temps réels, et utilisés en temps réels dans le "modèle estimé de l'ISRF"
ISRF liée à la WFE, donc besoin de caractérisation de WFE pour le modèle	Mesures sol Source laser @ 3,6 μm (WFS) pour le suivi long terme dans la bande science B4

Architecture de l'instrument et ses métrologies internes

L'interféromètre de Mertz

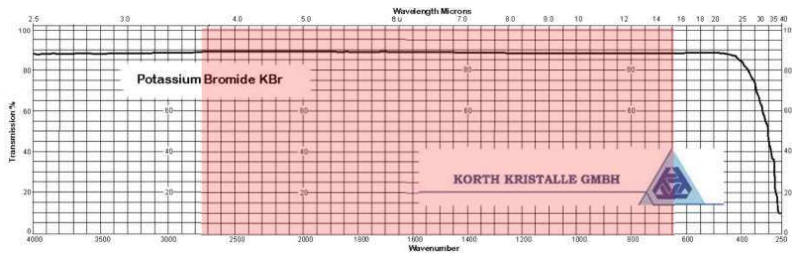
Les optiques



prismes et lames en KBr

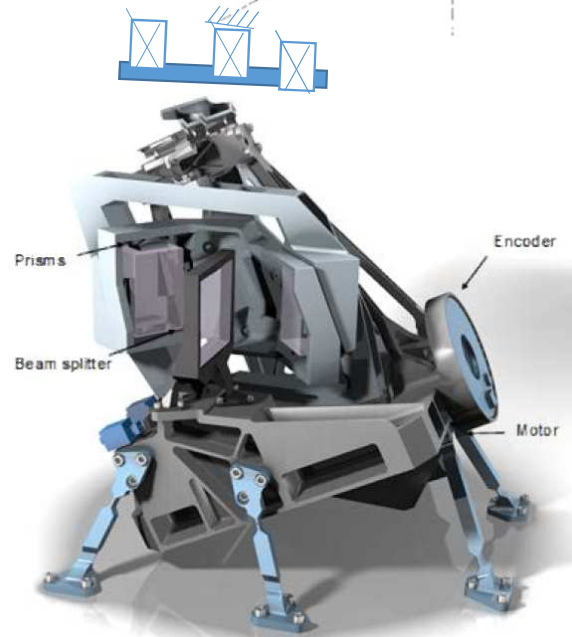
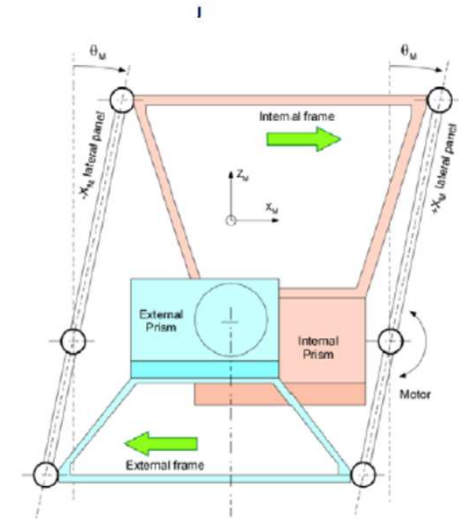
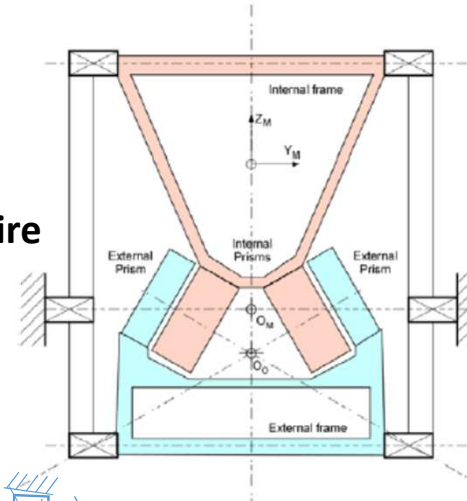
- ☺ transparent sur la bande $15,5\mu\text{m} - 3,6\mu\text{m}$
- ☹ fragile, hygroscopique, biréfringent sous contrainte mécanique

=> Campagne de qualification menée par REOSC + ADS, avec coating Miroir, AR, SP



Film interféromètre

Le mécanisme double balançoire DSM



Assure une translation circulaire et concomitante

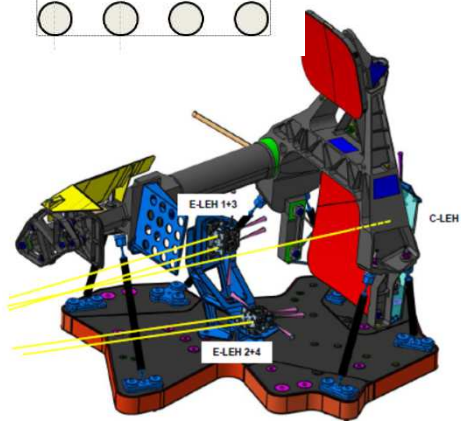
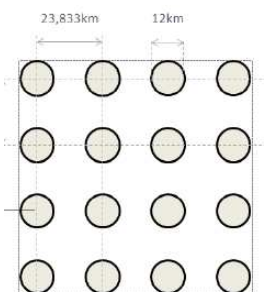
- des prismes externes
- des prismes internes

Avec une stabilité meilleure que qq μrad mécaniques

Schéma fonctionnel de l'instrument

Pupille d'entrée 90 mm

Champ en entrée +/- 3,3°



Film faisceau IASI-NG

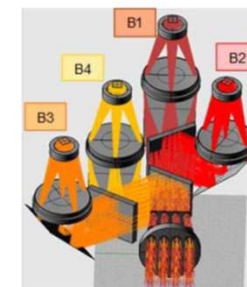
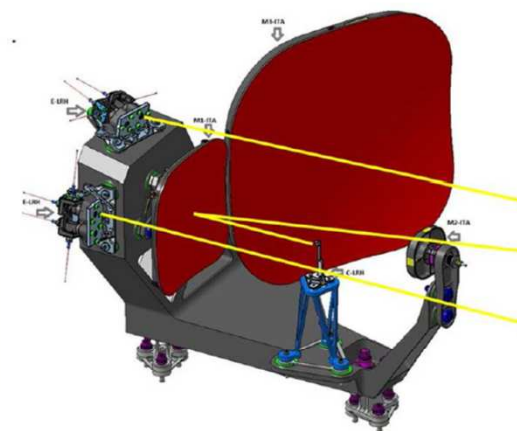
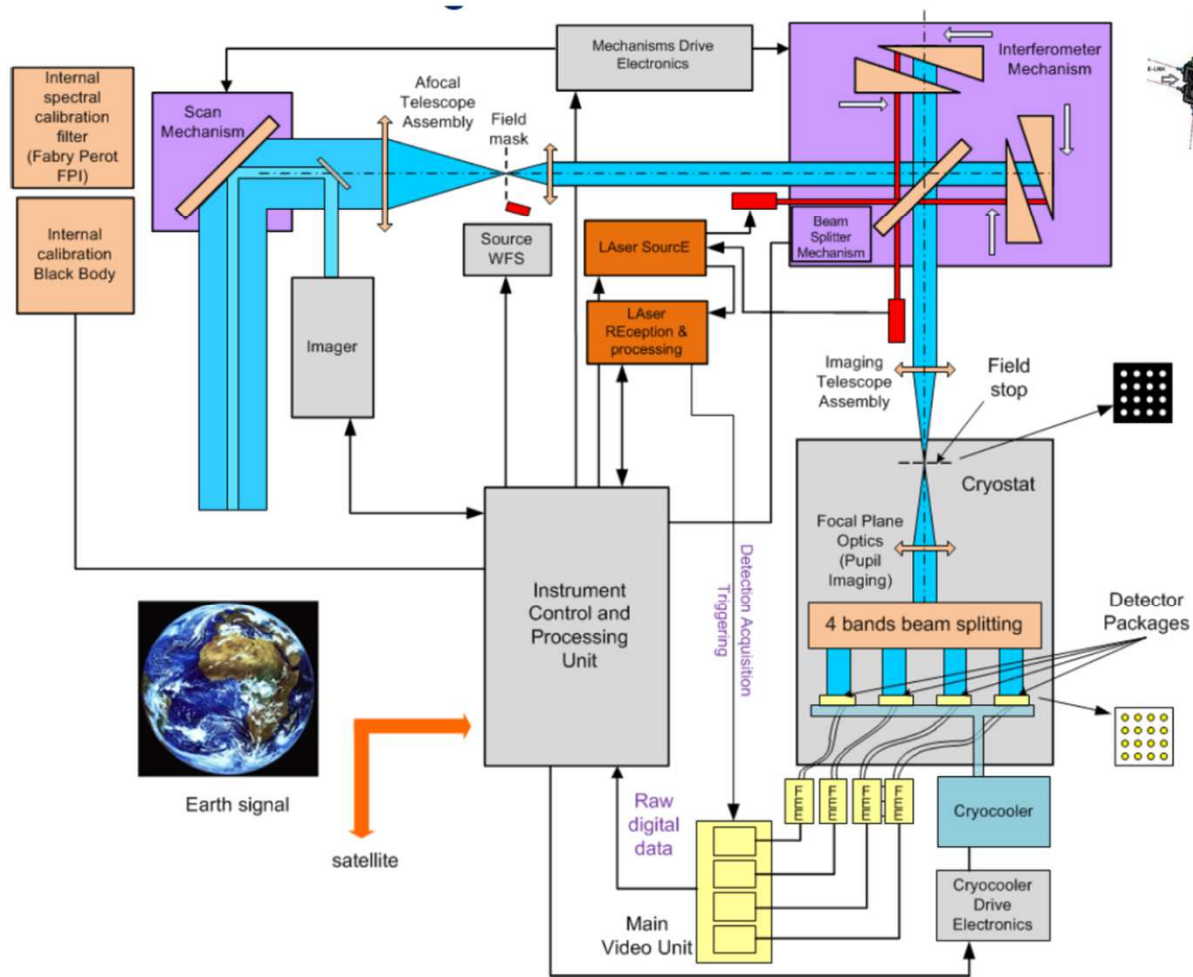
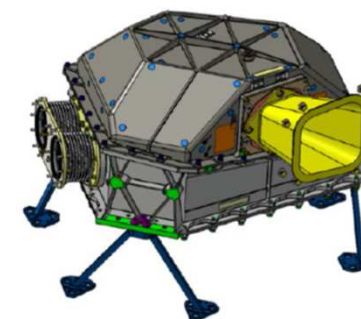
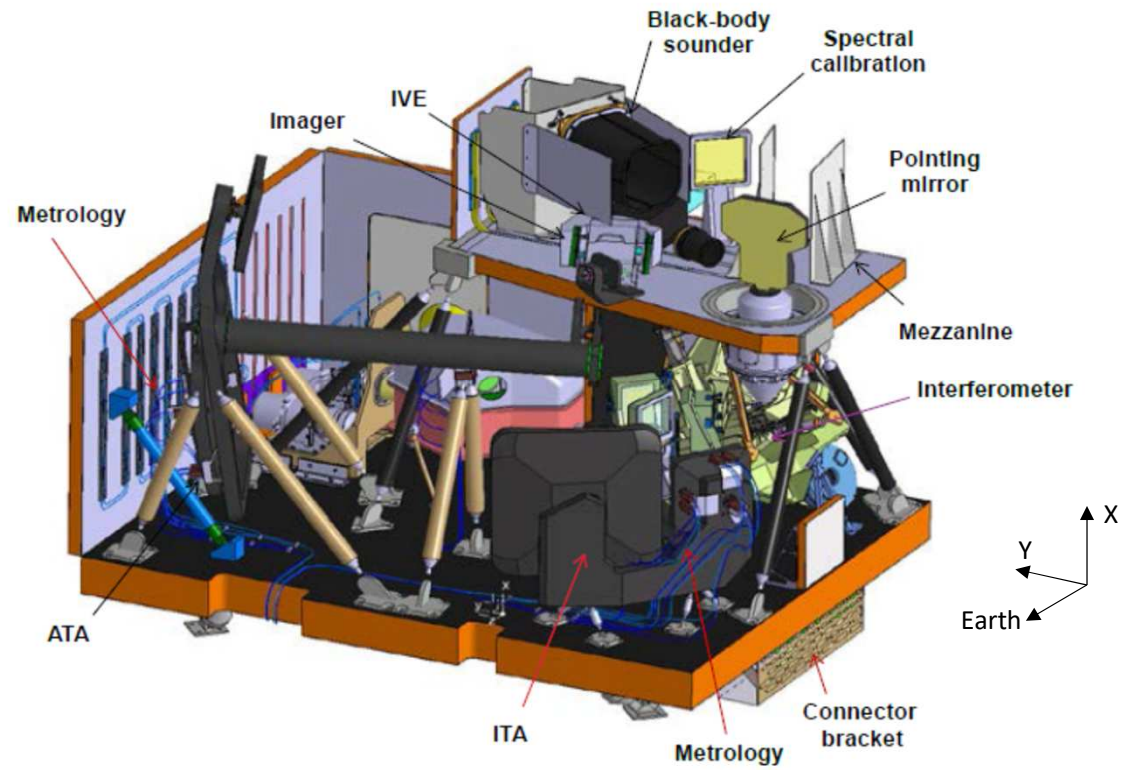
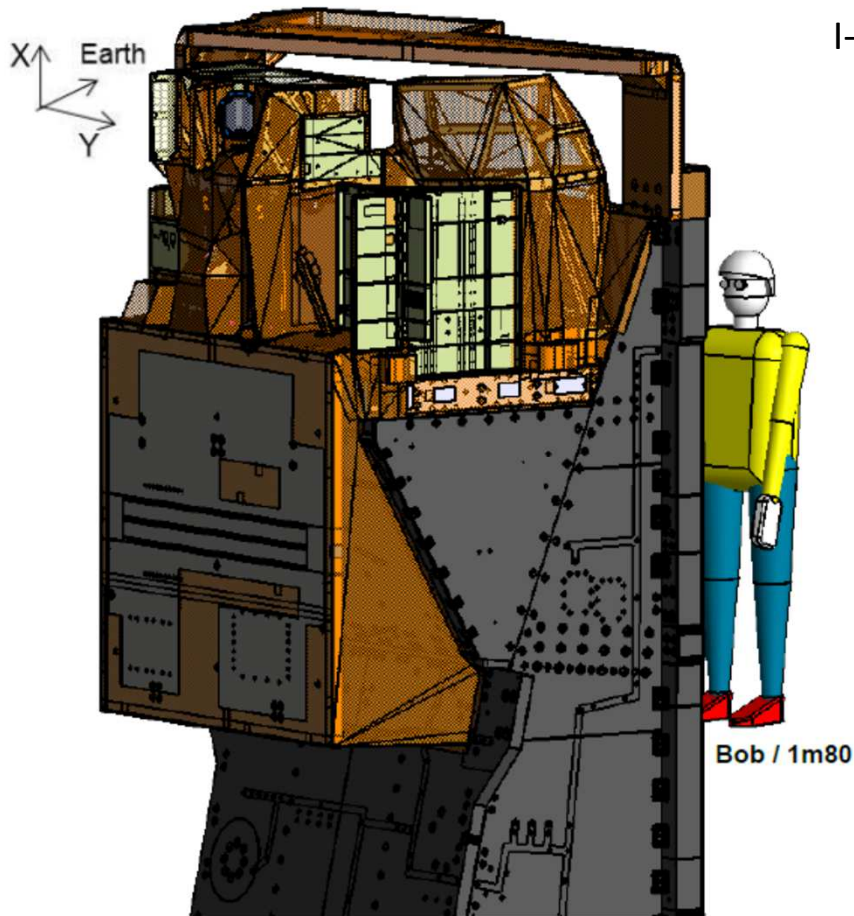


Figure 3.2: Four-channel Focal Plane Optics FPO

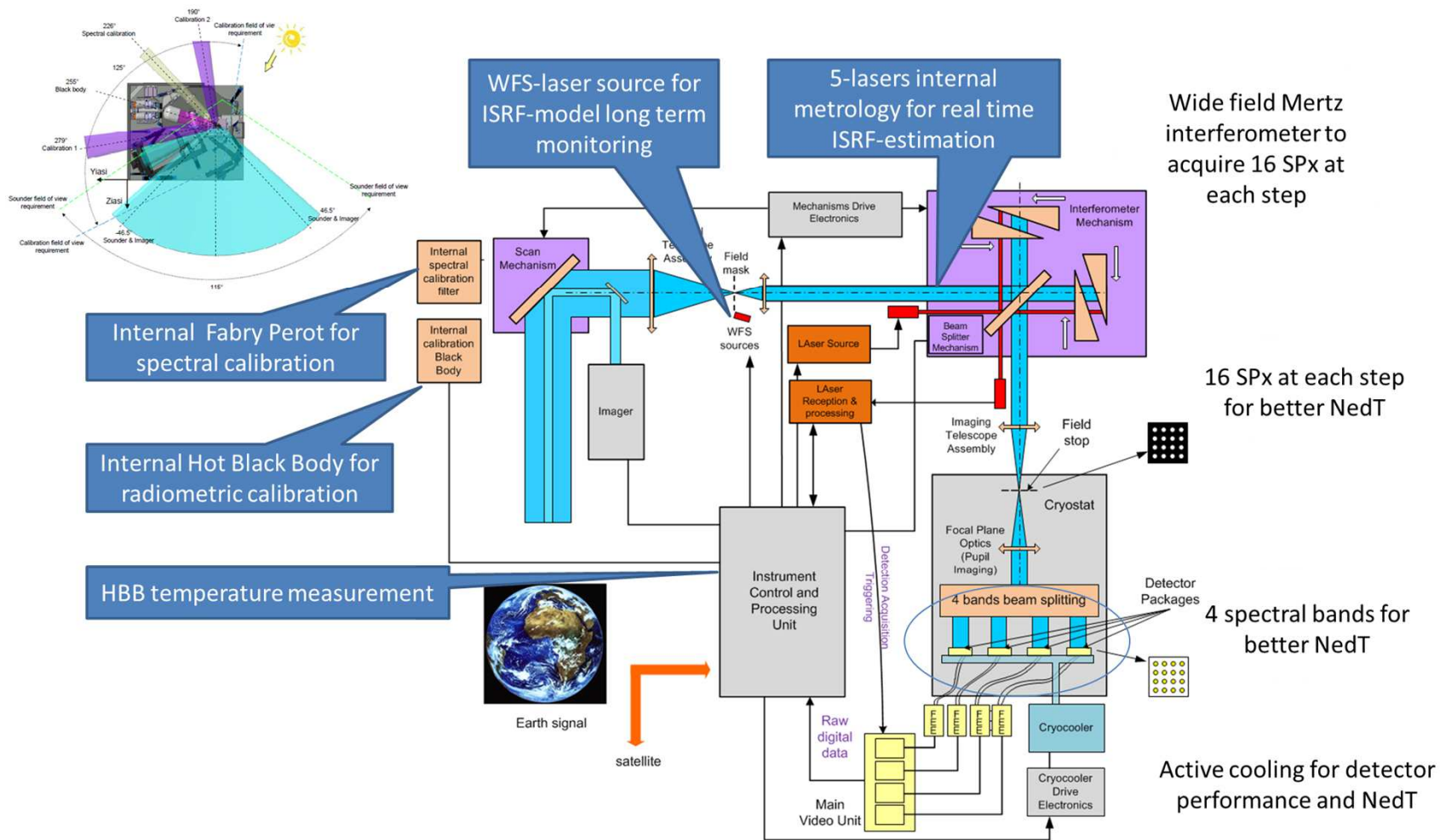


Aménagement mécanique

I-OH ~ 280 kg
I-EM ~ 130kg
500 W



La métrologie BORD



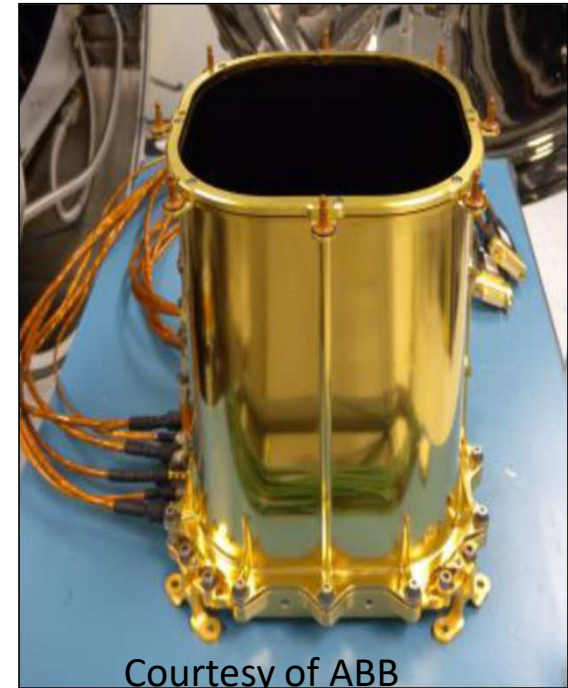
Corps noirs

Main specifications

- Black Body around 295 K with temperature knowledge @ 30mK
- Emissivity > 0,997 with a knowledge @ 0,001

IASI NG Hard Ware

- Developed by ABB, based on Vantablack™ (plate) and Acktar™ (baffle) coatings, covering the large field of view of IASI-NG with SI-traceability.
 - Calibration of the Temperature measurement chain to achieve 30mK is made with ultrastable resistors. Measurement chain is made by ADS.
- Radiometric calibration is made every 15 sec and average over 2min30sec for all Souder Pixels
- L'estimation de la performance de Bruit / NedT est faite notamment sur cette visée CN de calibration : impact de la contamination glace , vieillissement instrument



Courtesy of ABB

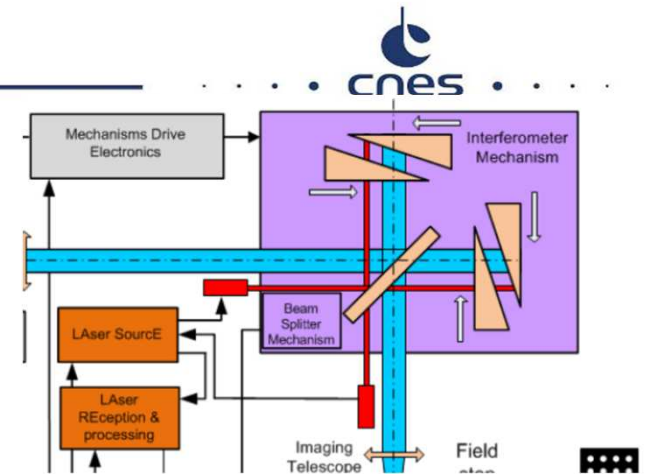
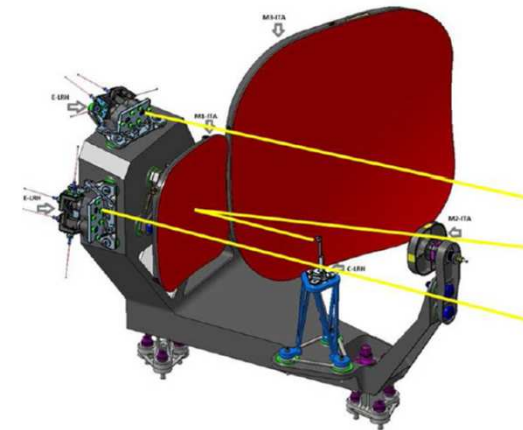
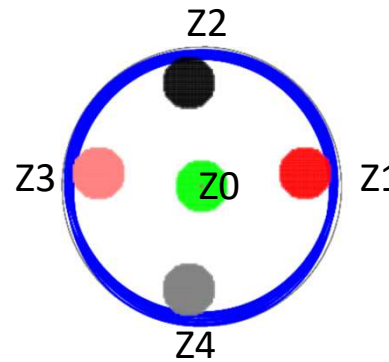
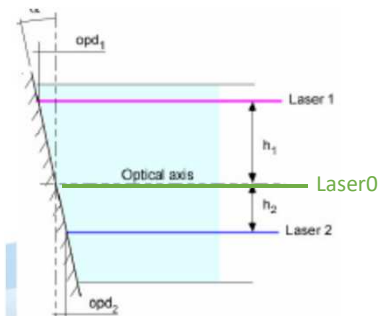
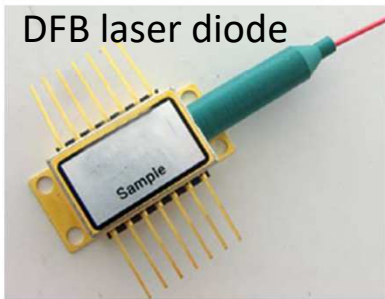
Metrologie à 1.5 μm

5 laser beam Metrology functions

- Central (L0) : trig acquisition at constant Optical Path Difference (OPD) @ 1,5 μm
- All (L0-L4) : Science OPD measurements at 4,5 kHz, accuracy < 1 nm

On board-Metrology HardWare

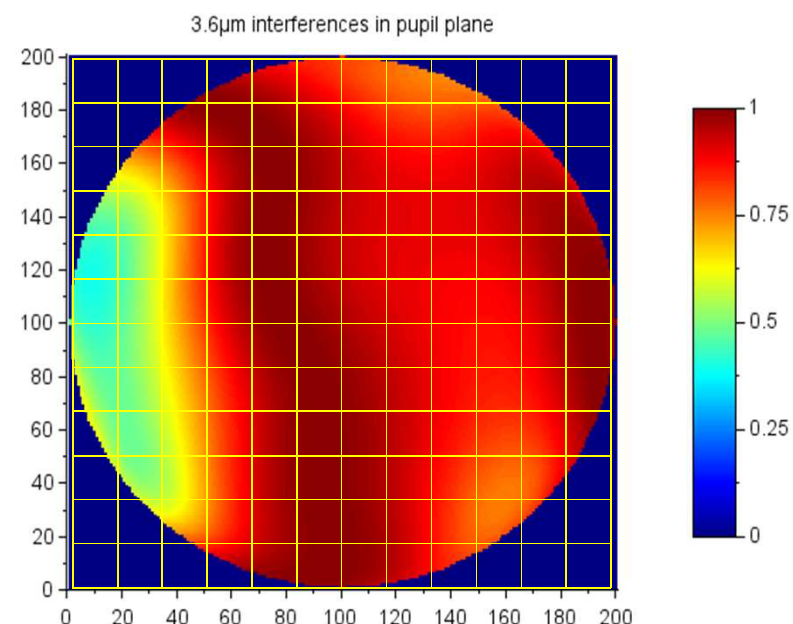
- LASE (Kongsberg) : Stabilized laser module using a 1.5432 μm diode and acetylene line
- LARE (Erms) : metrology interferogram acquisition and processing for OPD estimation



Laser @ 3,6 μm

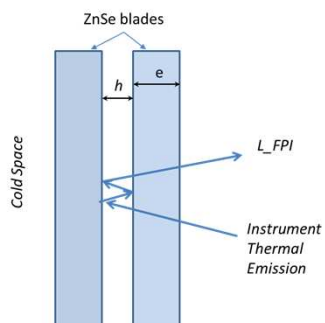
- Source ponctuelle dans le champ pour des mesures d'ISRF en vol en bout de bande science => mesure de l'ISRF en vol, stabilité de raie non garantie, mais monochromatique => forme de l'ISRF
- Vision du front d'onde grâce aux détecteurs matriciels dans le plan pupille, et un mode de lecture particulier.

ICL



Système optique complet, incl. fibres LVF, intégré par Bertin Tech.

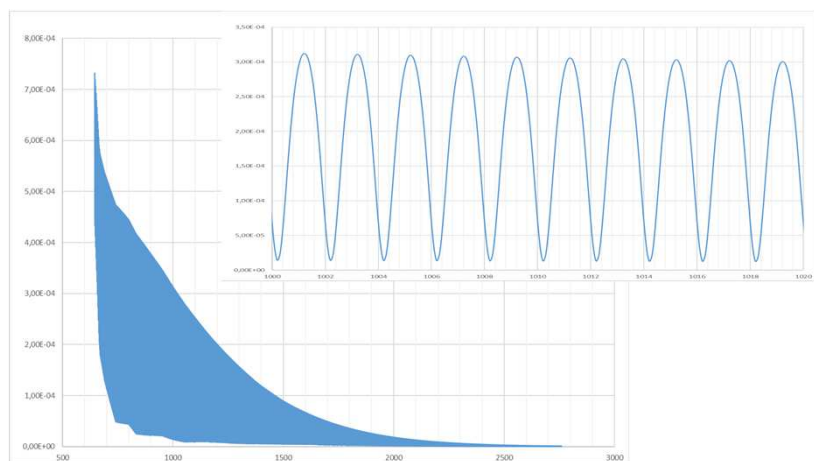
Fabry Perot



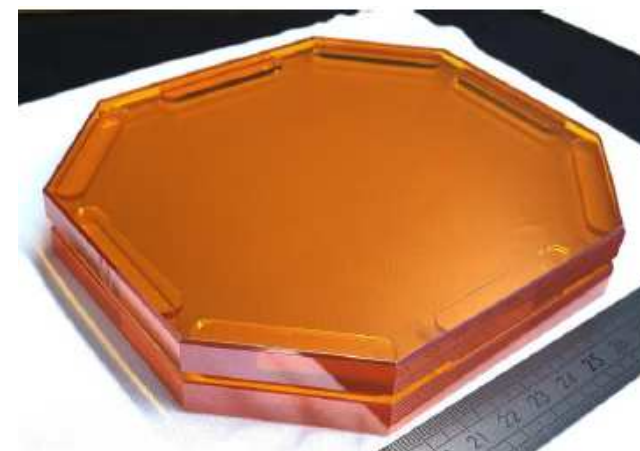
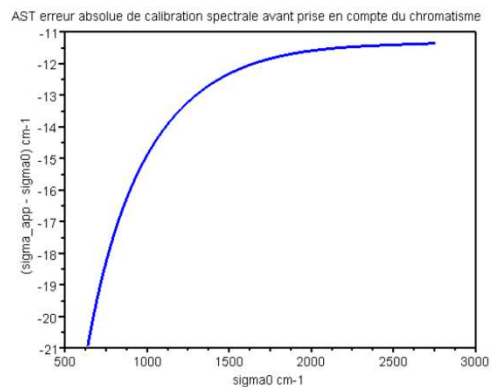
$$T_{FPI}(\nu, \theta) = \frac{1}{1 + F \cdot \sin^2(2\pi \cdot h \cdot \cos \theta \cdot \nu)}$$

« Peigne » de pas ~ 2 cm⁻¹

Idée : échantillonner plus finement que l'atmosphère la loi de calibration spectrale



Spectre simulé de la visée FPI



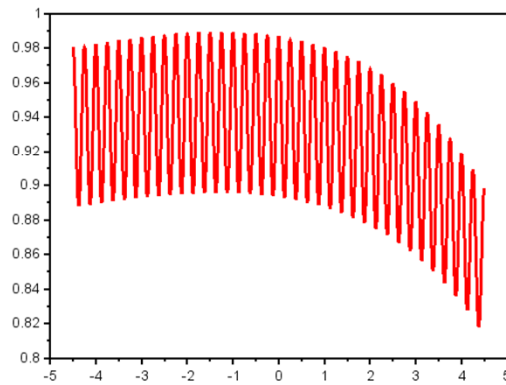
FPI-ZnSe-blades

Modèle de correction au sol et performances

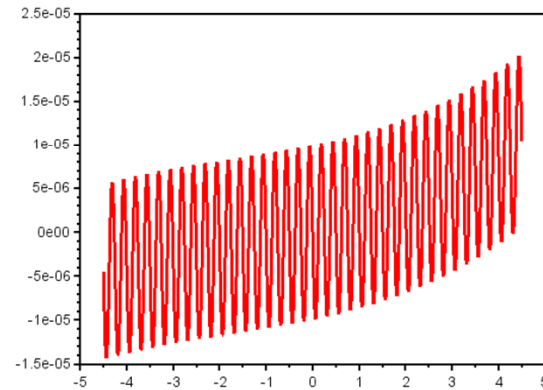
Acquisition science et modèle sol de la réponse

Interferogrammes $ME \cdot e^{2i\pi\sigma(OPD+\delta OPD)}$

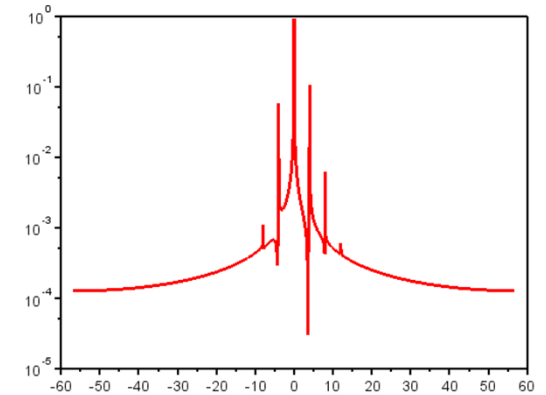
ME



δOPD



ISRF en log



- ⇒ Basses fréquences ~ effets WFE => correction basée sur des caractérisations sol
- ⇒ Hautes fréquence ~ vibrations de TILT => correction basée sur la métrologie temps réel à 1,5 μm

Acquisition science et modèle sol de la réponse

Les 5 interférogrammes des 5 faisceaux laser sont convertis à bord en OPD : Z_j

Le laser central sert de trigger d'acquisition à OPD constant : Z_0 est la règle d'OPD science et métrologie

Les Z_j sont remaniés pour décrire les variations du plan pupillaire suivant les 1er polynômes de Zernike : tilt, focus, astig

L'OPD science est exprimée comme une combinaison linéaire des OPD lasers

$$OPD_{science}(Z_0) = A_{cal}Z_0 + \delta OPD_{char} + C_{air}\delta Focus + C'_{\Delta P_g}\delta Astig + C_{BSu}\delta\alpha_u + C_{BSv}\delta\alpha_v$$

puis intégrée dans le champ et la pupille pour reconstituer l'efficacité de modulation science...

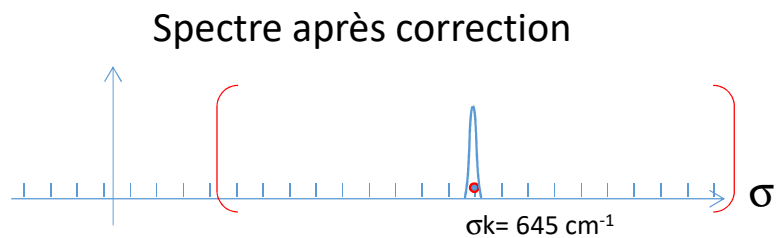
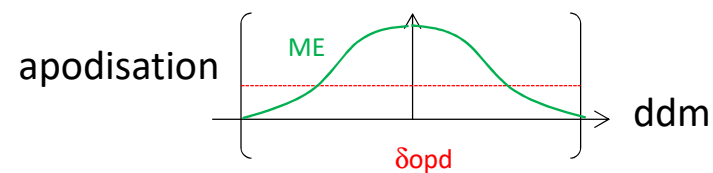
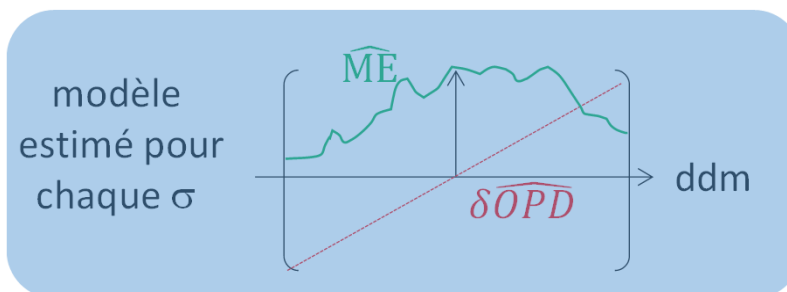
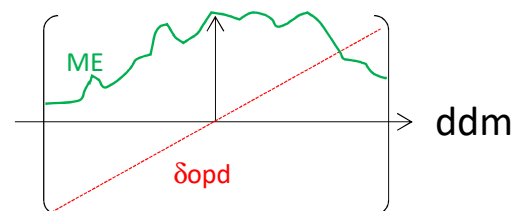
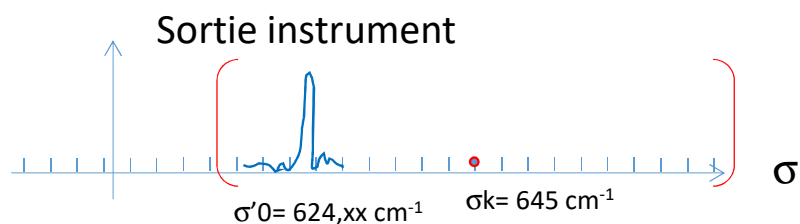
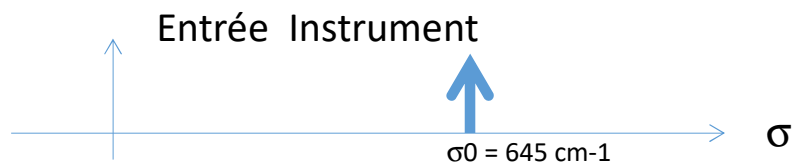
Les coefficients sont issus d'un modèle numérique de l'instrument intégrant en entrée des caractérisations

$$\iint_{ch,pup} W(ch, pup) \cdot e^{2i\pi\sigma(OPD_{science}-OPD_{laser-0})} dch \cdot dpup = \widehat{ME}(met + char) e^{2i\pi\sigma \cdot \delta\widehat{OPD}(met+char)}$$

Le coefficient A_{cal} linéaire en Z_0 , correspondant à la calibration spectrale (décalage spectral moyen) est mis à jour avec des acquisitions d'étalonnage en vol sur l'atmosphère et sur un FP, au sol sur cellule à gaz

Les autres coefficients liés à la WFE/tilt peuvent être surveillés, voire mis à jour avec les acquisitions WFS laser @ 3,6 μm

Principe de la correction du spectre : déconvolution



$$IFG_{L0r} = G \cdot ME \cdot e^{2i\pi\sigma \cdot (OPD + \delta OPD)} \times \frac{1}{\widehat{ME}} \cdot e^{-2i\pi\sigma \cdot \widehat{\delta OPD}}$$

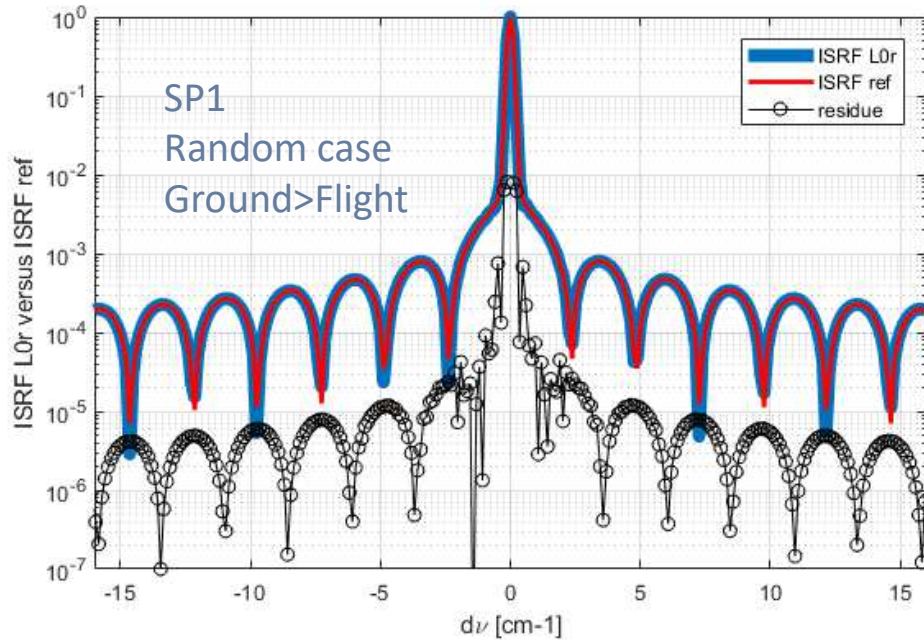
Performances spectrales

Résultats d'estimation de performances par tirages aléatoires de défauts de réalisation et bougés sol vol fin de vie

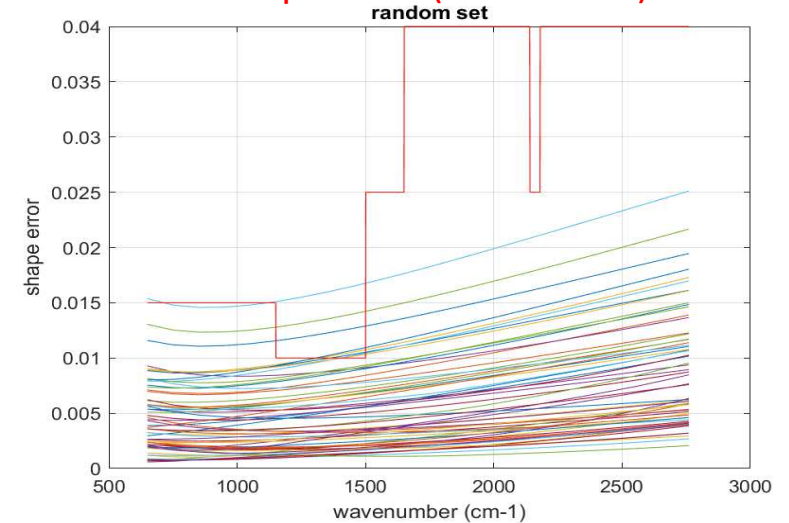
Performances exprimées après correction par processing sol

$$IFG = \underbrace{ME \cdot e^{2i\pi\sigma \cdot (OPD + \delta OPD)}}_{\text{Measured IFG}} \times \underbrace{\frac{1}{ME \text{ (met + charac)}} \cdot e^{-2i\pi\sigma \cdot \delta OPD \text{ (met+charac)}}}_{\text{Processing corrections}}$$

Requirement	Perfo WC	Spec
A priori knowledge of centroid shift	$3.4 \cdot 10^{-5}$	$<10^{-4}$
Centroid shift stability over calibration period	$5.4 \cdot 10^{-7}$	$<5 \cdot 10^{-7}$
Seasonal centroid shift drift	$3 \cdot 10^{-7}$	-
A posteriori knowledge of centroid shift	645 cm ⁻¹ : $1.2 \cdot 10^{-6}$ 2760 cm ⁻¹ : $4.9 \cdot 10^{-7}$	$<5 \cdot 10^{-7}$
Shape error	See figure below	

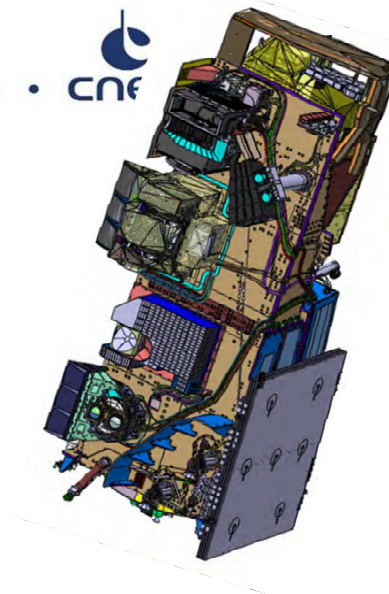
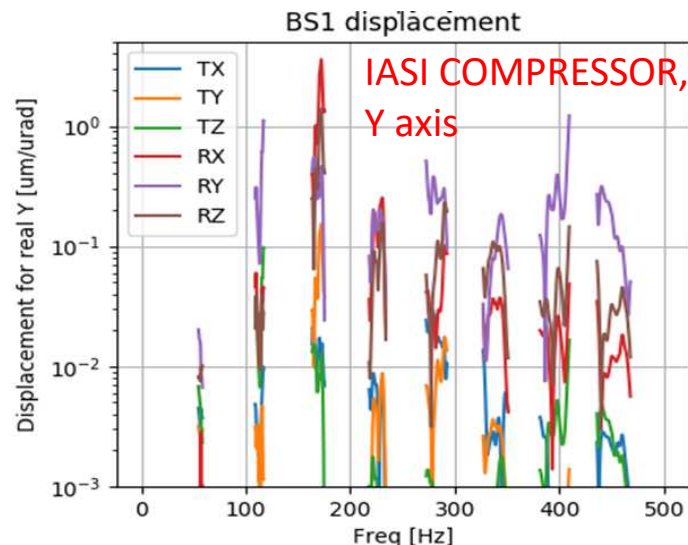


SP8 : Shape error (main terms)



Estimation des performances en microvibration

- Analyse mécanique des modes sur un modèle couplé instrument + sat
- Vibration des éléments dans l'IFM
 - Rotations : 5 μ rad (BeamSplitter)
 - Translations : 100 nm
- Contributeur majoritaire : l'instrument lui-même et son cryocooler



	PIPS_130 @650cm-1	PIPS_130 @2760cm-1	PIPS_135 @650cm-1	PIPS_135 @2760cm-1
Single harmonic WC [20 μ rad μ vib WFT & 16 μ rad ZPD]	0.069	0.318	0.002	0.04
Single frequency WC (sum on harmonics)	0.138	0.636	0.003	0.062
Total (sum on contributors)	0.29	1.25	0.0045 (*)	0.092 (*)
Status (vs Spec)	NC (0.25%)	NC (0.25%)	C (0.025%)	NC (0.025%)

Excitator	Frequency [Hz]	Max rot [μ rad]	Max tra [μ m]	Comment
IASI COMPRESSOR	172	3.3	0.15	BS RX mode aligned with H2
	112	2	0.15	BS RY mode aligned with H1
	405	1.5	0.1	BS RY mode aligned with H6
	223	2	0.1	PER RY aligned with H3
IASI COLD FINGER	172	2	0.1	BS RX mode aligned with H2
	230	1	0.1	PER RY mode aligned with H3
MWS SCAN	130	1.5	0.08	BS RY mode
METI CRYOCOOLER	130	1	0.01	BS RY mode aligned with H1
	200	0.7	0.05	PER RY mode aligned with H2

(*) WC SP because sensitive to ZDP WFT, sum on 3 WFT μ vib (5-10-20 μ rad)

Performances calibration radiométrique

$$S_{\text{cal}} = \varepsilon_{BBI} \cdot \text{Planck}(T_{BBI}) + (1 - \varepsilon_{BBI}) \cdot \text{Planck}(T_{BBI}) \cdot \text{Re} \left[\frac{S_{EV} - S_{CS}}{S_{BBI} - S_{CS}} \right]$$

Contributeurs au bilan

- Postes delta entre visées Terre et Calibration
 - Fond instrument, température de l'instrument
 - Gain de l'instrument : optiques + chaîne de détection
 - Résidus de non linéarité de réponse détecteur
 - Lumière parasite différentielle
 - Variation différentielle du contraste
- Postes corps noir interne:
 - Émissivité ε_{BBI}
 - Température T_{BBI}

Vérification de la performance prévue sur l'instrument avec BBexterne de température variable entre 210K et 310 K

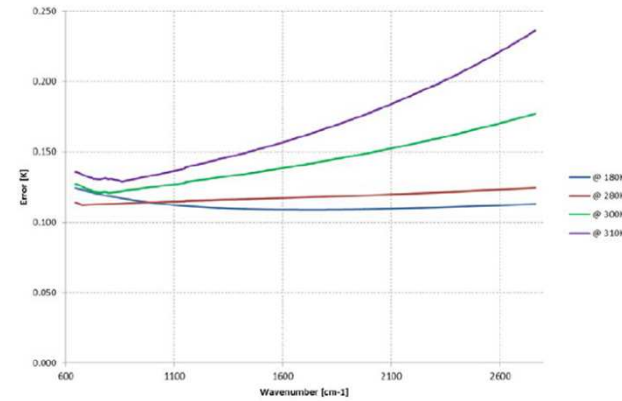


Figure 4-41: Absolute radiometric error, for different scene temperatures

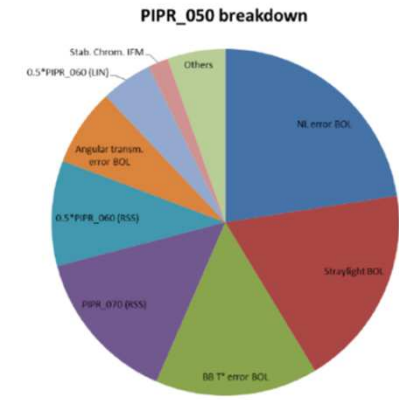
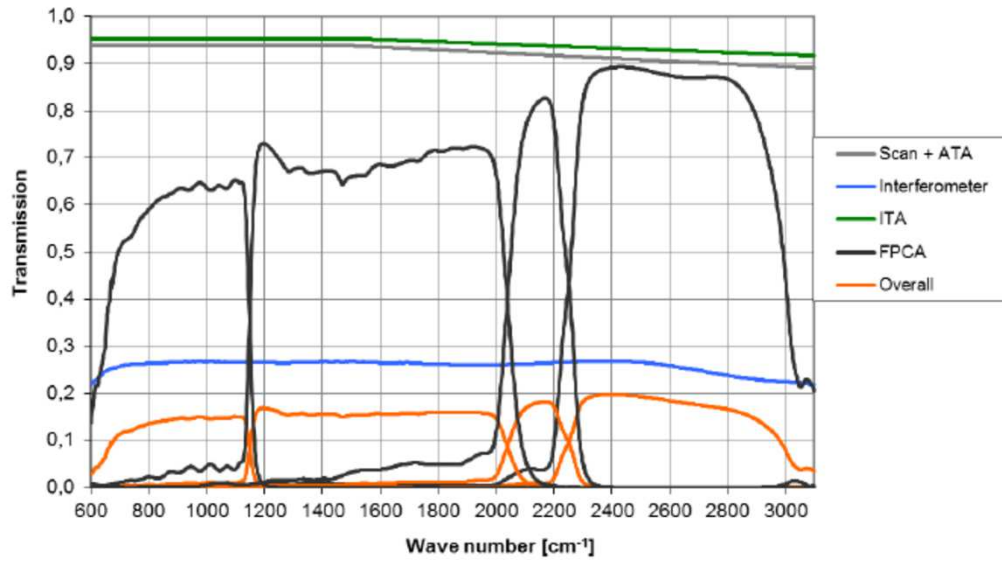


Figure 4-42: Major contributors to the absolute error, for a scene at 280K

Requirement	Perfo WC	Spec
Sounder absolute calibration	0.18 K	<0.25 K
Calibration error over orbit	0.125 K	<0.1 K
Calibration drift over mission	0.067 K	<0.1 K
Calibration error over spectrum	0.121 K	<0.1 K
Calibration error over scan	0.124 K	<0.1 K

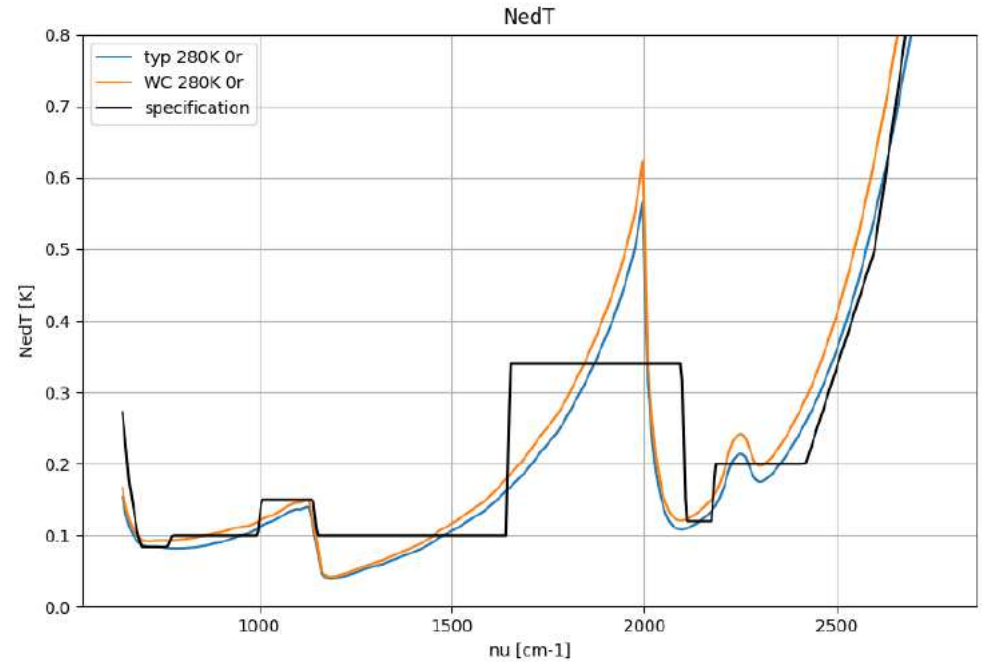
Performances radiométriques

- Transmission optique



- NedT L0r

$$NedT(\sigma) = \frac{Planck(T_{sc})}{\frac{\partial Planck(T_{sc})}{\partial T}} \cdot snr$$



Exemples de mesures au sol

Différentes mesures au cours de la fabrication

- Niveau composant
 - WFE
 - Tilt mécanisme
 - Lasers métrologie
 - Détecteur
 - (...)
- Niveau sous ensemble
 - IFM : DWFE, mesures lasers, FT meca
 - FPCA : transmission, signal
- Niveau instrument
 - Scènes représentatives, BB, lasers, Cellule à Gaz, visée soleil.

Utilité des métrologies sur « composants », « sous ensemble », « instrument » :

1- recette vis-à-vis d'une spécification et acceptabilité des fournitures => processus « industriel »

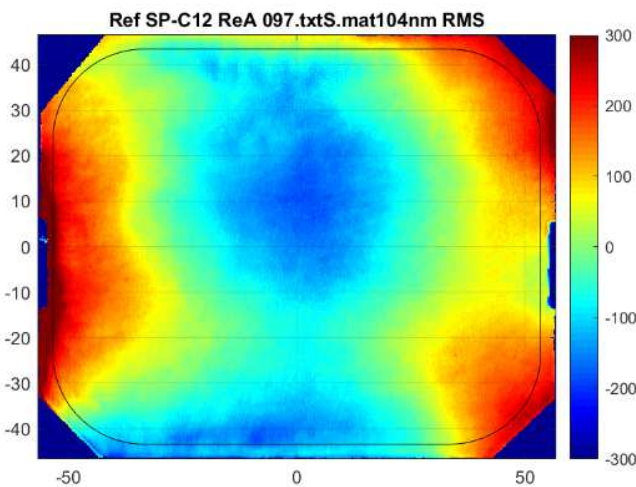
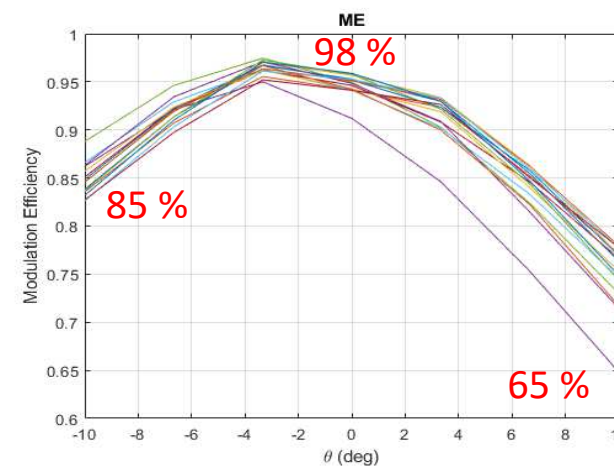
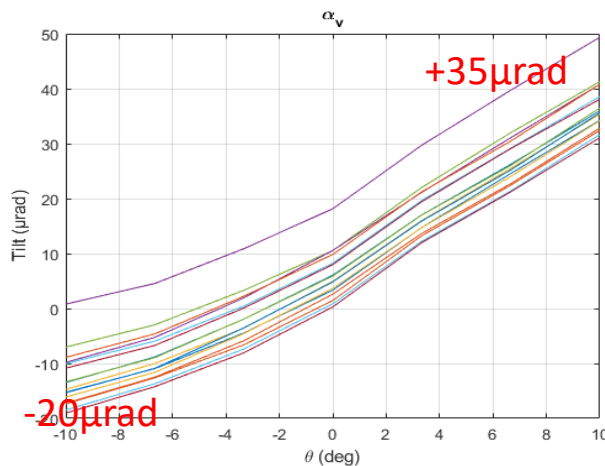
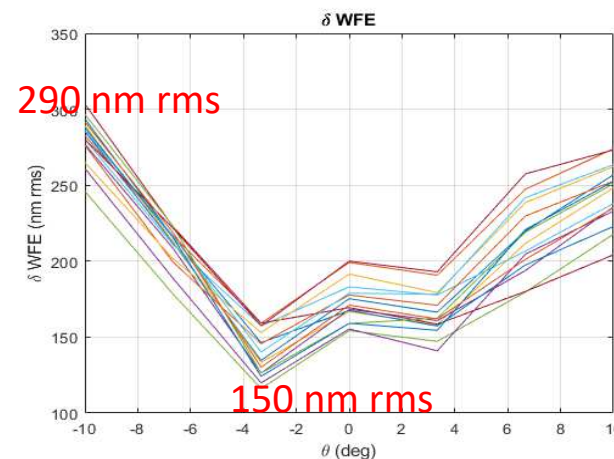
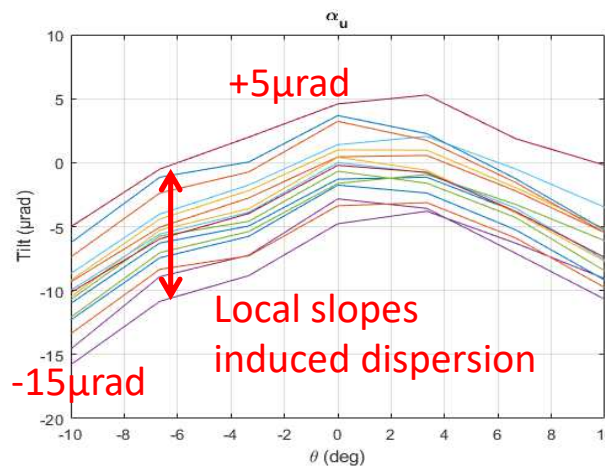
2- caractérisation fine qui peut entrer dans les bilans de performance complet et dans le « modèle estimé » pour la correction des mesures => processus « performance »

Mesures de niveau composant

Performances estimées pour les 16 pixels sondes

PFM MSE (100 nm rms over surface, < 60 nm rms over pupil but local slopes)

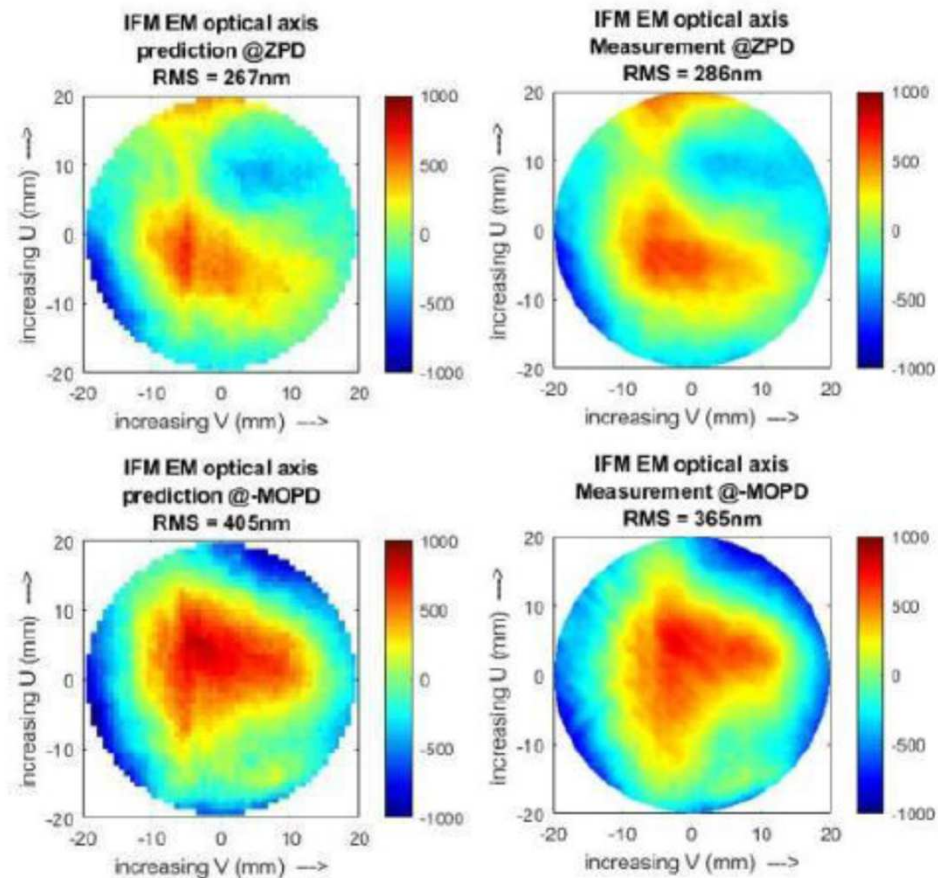
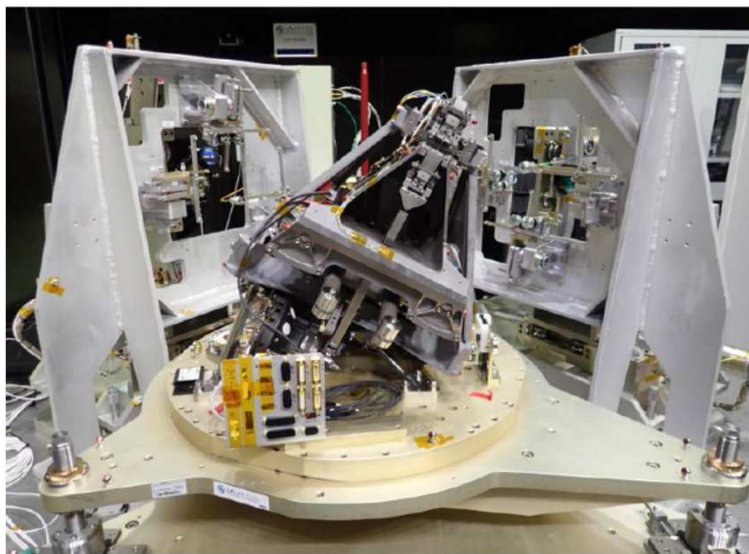
DSM EM characterization (MOPD tilt about 15 μ rad)



• SEPARATING PLATE PFM

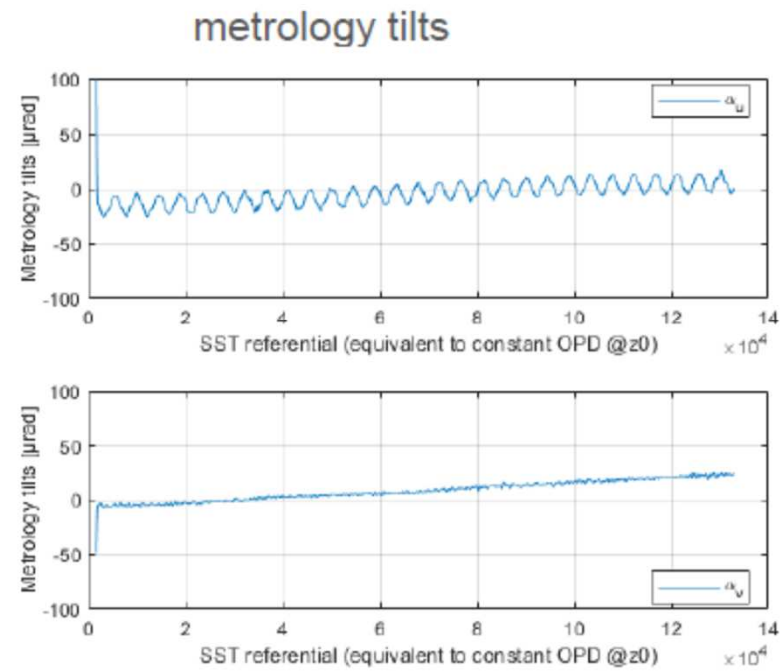
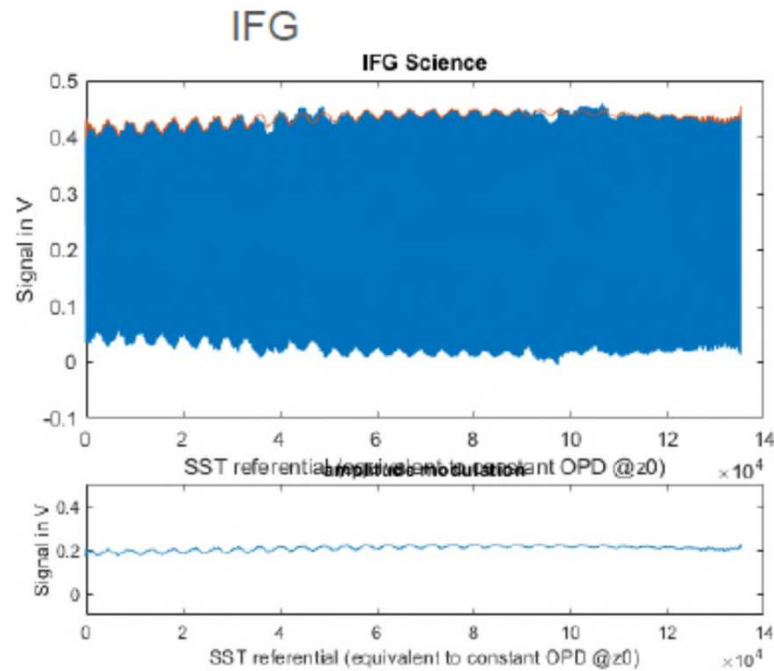
Mesures de niveau assemblage IFM: cartes de DWFE à 1,55µm

IFM-EQM sur l'IFM-OGSE



Mesures de niveau IFA, avec la métrologie opérationnelle

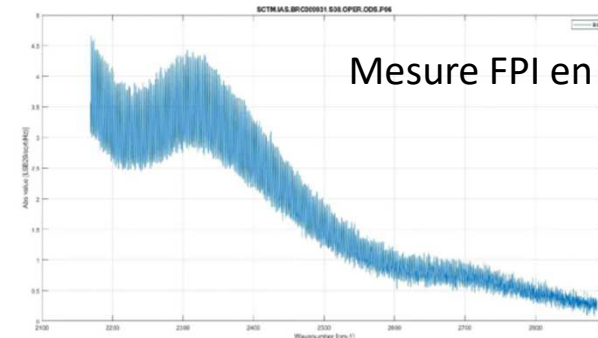
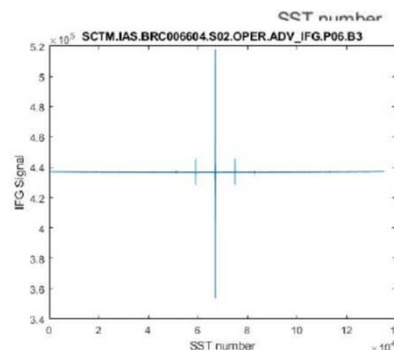
measurement example :



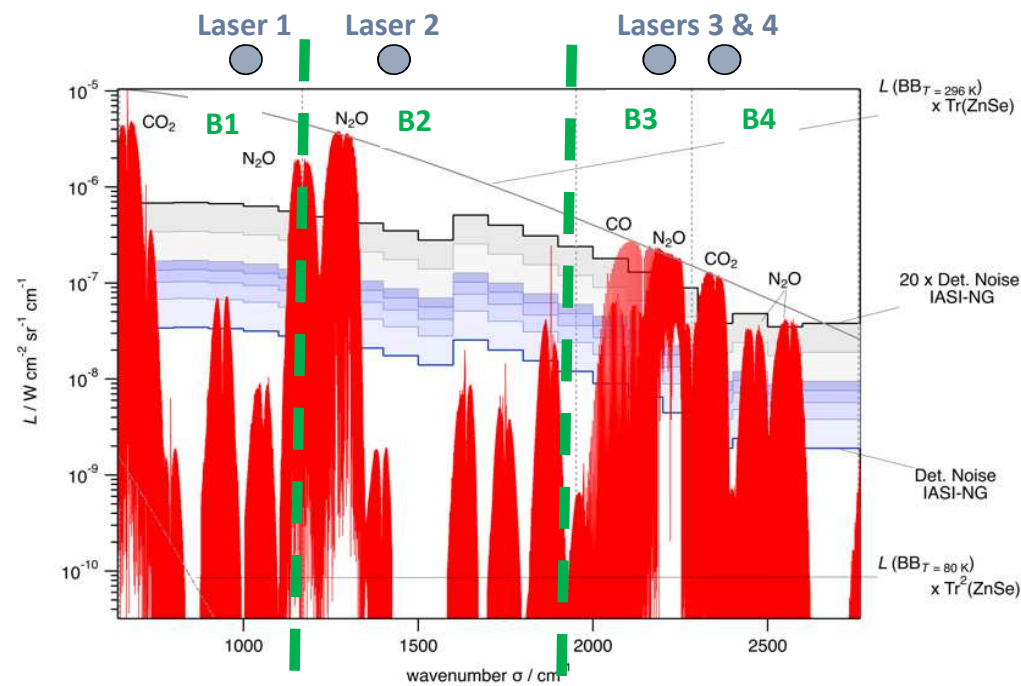
Acquisitions cohérentes des prévisions => exploitations en cours

Et la suite ?

- Mesures IFA-PFM en TVAC, vérification sous vide de la calibration spectrale avec Cellule à Gaz et FPI
- Assemblage et alignement de l'instrument « PFM »
- Mesures à l'ambiante des caractéristiques géométriques
- Mesures des caractéristiques spectrales et radiométriques en vide thermique avec différentes sources
 - BB de 200K à 310K
 - Cellule à Gaz N₂O + CO₂
 - Lasers QCL $\lambda < 12\mu\text{m}$



Mesure FPI en B4



Merci de votre attention

<https://iasi-ng.cnes.fr/fr/>