



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

Microscope

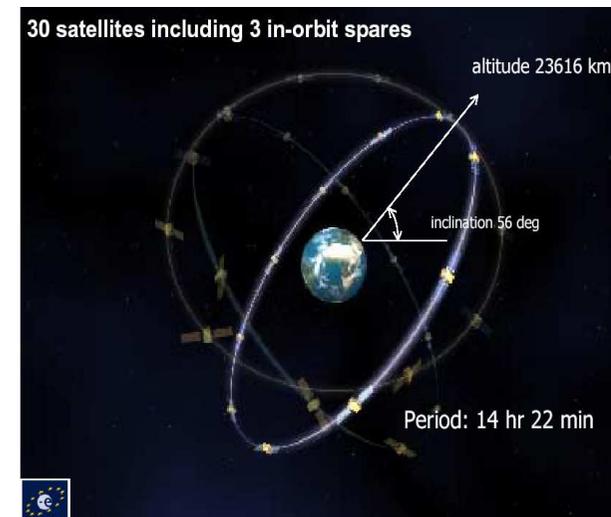
Test of the Equivalence Principle

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

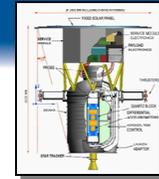
*Sylvie Léon-Hirtz
CNES, DSP/EU
sylvie.leon@cnes.fr*

- **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...

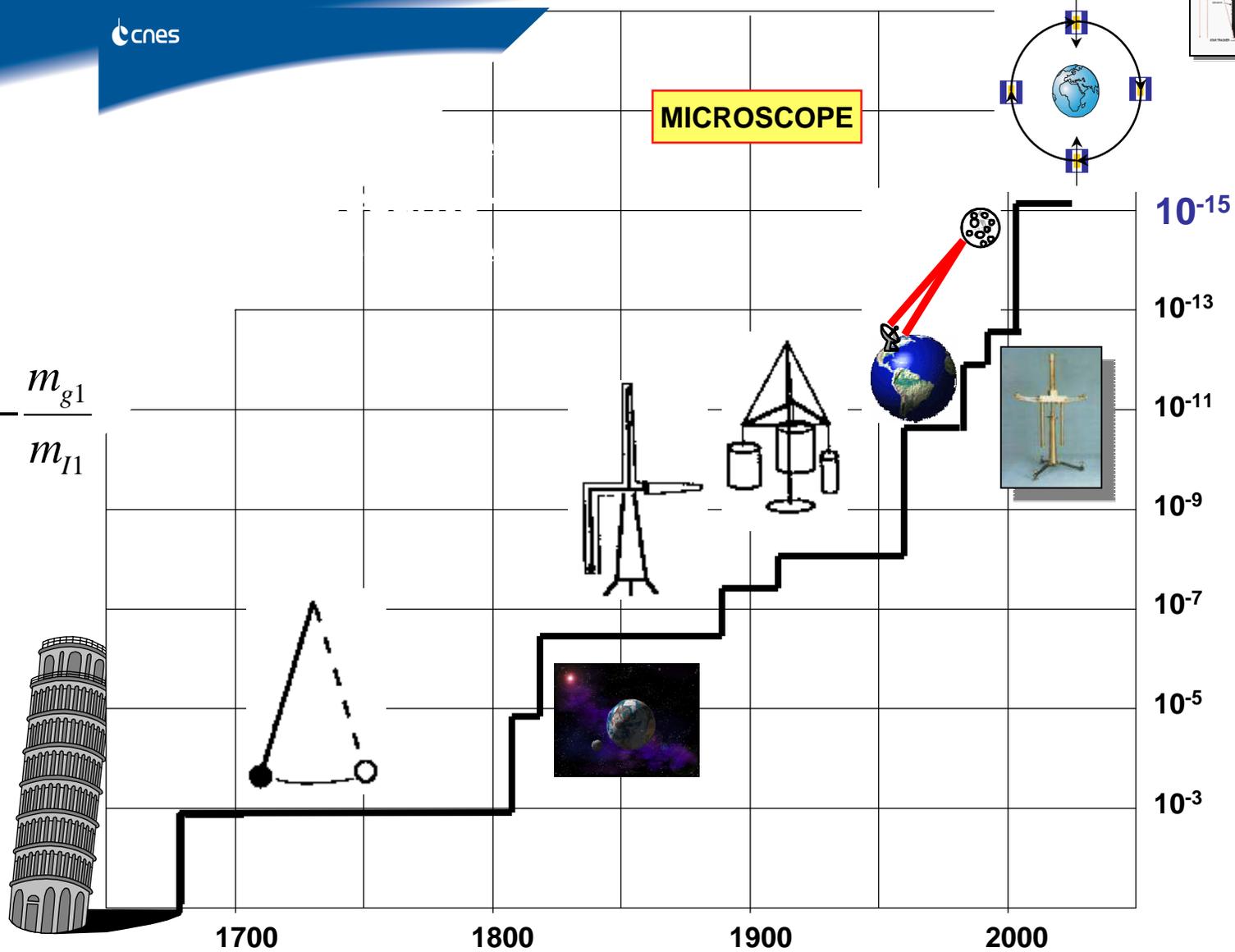
- Objectifs scientifiques proches de la cosmologie (CMB, matière noire, énergie noire..) et de l'astrophysique (objets compacts, hautes énergies, ondes gravitationnelles..)
- Lien avec la métrologie temps-fréquence, les systèmes de référence, la navigation (TAI, GPS/Galileo, sondes lointaines dans le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

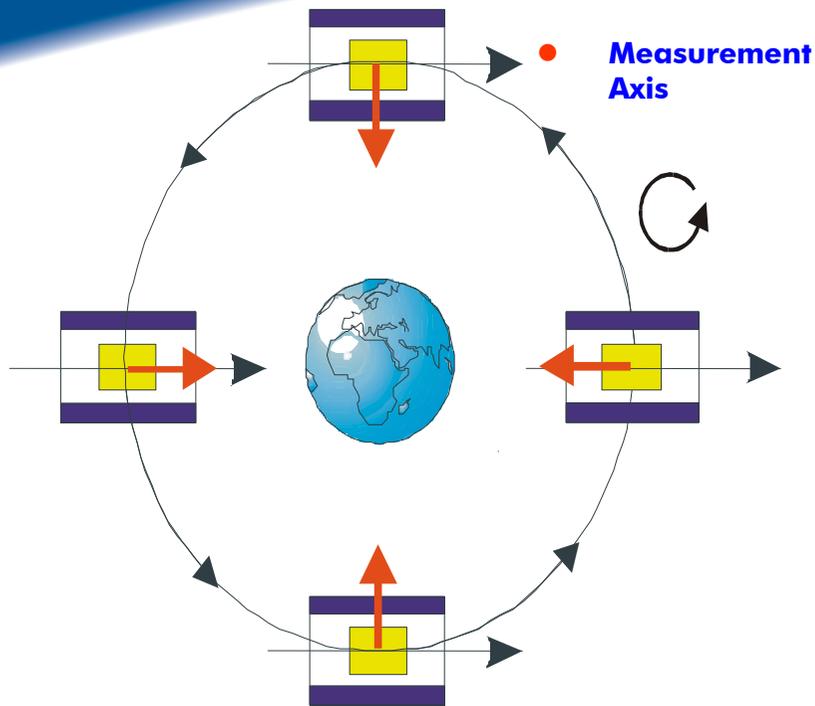


- **PHARAO/ACES :**
 - ◆ horloge à atomes de césium refroidis par laser (ENS/LKB, Observatoire de Paris/SYRTE; ON, ESA + groupes d'utilisateurs internationaux) sur ISS
- **T2L2/JASON2 :**
 - ◆ transfert de temps par lien laser (OCA/GEMINI)
- **MICROSCOPE :**
 - ◆ microsatellite pour le test du Principe 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)

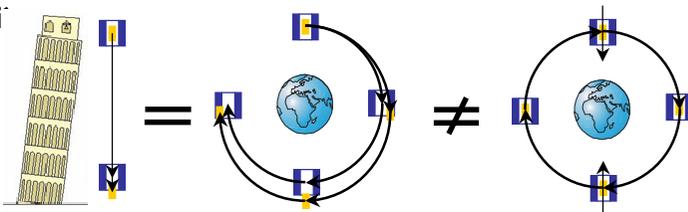


$$\delta = \frac{m_{g2}}{m_{I2}} - \frac{m_{g1}}{m_{I1}}$$

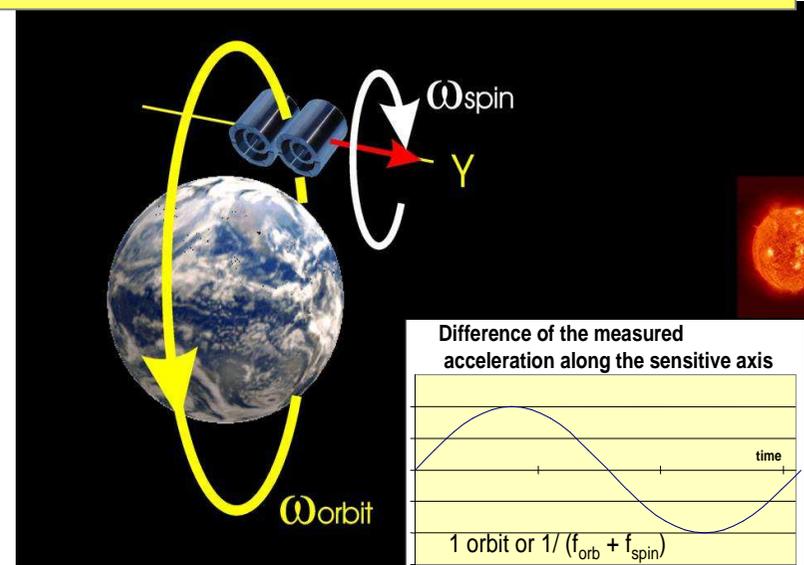


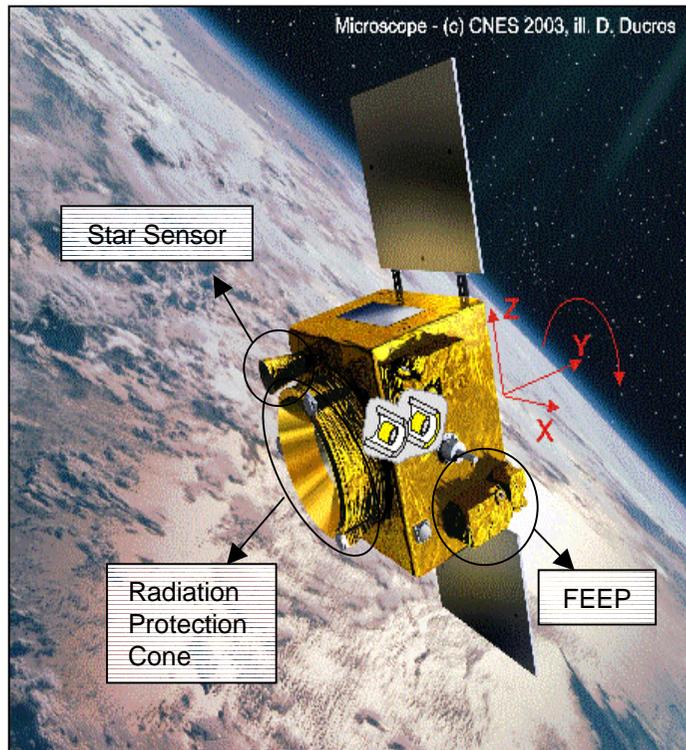


Material 1 (Pt)
 Material 2 (Ti)



- 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: 1.5m³ – 200kg – 200 W

Payload restrictions: 35 kg, 40 W

Launch 2010

Mission duration: 12 months

Quasipolar dusk/dawn heliosynchronous orbit

Altitude 730 km

Eccentricity < 5×10⁻³

Attitude Fine Control: 10⁻⁸ rad·s⁻²/Hz^{1/2}

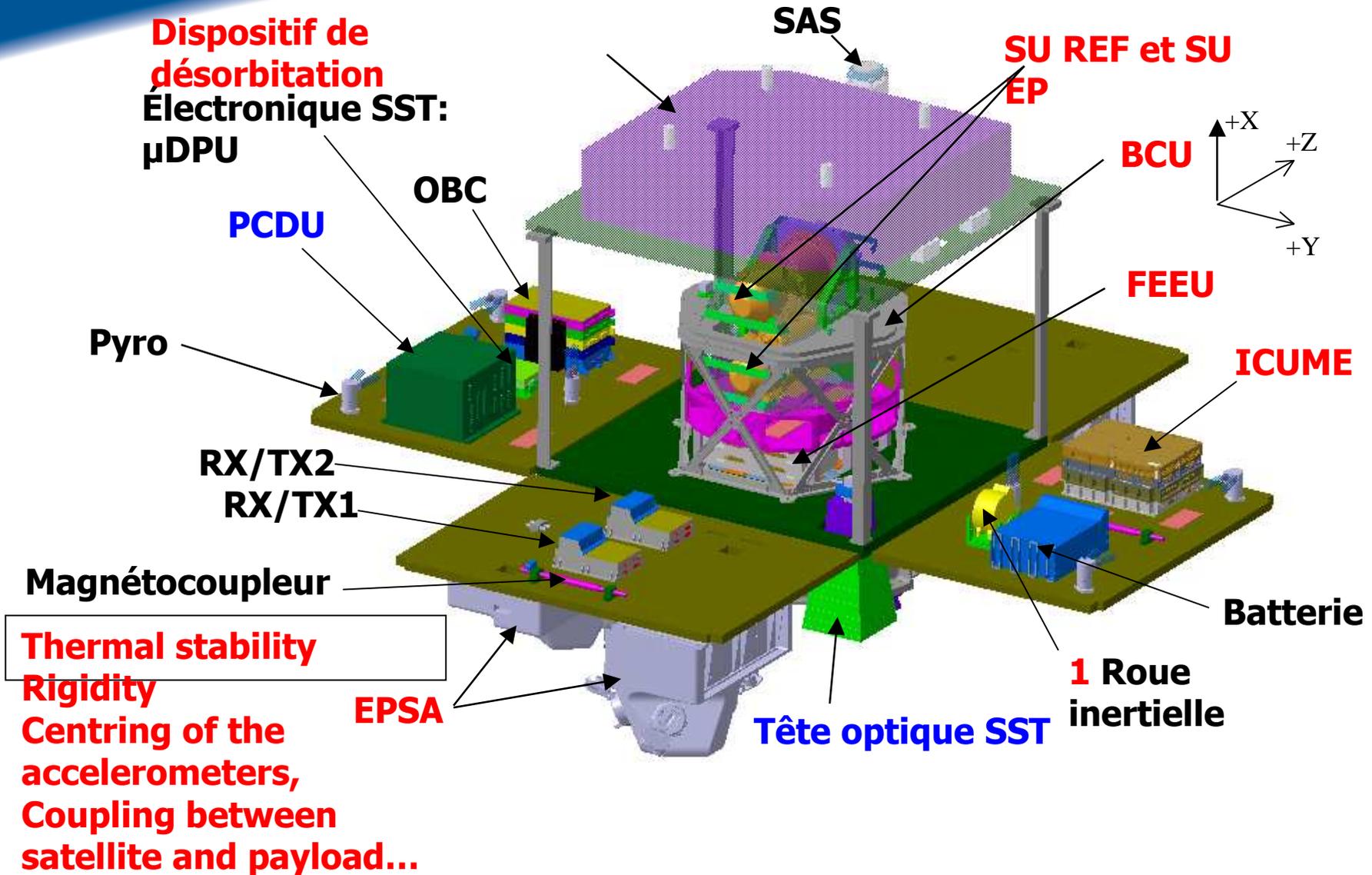
Single star camera + accelerometer angular measurements

12 electric thrusters (FEED) furnished by ESA

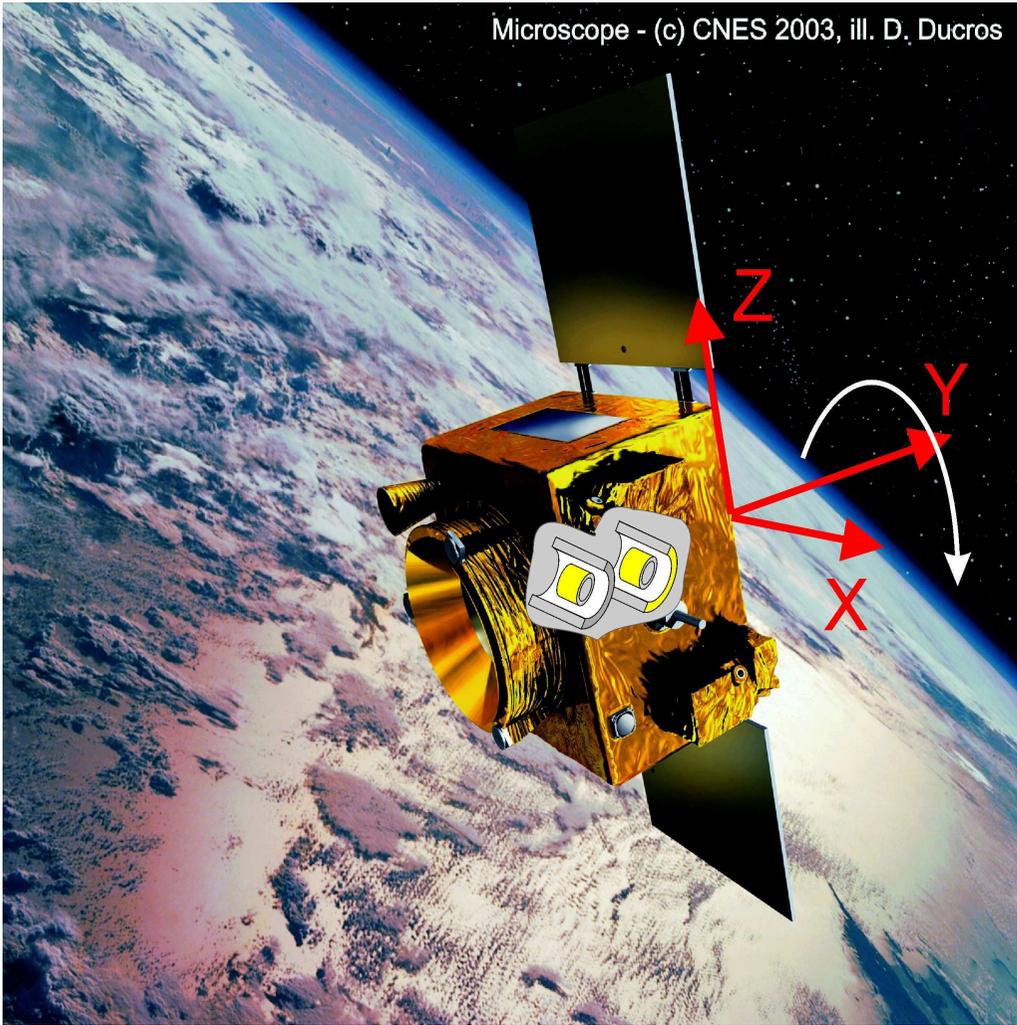
Drag Free Control System: 3×10⁻¹⁰ m·s⁻²/Hz^{1/2}

Accelerometer translational measurements

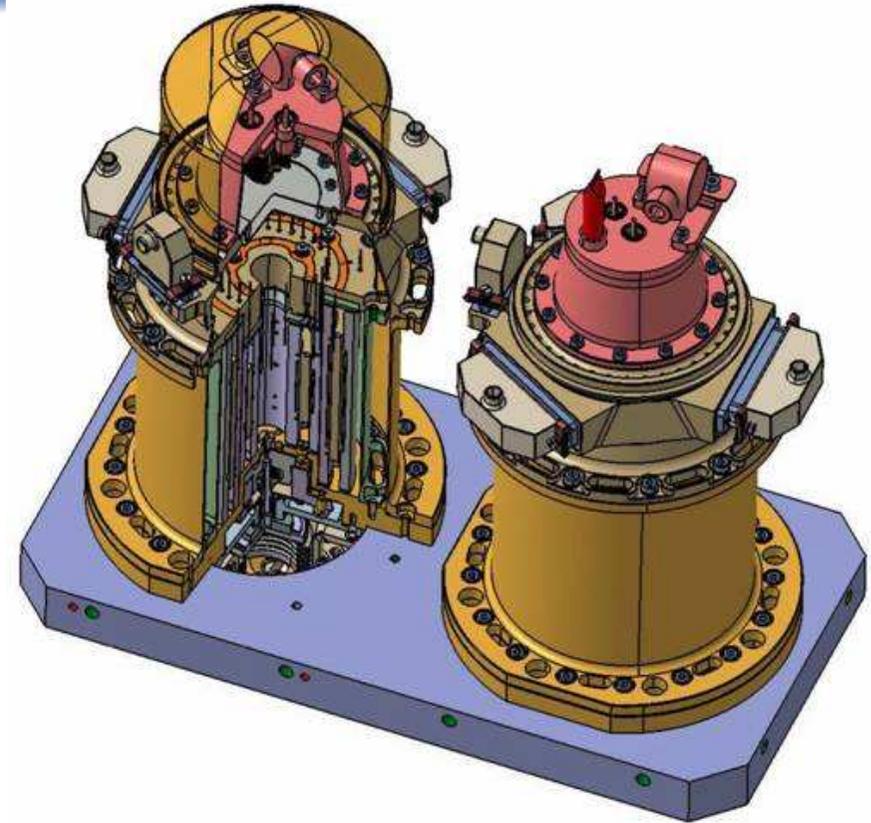
12 electric thrusters (FEED) furnished by ESA



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



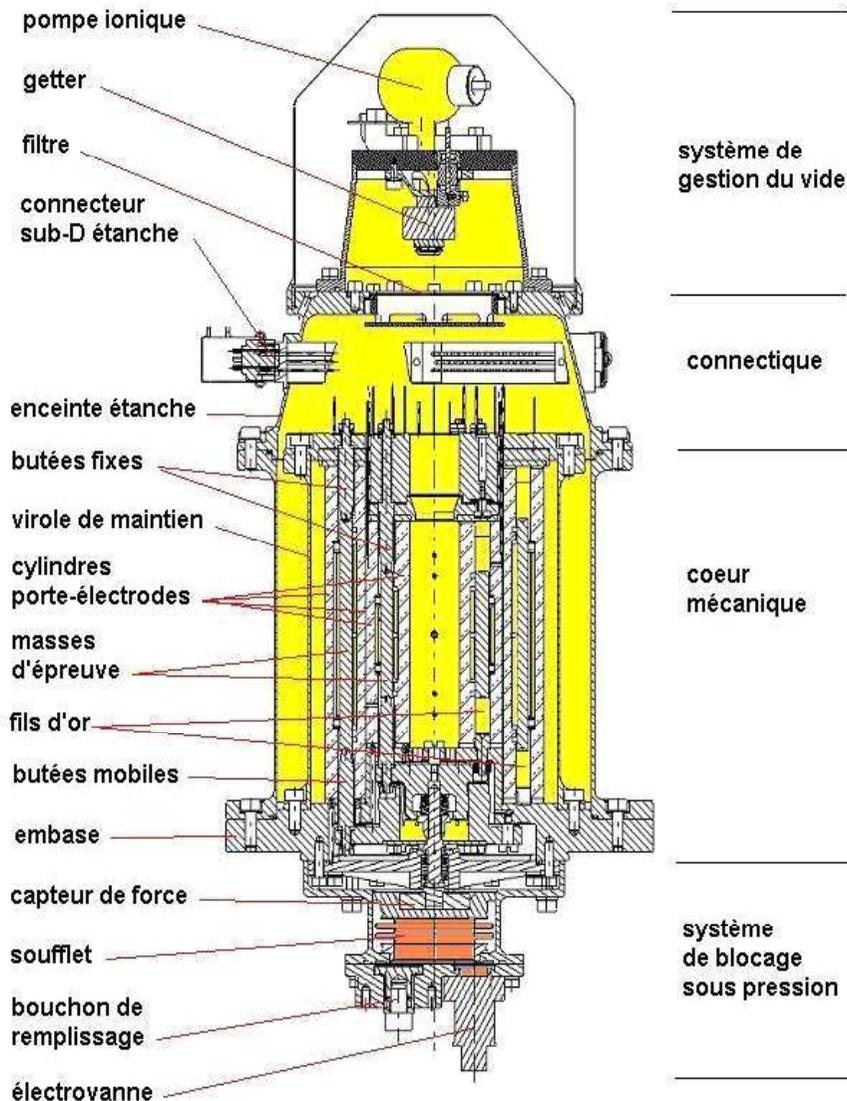
MICROSCOPE



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

**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 Hz

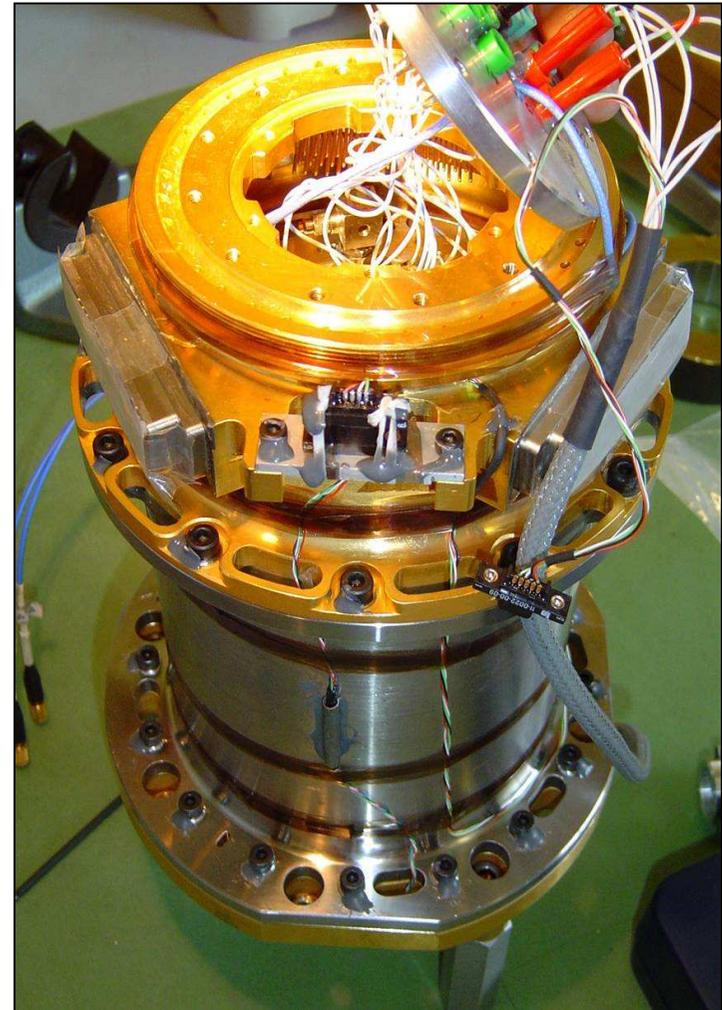


Originalités et nouveautés dans le design :

- **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