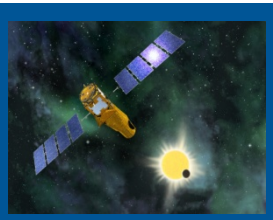
CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES



ELEMENTS DE MEMOIRE

© CNES - Mai 2004/Illus. D. Ducros

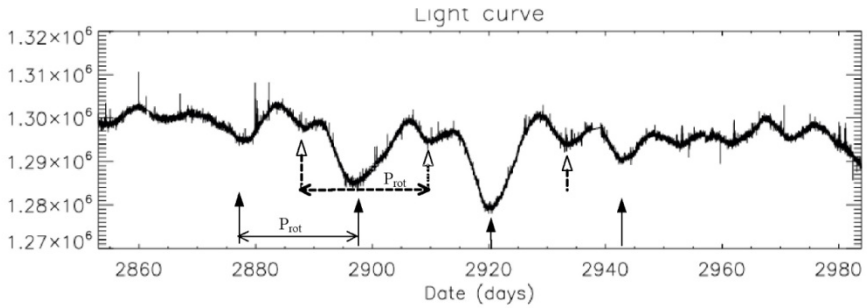
EQUIPE COROT

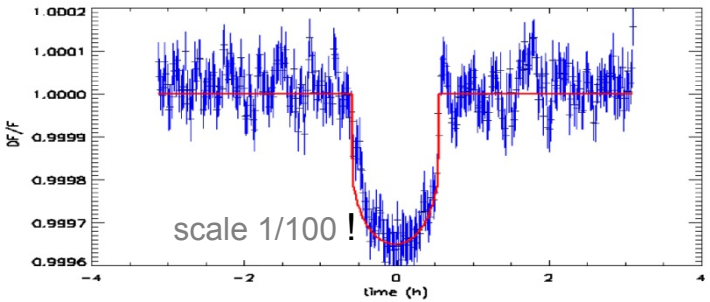
18 juin 2014

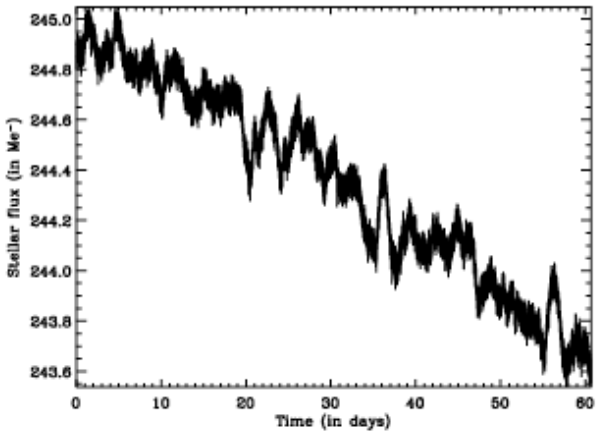
LES MESURES DE COROT

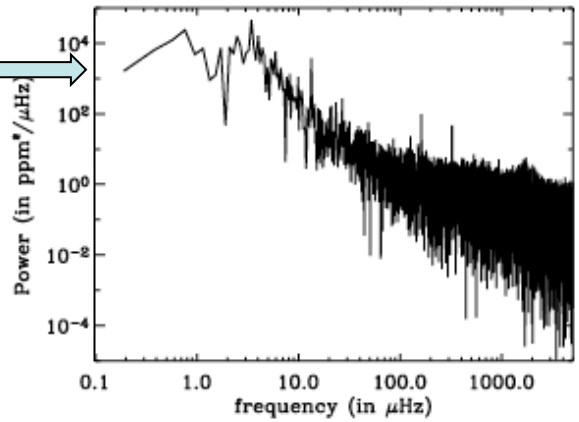
■ Les courbes de lumière

COROT 7-b , R = 1.7 R_{Terre} Periode< 1jour d ~5

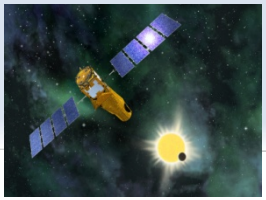






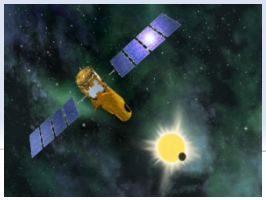


Domaine fréquentiel



LES ORIGINES

- Premières discussions en1993
- COROT est une « petite mission « au sens du séminaire de prospective de Saint-Malo (1993)
- Longue maturation portée par 2 personnes à qui il nous faut rendre hommage
  - Annie BAGLIN (CNRS – LESIA)
  - Frederic BONNEAU (French Space Agency, CNES)
- The projet a été arrêté 2 fois
- Finalement décidé en 2003 avec pour objectif un lancement en 2006
- 10 ans pour décider et seulement 3 ans pour développer (phases C/D

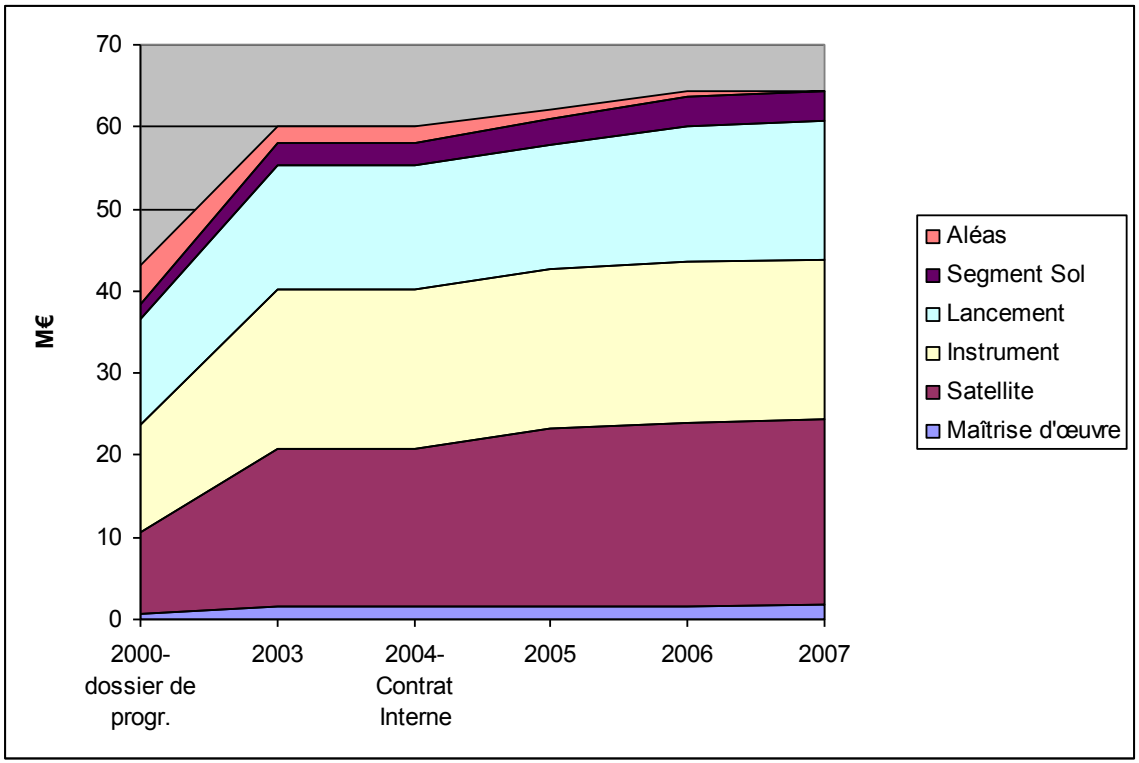


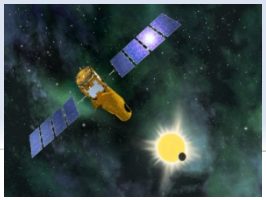
CE QUI RESTE EN MEMOIRE

- **LA DIFFICULTE DU PROJET**
  - **Techniquement très difficile**
  - **Budget relativement modeste L**
  - **a difficulté de la prise de décision a pour conséquence directe un fort surcoût (nouveau montage ➔ nouvelles interfaces)**
  - **Pression planning pour être une « première » mondiale**
  - **Complexité de l'organisation**
    - Laboratoires, CNES, 6 coopérations en multi-latéral : Allemagne, Autriche, Belgique, Brésil, ESA, Espagne
- **UNE FORTE IMPLICATION DU CNES**
  - **« Grand Système », Satellite, Filière Protéus, Charge Utile, Segment Sol, Opérations**
- **UNE FORTE PRISE DE RISQUE (PREMIERE MONDIALE)**
- **UNE EQUIPE TRES COMPETENTE ET TRES EXPERIMENTEE**

LES RESSOURCES DU PROJET

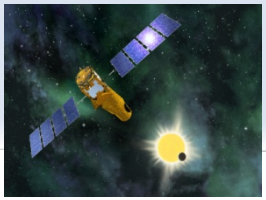
- ~160 M€ coût total dont 69 M€ de dépenses externes CNES
- ~500 h-an (dont 150 CNES)



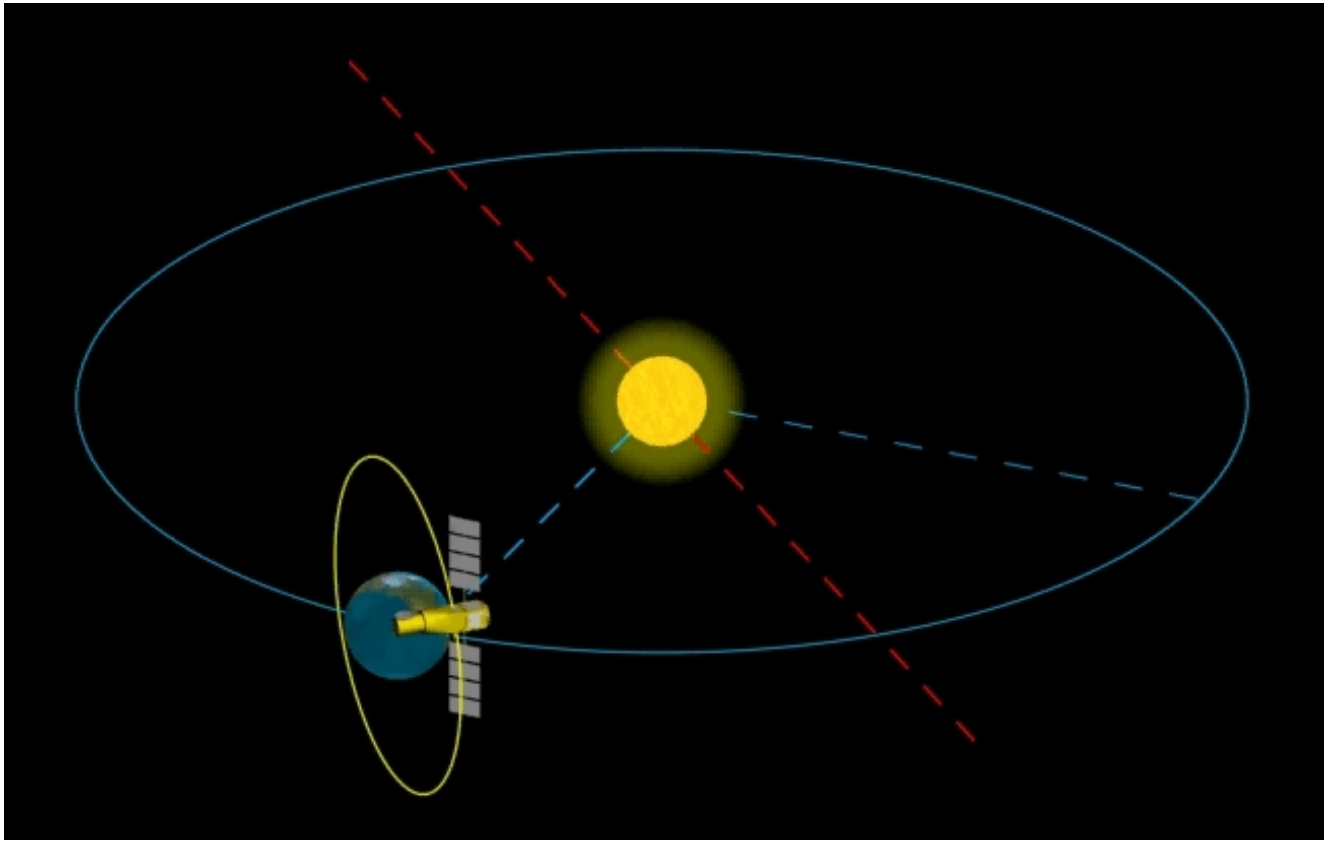


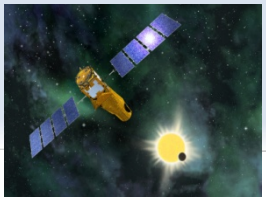
LES CHOIX « LOW-COST »

- **Petit satellite (600 kg, 500 W)**
  - **Utilisation de la filière PROTEUS**
- **Low Earth Orbit (LEO)**
  - **900 km strictement polaire (i = 90°, pas de rotation du plan orbital)**
  - **A cause du soleil dans le champ de vue, chaque observation est limitée à 150 jours ➔ pas de détection de planètes dont la période T> 50 jours**
- **Conduite de projet « allégée »**
  - **Aller à l'essentiel en terme de Qualité et de gestion documentaire et de configuration**



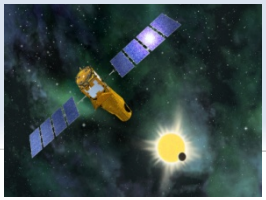
ANALYSE DE MISSION





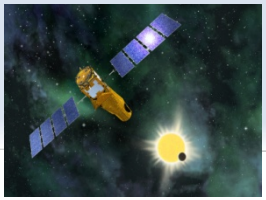
LES CLES DU SUCCES

- Compréhension des besoins scientifiques en terme de performances
- Analyse et traduction en performances photométriques
- Allocation des performances aux éléments du système
- Gestion du bilan des performances
- Maîtrise des interfaces



LA TRADUCTION DES BESOINS SCIENTIFIQUES

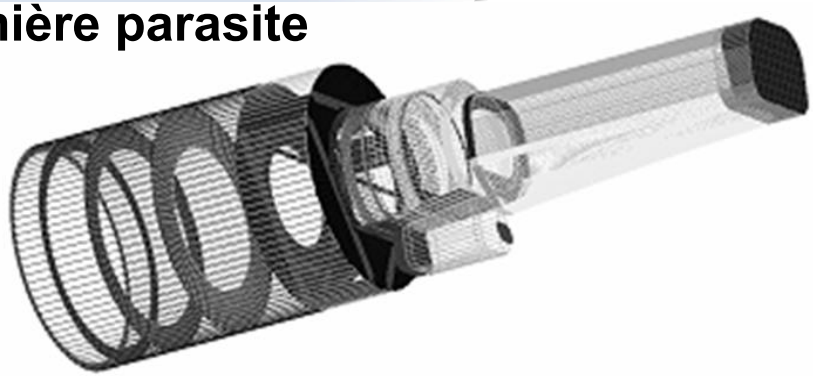
- **Sismologie stellaire**
  - analyse en fréquence des modes d'oscillation (pression, gravité) entre 0.1 et 10 mHz (entre 1 min et 3 heures)
  - observation simultanée de 10 étoiles (mv entre 6 et 9)
  - Les performances sont limitées par le bruit photonique = 0.6 ppm (en fréquentiel, soit 400 ppm en temporel)
- **Exoplanètes**
  - Profondeur d'un transit : quelques 10^{-4} soit (quelques centaines de ppm)
  - 12 000 étoiles dans le champ (mv entre 12 et 16)
  - somme des variances des bruits aléatoires = variance du bruit photonique

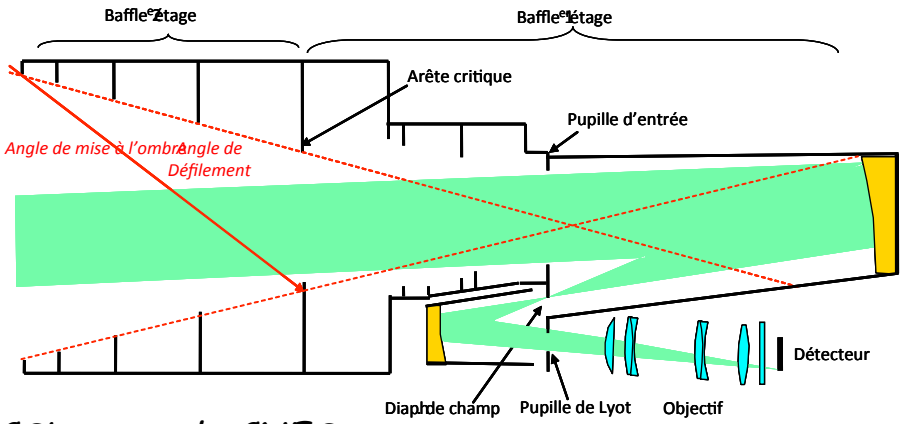


DECLINAISON EN ALLOCATIONS

- **Bruits aléatoire**
  - Chaque source de bruit doit être < 1/10 bruit de photons
- **Bruits périodiques**
  - Chaque source < 50 ppm (2 ppm après correction sol)
- **Bruit photons**
  - Luminosité des sources, taille pupille, transmission optique,
  - Etc.
- **Bruits des CCD**
  - Bruit de lecture, bruit électronique vidéo, courant obscurité,
  - Etc.
- **Perturbations environnementales**
  - Jitter du contrôle d'attitude, lumière parasite, thermique,radiations
  - Etc.

Lumière parasite





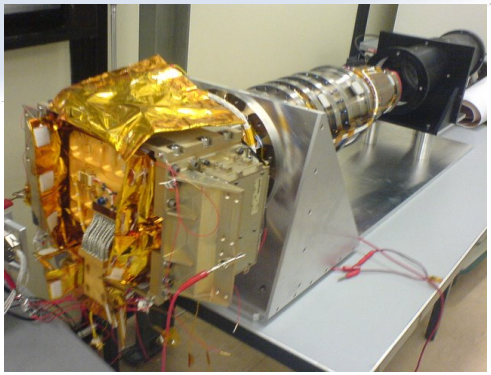
La modélisation de lumière parasite a été réalisée par le CSL et par le CNES.
Les deux études CSL et CNES ont été réalisées selon deux principes de modélisation :

- *Le CSL a mis en place une méthode de propagation séquentielle à travers le baffle. Tous les ordres de diffusion jusqu'à l'ordre 8 sont autorisés et la sélection est opérée d'une part par seuillage sur le flux de chacun des rayons et d'autre part en limitant le nombre de diffusion dans une même tranche à 2.*
- *L'étude CNES consiste à sélectionner les rayons par leur chemin et on limite le nombre de diffusion à 3. Un seuillage sur le flux est également réalisé..*

L'efficacité du baffle n'étant pas mesurable au sol, les vérifications ont porté sur :

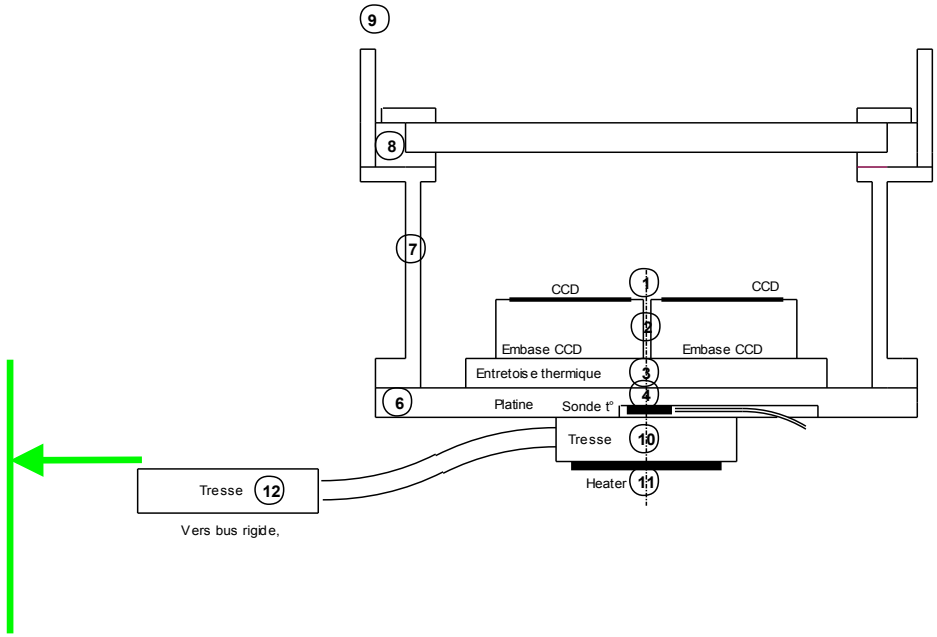
- *la conformité de la géométrie interne du baffle par rapport au design prévu,*
- *la qualité du traitement de surface à l'intérieur,*
- *l'absence de parties brillantes dans le baffle,*
- *la diffusion de la peinture utilisée comme revêtement intérieur.*

Régulation thermique des CCDs



- *Dans toute la chaîne d'acquisition, le CCD est le plus sensible à la température,*
- *Pour respecter la performance demandée (de l'ordre de quelques ppm) il faut une température stable à quelques mK.*

BLOC FOCAL

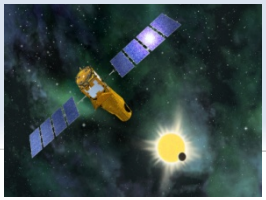


Pourquoi l'asservissement à cet endroit ?

- *Plus il est placé près du radiateur, plus la consommation électrique est importante,*
- *Plus il est près du détecteur, plus les fluctuations générées par l'asservissement sont vues par le CCD,*
- *Il est possible de bénéficier d'un filtre passe-bas apporté par:*
  - *la résistance thermique entre zone asservie et détecteur*
  - *et la capacité calorifique apportée par le bloc CCDs*

Et les résultats en vol…

3 ADU cr-cr soit <15 mK cr-cr



Spécifications du satellite : exigences en mode de pointage fin

- Erreurs Aléatoires hors SAA : 0.5 arcsec (1 σ) dans le plan focal
  - 0.3 arcsec sur les axes transverses et 24 arcsec sur l'axe de visée
  - Caractérisation de la performance obtenue dans la SAA

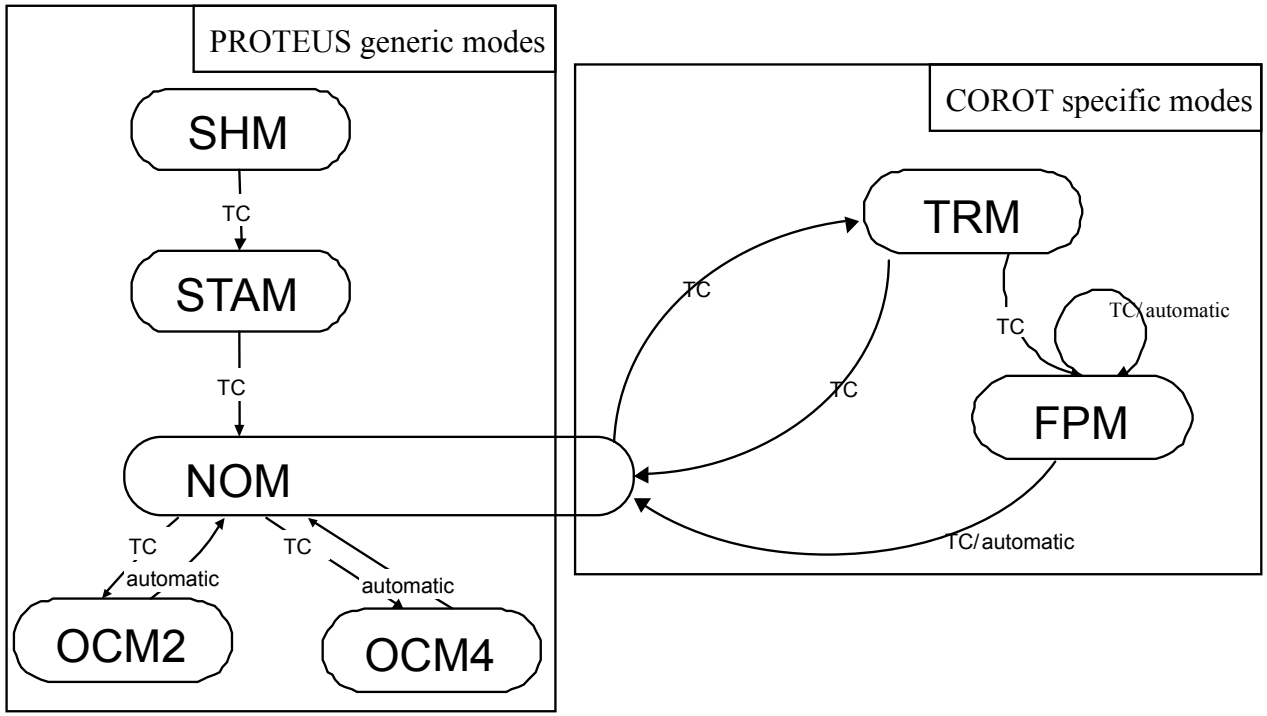
- Erreurs Harmoniques :

Bandes de fréquence	Nombre max de raies	Amplitude		
		Plan Focal	Axes Transverses	Axe de visée
[0.1; 0.5] mHz	2	0.2	0.1	4.4
[0.5; 1] mHz	2	0.2	0.1	4.4
[1; 10] mHz	2 raies max dont l'amplitude est supérieure à 0.02 arcsec dans le plan focal			

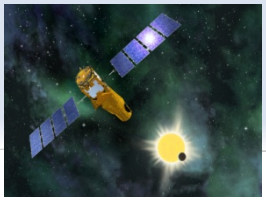
- Caractérisation des perturbateurs sur la bande scientifique : [0.1; 10] mHz lorsque le niveau de raie > 0.01 arcsec

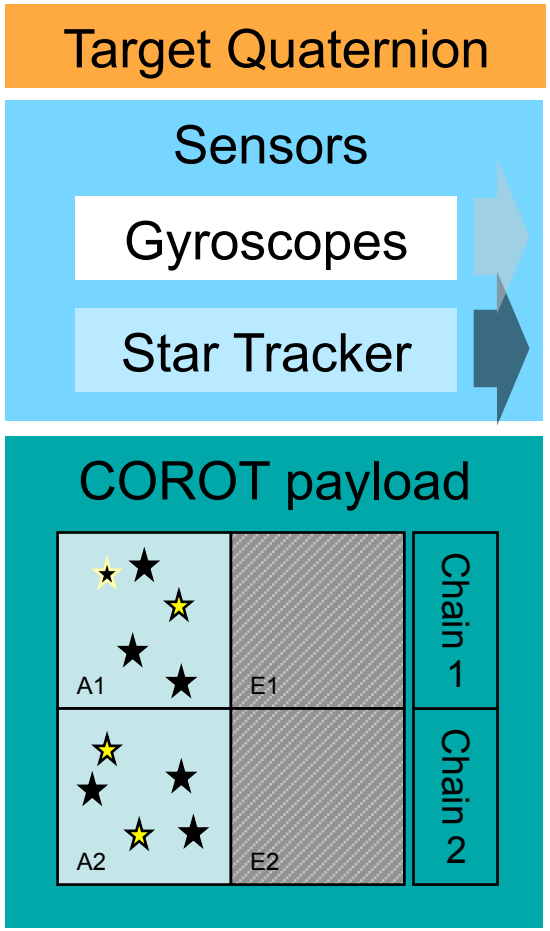
AOCS – Spécificités COROT

- **Marguerite des modes**



Spécifications du satellite : boucle SCAO en mode de pointage fin





PROTEUS

Estimator	Controller	Actuators
Kalman		Wheels
Filter		MTB

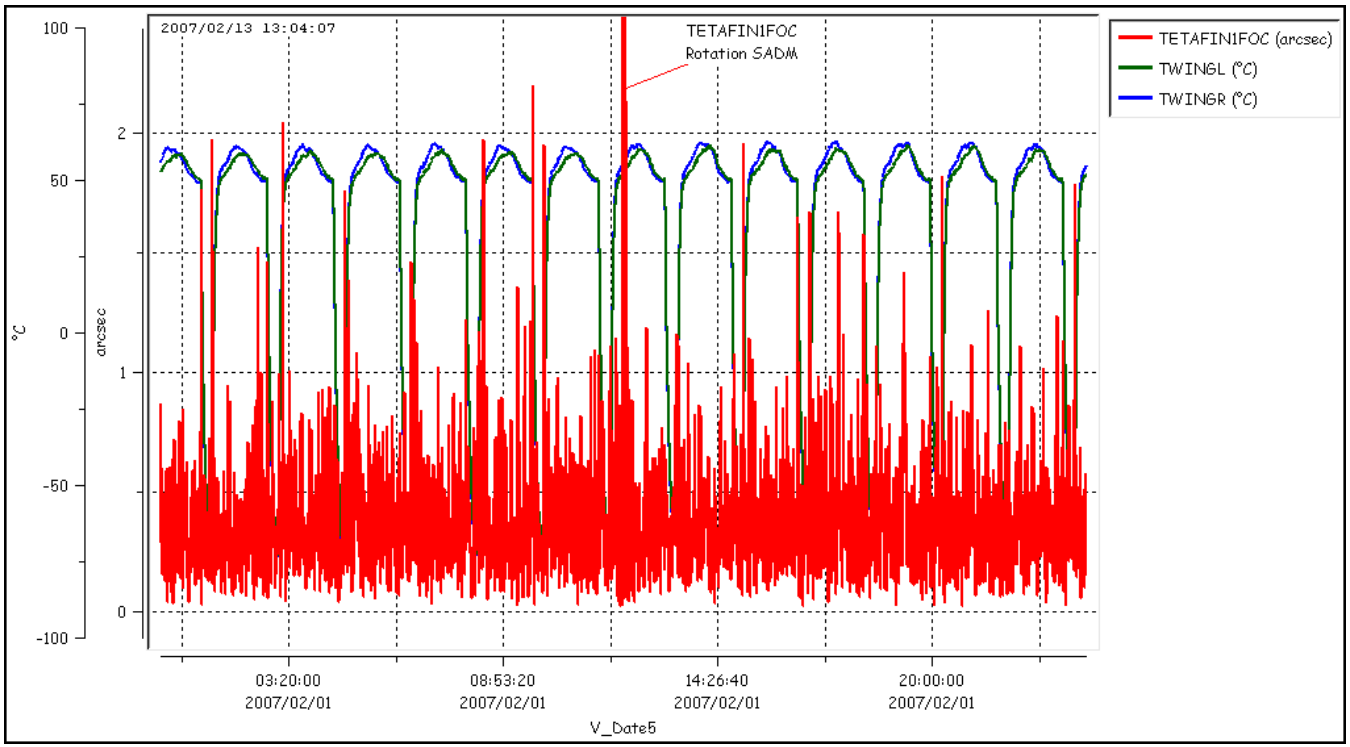
Ecartométrie :
$(\varphi, \theta, \psi, \text{validité})_{1,2}$

Boucle SCAO modifiée :

Les données d'écartométrie sont générées par les voies sismologie en redondance chaude sur 2 étoiles de référence

Modes TRM FPM + Ecarto

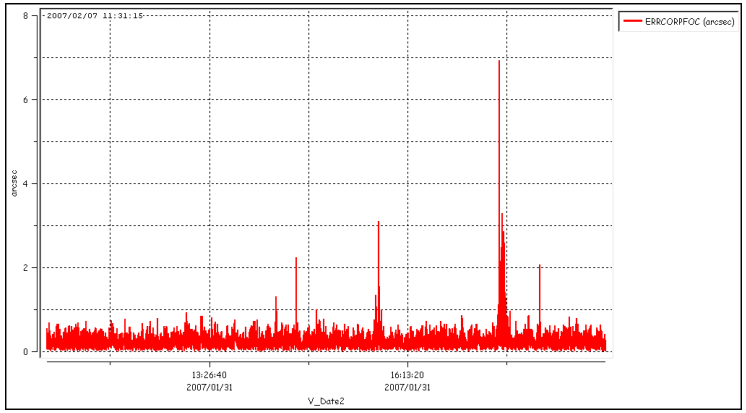
- **Resultats de recette en vol**
  - **Performance aléatoire est conforme à la spécification : 0.43 arcsec pour une spec de 0.5 arsec**



Modes TRM FPM + Ecarto

- **FPM**
  - **Harmonic performances on control error (31/01/2007)**

Temporal

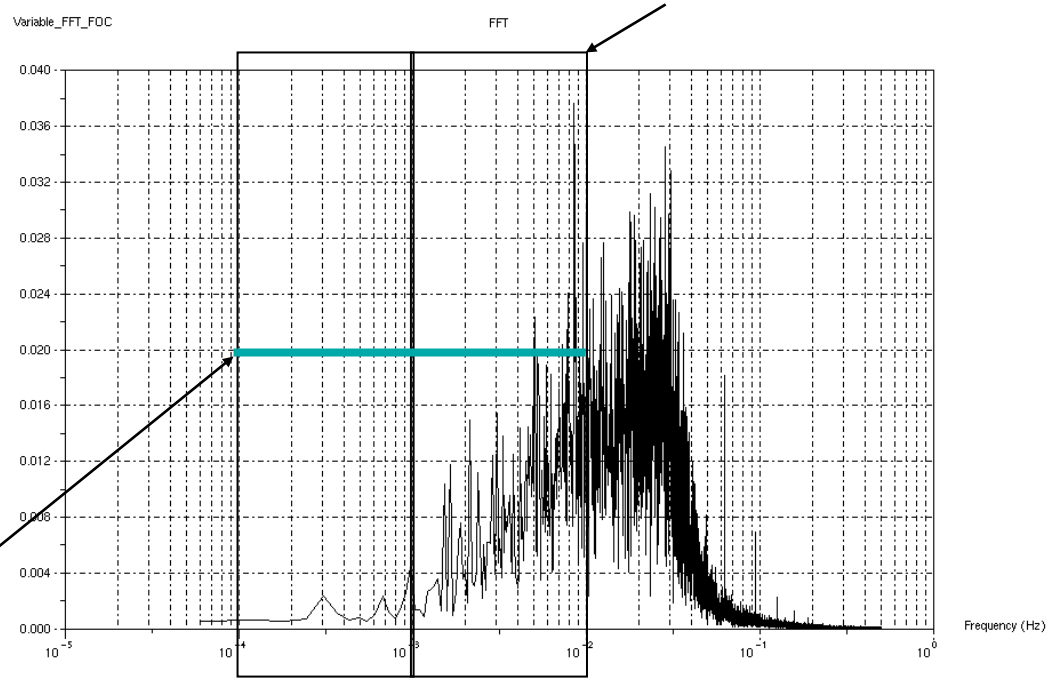


In [1; 10] mHz band

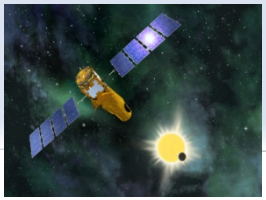
	Nombre de raies d'amplitude comprise entre		
Amplitude max (")	[0.02"; 0.025"]	[0.025"; 0.03"]	[0.03"; max]
0.03765	6	1	2

Focal plane

Scientific bands

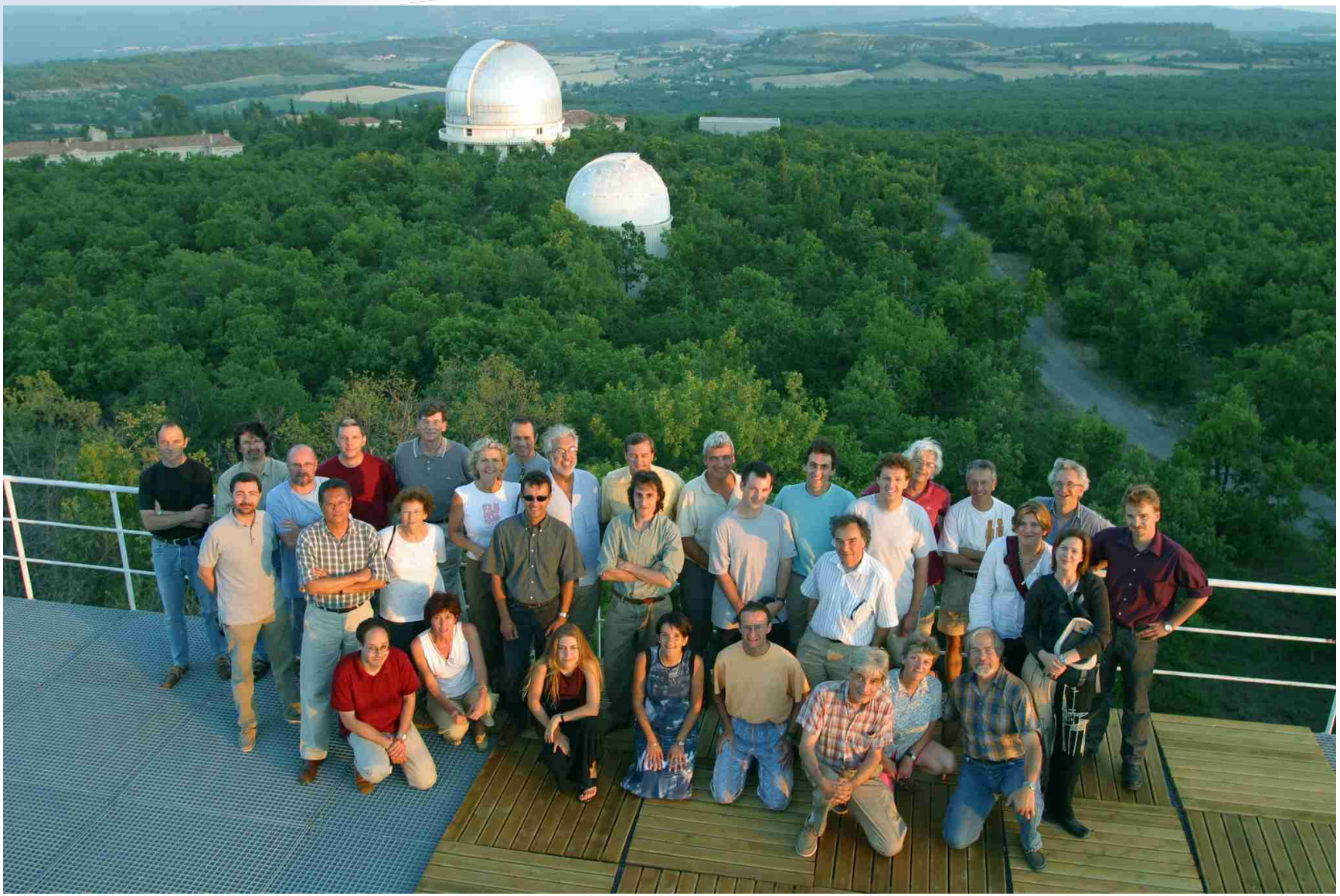


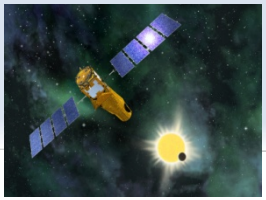
Objective for each scientific band :
no more than 4 (low freq band)
or 2 rays (high freq band) above 0.02 arcsec



CONCLUSIONS

- Le développement de COROT a été une grande aventure humaine
- COROT est un exemple réussi d'une approche de coopération en multi-latéral en utilisant la différence des cultures comme une force
- COROT est un exemple d'un travail en équipe entre scientifiques et ingénieurs dans lequel les ressources intellectuelles ont souvent remplacé avantageusement les ressources financières
- Les énormes efforts personnels et collectifs qui ont été consentis sont largement récompensés par la formidable moisson de données et les résultats obtenus qui ont ouvert la voie à la mission KEPLER (Nasa)





N