



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

# Microscope

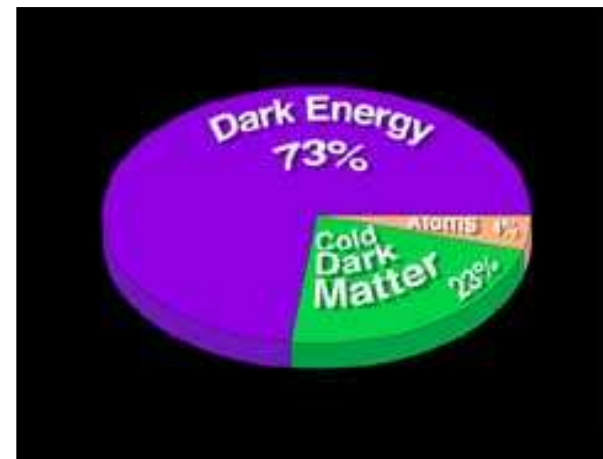
## Test of the Equivalence Principle

OCA/GEMINI (Gilles Metris), ONERA, Univ Bremen, PTB,  
CNES, DLR, ESA

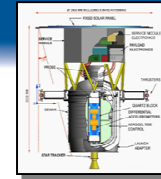
*Sylvie Léon-Hirtz*  
*CNES, DSP/EU*  
*[sylvie.leon@cnes.fr](mailto:sylvie.leon@cnes.fr)*

- **Physique fondamentale : lois régissant l'univers, gravitation, espace-temps**
- **Enjeux scientifiques :**
  - ◆ **Réconcilier relativité générale et mécanique quantique**  
**Unifier les interactions fondamentales**  
=> **Vérifier les fondements de la relativité générale, rechercher les effets prédits par les nouvelles théories**
    - Violation du Principe d'Equivalence?
    - Variation des constantes fondamentales?
  - ◆ **Résoudre l'énigme de la matière et de l'énergie noires**  
**Tester les lois de la gravitation à grande échelle**
- **Besoins :**
  - ◆ **Mesure très précise du temps, des longueurs, des accélérations**
  - ◆ **Utilisation de l'espace comme un "laboratoire"**
    - dans un environnement contrôlé,
    - à l'abri des perturbations non gravitationnelles
    - précision de navigation
    - sur de grandes distances
  - ◆ **Éventuellement "observatoire"**
    - Nouvelle fenêtre d'observation avec les ondes gravitationnelles...

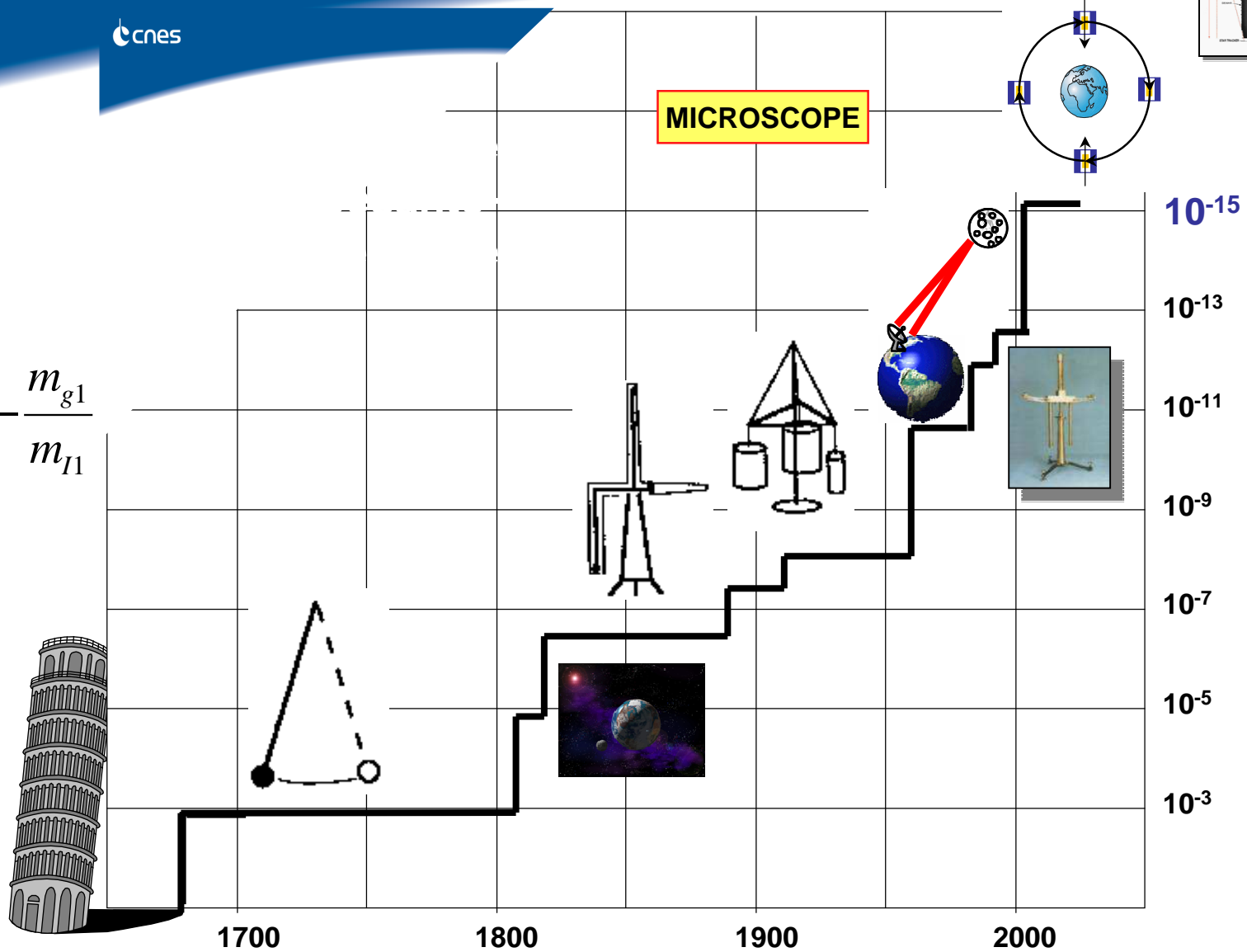
- Objectifs scientifiques proches de la cosmologie (CMB, matière noire, énergie noire..) et de l'astrophysique (objets compacts, hautes énergies, ondes gravitationnelles..)
- Lien avec la métrologie temps-fréquence, les systèmes de référence, la navigation (TAI, GPS/Galileo, sondes lointaines dans le système solaire...)
- Lien avec la géodésie (accélérométrie, télémétrie)
- Utilité pour le Vol en formation (métrologie des distances, compensation de traînée..)

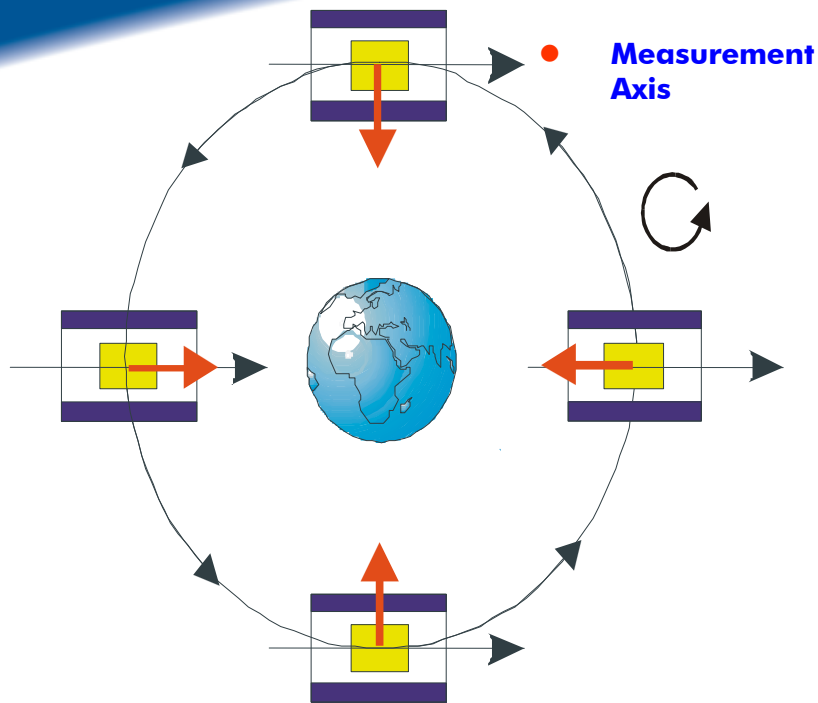


- **PHARAO/ACES :**
  - ◆ horloge à atomes de césium refroidis par laser (ENS/LKB, Observatoire de Paris/SYRTE; ON, ESA + groupes d'utilisateurs internationaux) sur ISS
- **T2L2/JASON2 :**
  - ◆ transfert de temps par lien laser (OCA/GEMINI)
- **MICROSCOPE :**
  - ◆ microsatellite pour le test du Principe d'Equivalence (ONERA/DMPH, OCA/GEMINI ; ZARM, PTB, ESA)
- **Participation in LISA pathfinder :**
  - ◆ Démonstration technologique de LISA, métrologie optique (IN2P3/APC, ESA)
- **Participation in LISA :**
  - ◆ détection des ondes gravitationnelles (groupe LISA-France, OCA/ARTEMIS, SYRTE, ONERA, IN2P3 ; ESA)

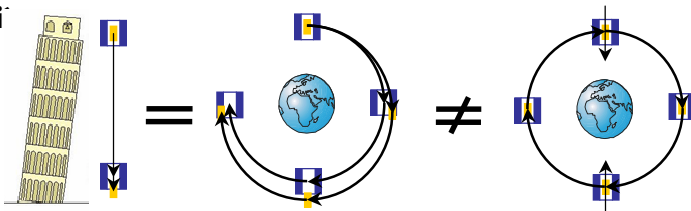


$$\delta = \frac{m_{g2}}{m_{I2}} - \frac{m_{g1}}{m_{I1}}$$

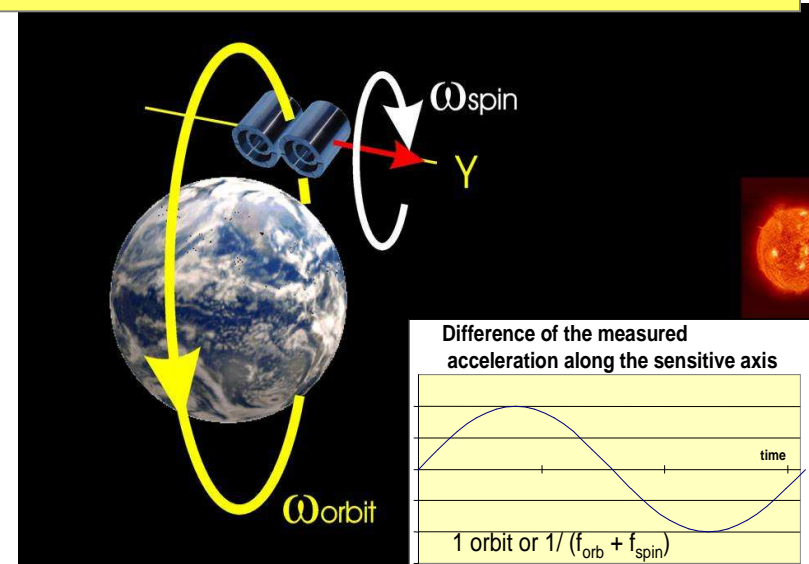


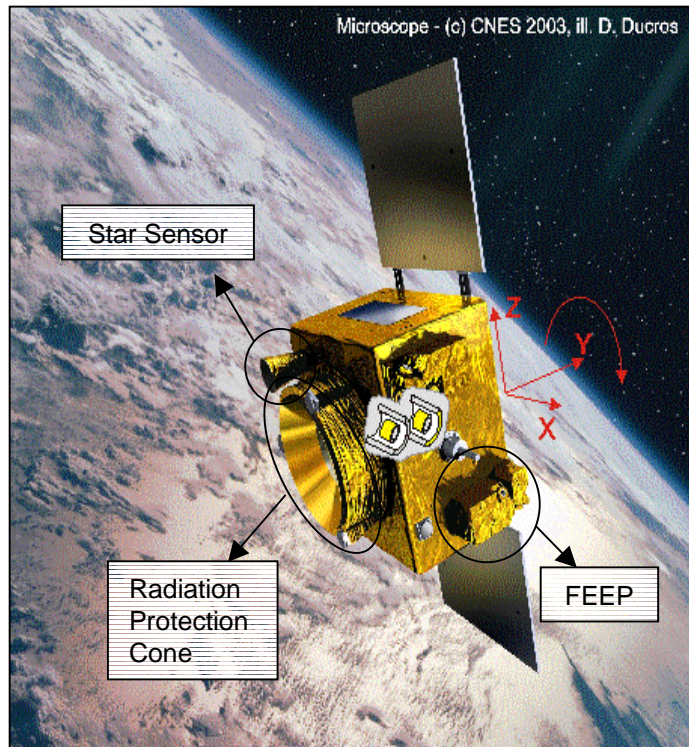


**Material 1 (Pt)**  
 **Material 2 (Ti)**



- Source gravitationnelle : la Terre
- Accélération inertielle : Mouvement orbital
- 2 masses de compositions différentes : contrôlées sur la même orbite ( $< 10^{-11}m$ ) grâce aux forces électrostatiques mesurées
- Durée de la mesure : non limitée par la chute libre (120 orbites en mode inertiel, 20 en mode spinné)
- Environnement : très contrôlé ou préservé des perturbations, satellite à traînée compensée
- **Signal à détecter : phase & fréquence définies**





**CNES Myriade microsatellite: 1.5m<sup>3</sup> – 200kg – 200 W**

**Payload restrictions: 35 kg, 40 W**

**Launch 2010**

**Mission duration: 12 months**

**Quasipolar dusk/dawn heliosynchronous orbit**

**Altitude 730 km**

**Eccentricity < 5×10<sup>-3</sup>**

**Attitude Fine Control: 10<sup>-8</sup> rad·s<sup>-2</sup>/Hz<sup>1/2</sup>**

**Single star camera + accelerometer angular measurements**

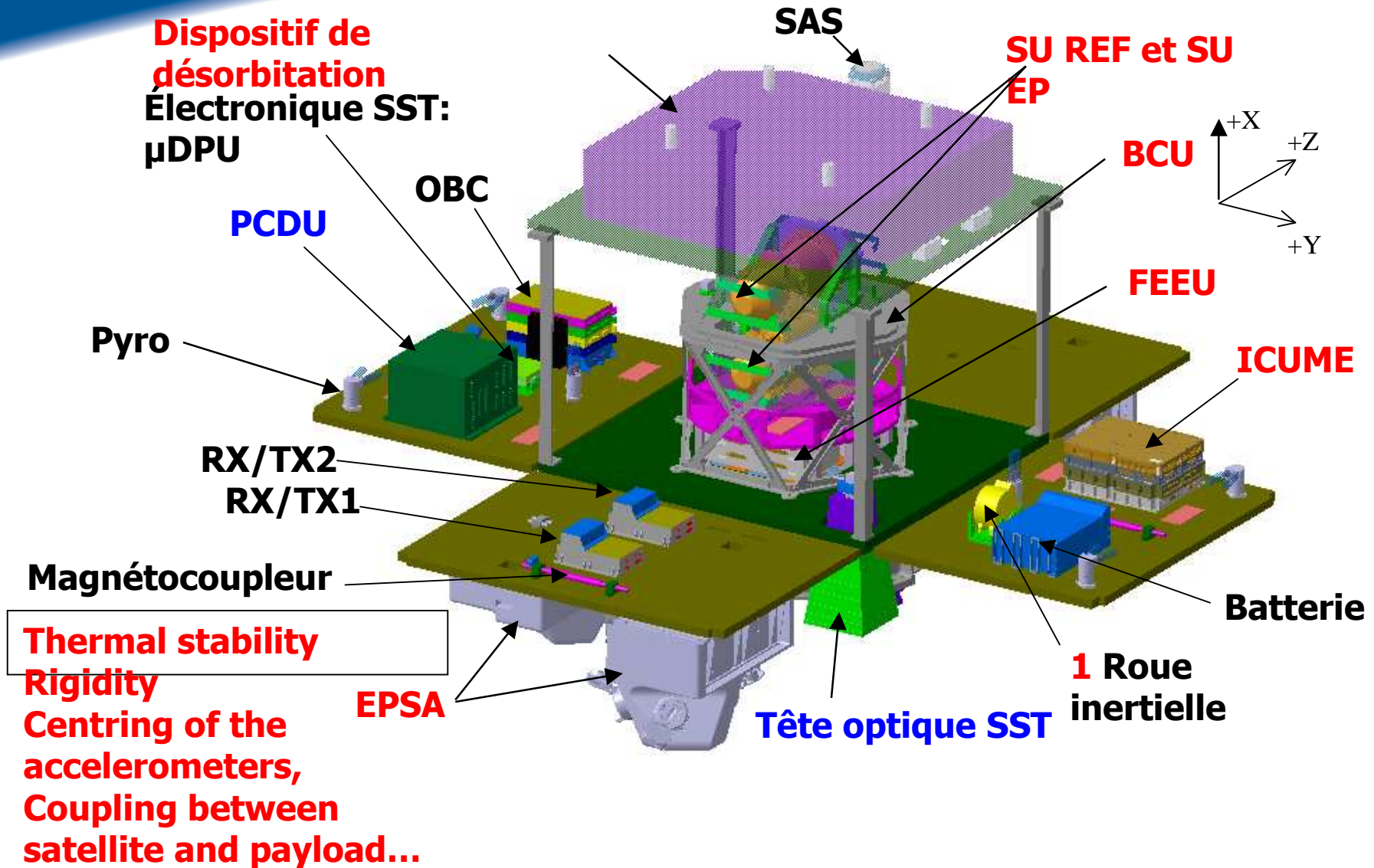
**12 electric thrusters (FEFP) furnished by ESA**

**Drag Free Control System: 3×10<sup>-10</sup> m·s<sup>-2</sup>/Hz<sup>1/2</sup>**

**Accelerometer translational measurements**

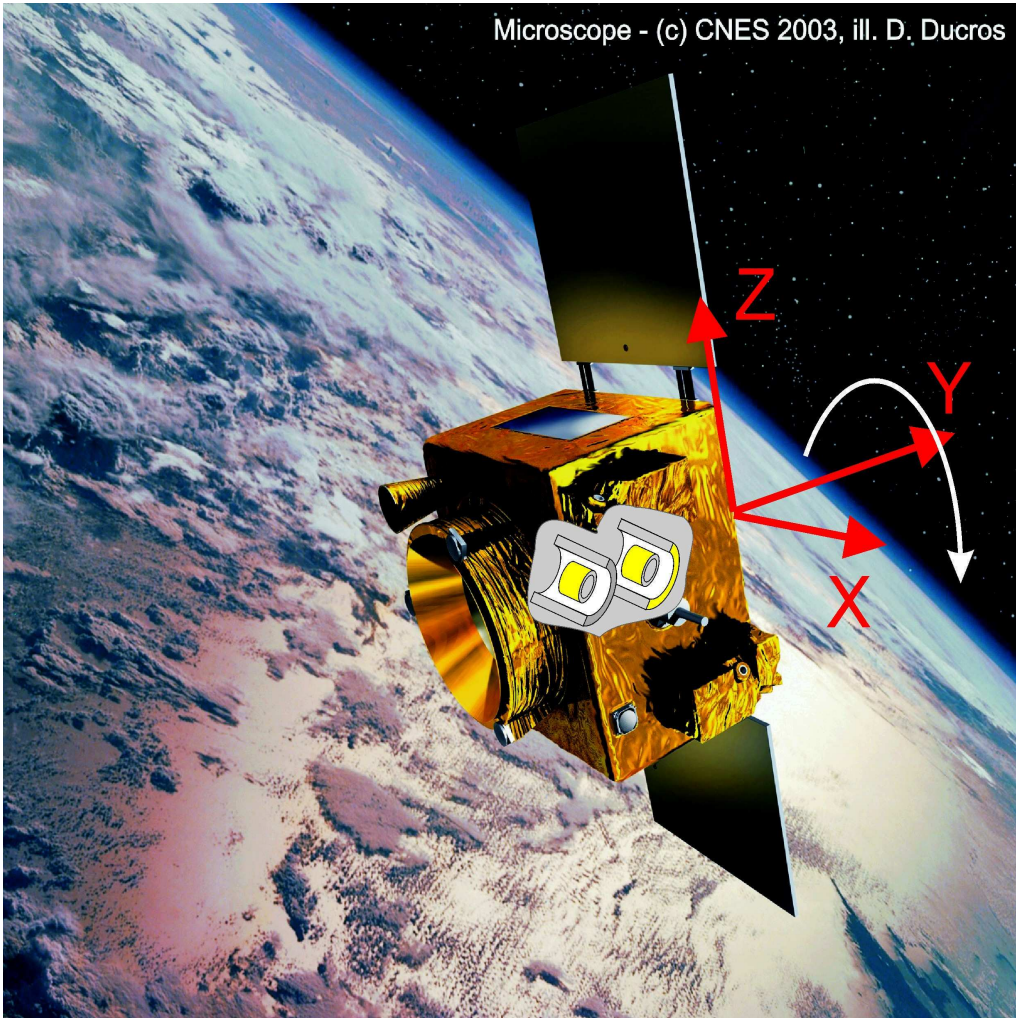
**12 electric thrusters (FEFP) furnished by ESA**





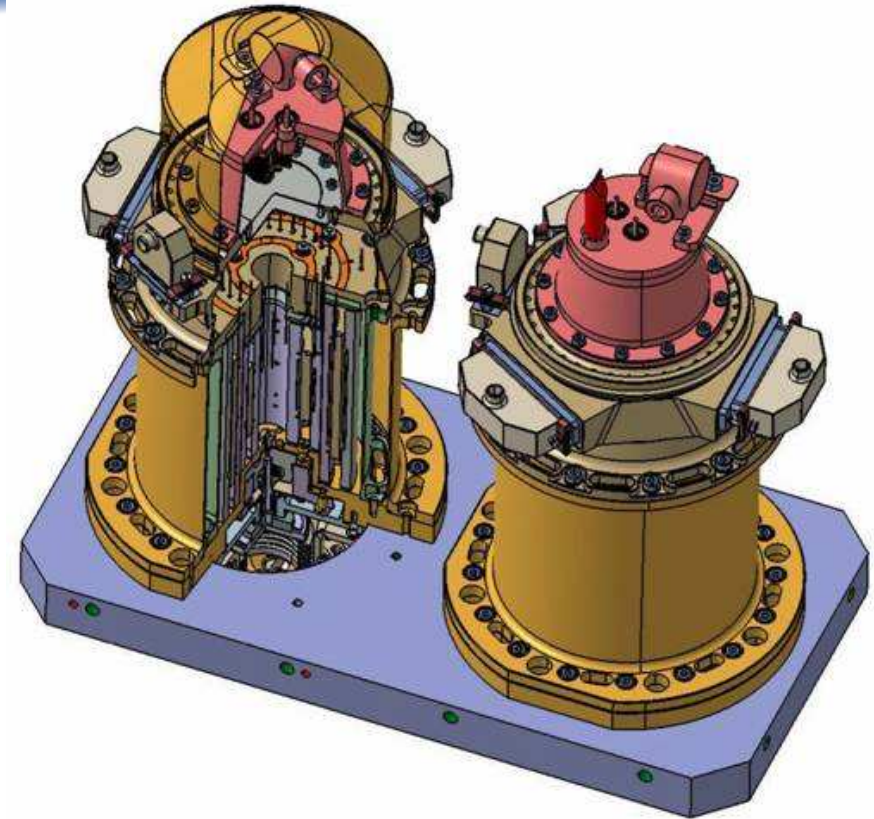


Microscope - (c) CNES 2003, ill. D. Ducros



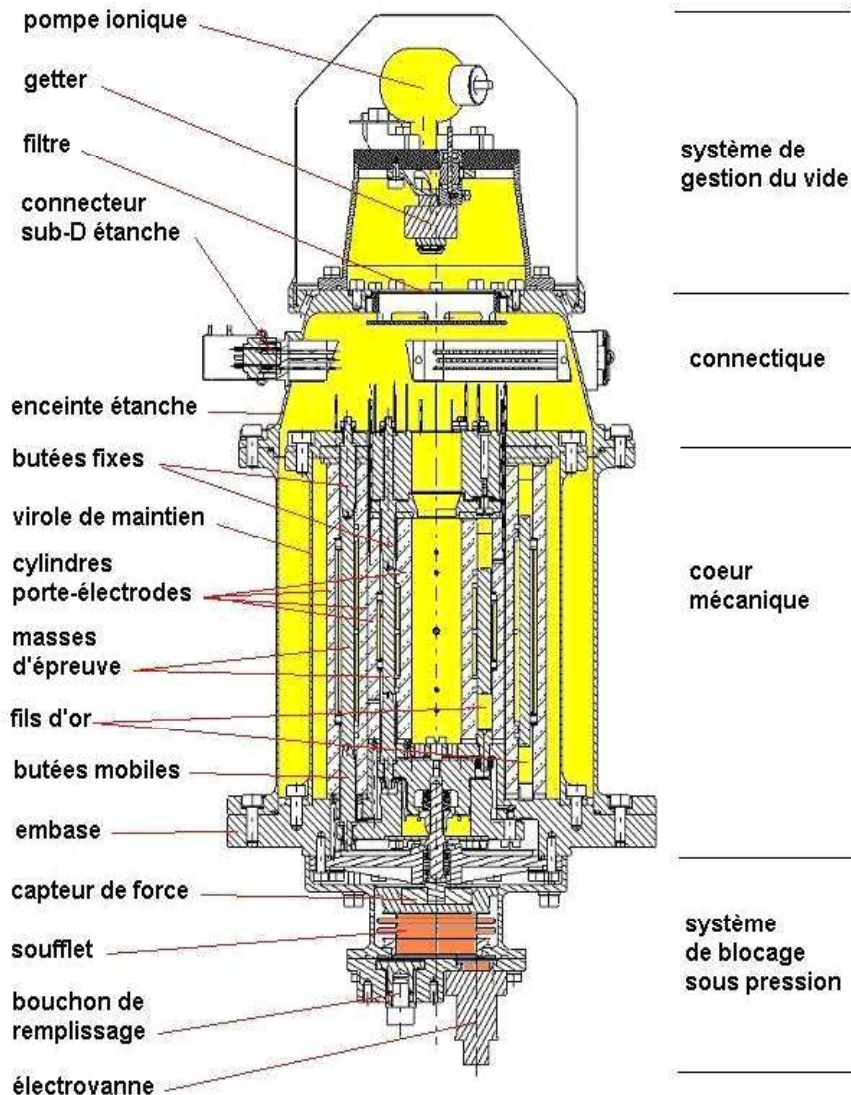
**Microsatellite CNES Myriade  
à compensation de traînée  
 $3 \cdot 10^{-10} \text{ ms}^{-2} \text{ Hz}^{-1/2}$ ,  
Micropropulseurs ESA  
Lancement en 2010**

## MICROSCOPE



**Accéléromètres électrostatiques  
différentiels ONERA  
Materiaux Pt/Pt , Pt/Ti  
Cage silice, sous vide  
Performance  $10^{-12} \text{ ms}^{-2} / \text{ Hz}^{-1/2}$**

**@ fep  $10^3 \text{ Hz}$**



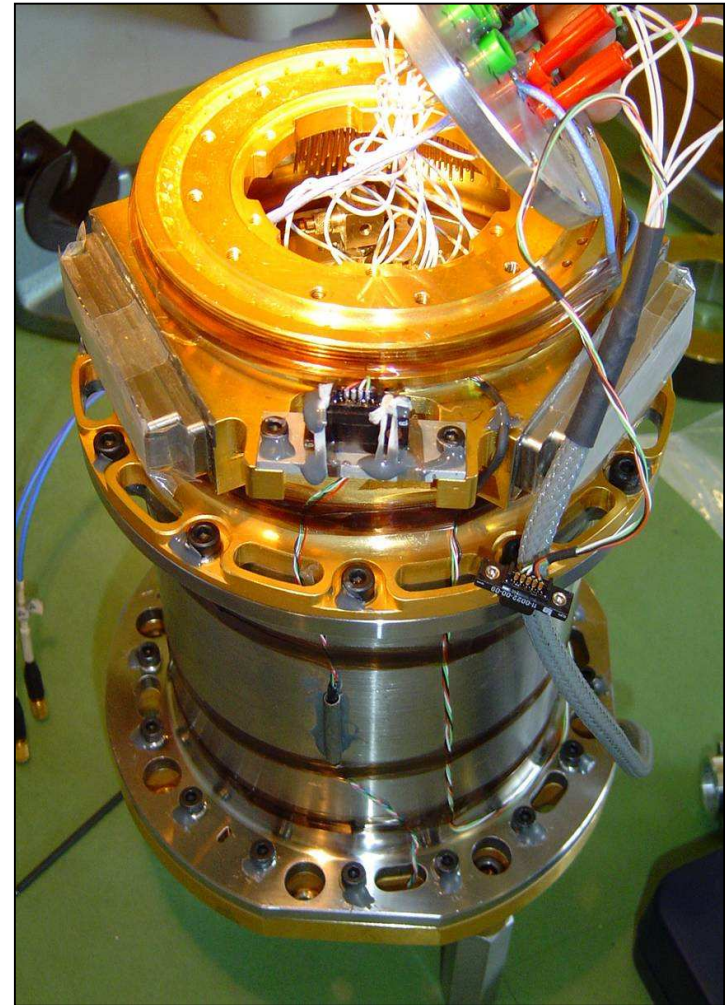
## Originalités et nouveautés dans le design :

- **Forme cylindrique**
- **2 senseurs emboîtés (concentriques)**
- **Technique d'ultra-vide pour les connecteurs et les joints**
- **Système de blocage des masses d'épreuve**
- **Les exigences de précision de la forme des masses d'épreuve et de leur centrage**
- **L'intégration du cœur**



## MR-VIB :

- Modèle identique au modèle de qualification (partie système de pompage en moins)
- A permis de mettre au point les procédures d'usinage, d'intégration et de centrage des pièces
- A permis de démontrer la tenue du cœur aux vibrations de lancement jusqu'au niveau de recette de 12 grms



## ■ Payload:

- Conception, développement et qualification ONERA
- Obtention de meilleur centrage par une meilleure précision des usinages des masses d'épreuve envisagée avec le Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)

## ■ Mission performance analysis :

- Evaluation des performances instrument : ONERA
- Validation expérimentale : ONERA / U. Brème ZARM
- Etalonnage et traitement des données : ONERA / OCA
- Analyse mission et performances globales : ONERA/OCA/U. Brème ZARM/Cnes

## ■ Scientific Mission Center (ONERA / OCA)

- Stockage des données et analyse temps réel
- Traitement des données
- Exploitations scientifiques