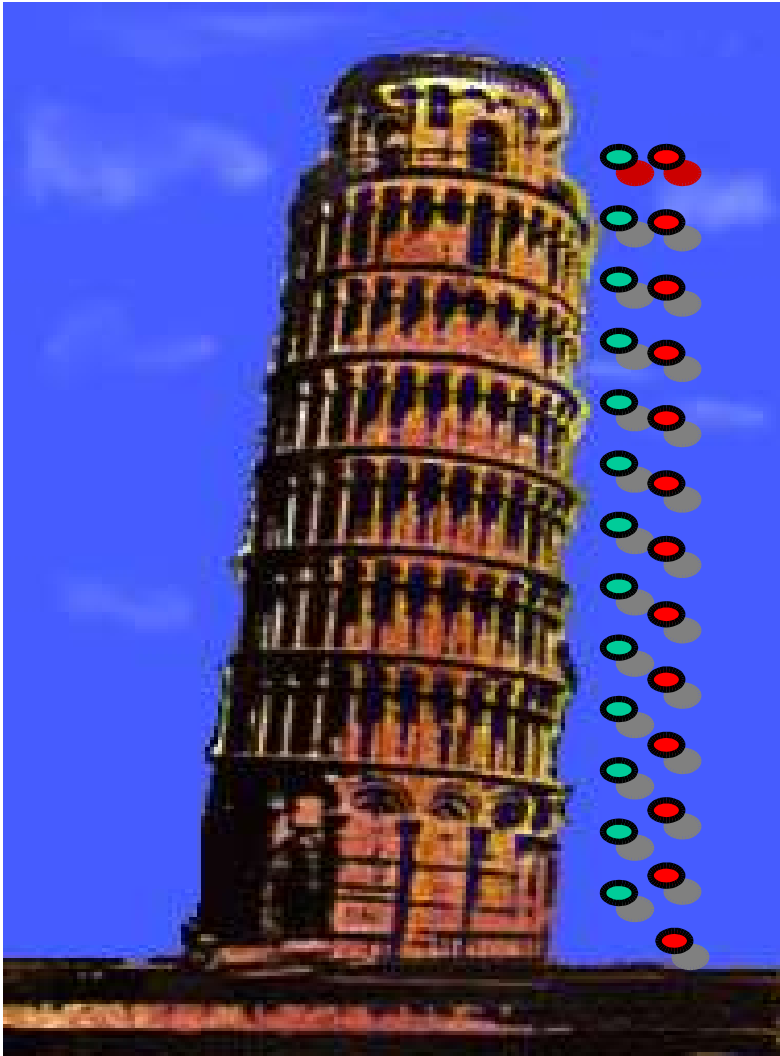


MICROSCOPE

MICRO
Satellite à traînée
Compensée pour
l'Observation du
Principe
d'Equivalence

P. BERIO
G. METRIS

Principe d'équivalence faible



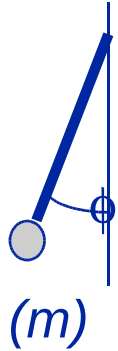
Equivalence entre
Masse grave et masse inerte
↓
Universalité de la chute libre.

Violation du PE
↓
La masse rouge tombe
plus vite que
la masse verte

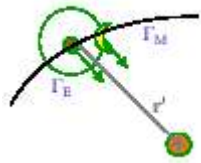
MICROSCOPE (2008) ?



Tests expérimentaux



Newton : $\sim 10^{-3}$



Imaginé par Newton

Calcul fait par Laplace: $\sim 10^{-7}$

Télémétrie laser Lune : qlq 10^{-13}



Eotvos : $\sim 10^{-8}$

Eotwash : qlq 10^{-13}



Théories : de Einstein à aujourd'hui

- **Einstein** a érigé l'équivalence masse grave - masse inerte en un principe qui est à la base de la relativité générale.
⇒ plus de notion de masse en théorie de la gravitation

Vision actuelle

- La relativité générale d'Einstein est une théorie particulière de la gravitation.
- Théories alternatives, plus générales :
 - problème cosmologique
 - unification des différentes interactions
 - exemples : Brans-Dicke, supercordes...
- La plupart de ces théories permettent une violation naturelle de l'équivalence à des niveaux très faibles (à partir de 10^{-14})
- Le test du PE est l'expérience la plus à notre portée pour tester ces théories (impossible avec collisionneurs de particules)



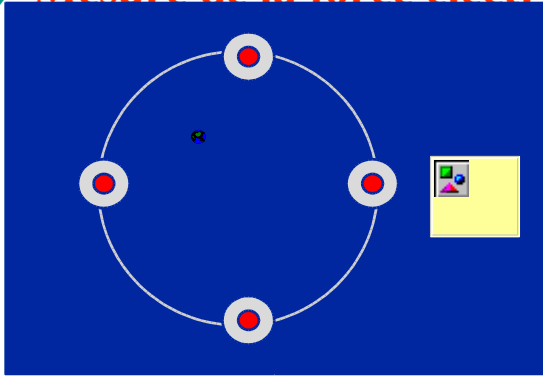
La mission MICROSCOPE

Objectif : test du PE à 10^{-15} pour le couple Titane-Platine avec un test de zéro sur un couple Platine-Platine.

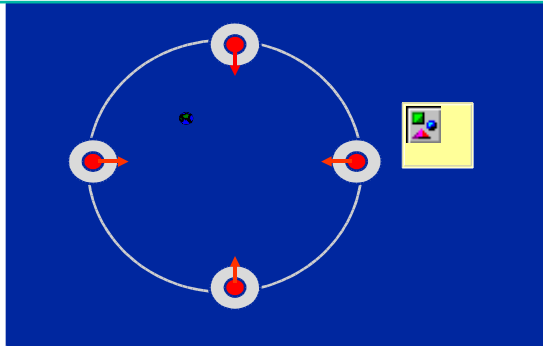
- **Proposée par l'ONERA (accéléromètres) et l'OCA (étude de la mission puis analyse des données).**
- **Mission décidée par le CNES pour un lancement en 2008, dans le cadre de sa filière microsatellites (200kg, 50W).**
- **Participation de l'ESA (propulseurs).**
- **Orbite circulaire, héliosynchrone à 700 km d'altitude.**
- **Durée nominale : 1 an.**
- **Avantages de l'espace :**
 - **chute libre ininterrompue (des dizaines d'orbites),**
 - **environnement très calme (vibrations),**
 - **gravité locale réduite.**

Principe

- ◆ 2 masses (matériaux différents) en chute libre, protégées par le satellite
- ◆ ==> Même orbite et même champ de gravitation
- ◆ Mesure de la force électrostatique nécessaire pour maintenir le centrage



- **Pas de violation du PE :**
Les deux masses (rouge et grise) restent centrées naturellement.



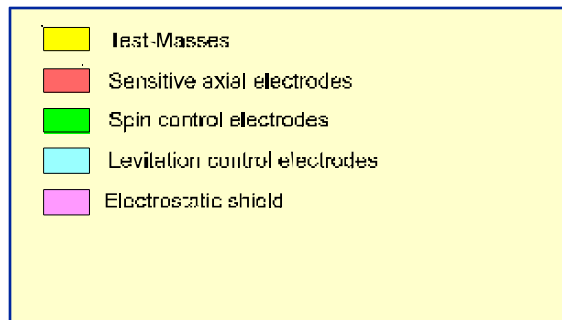
- **Violation du PE :**
Il faut appliquer une force dirigée vers la Terre pour maintenir le centrage.

Le satellite

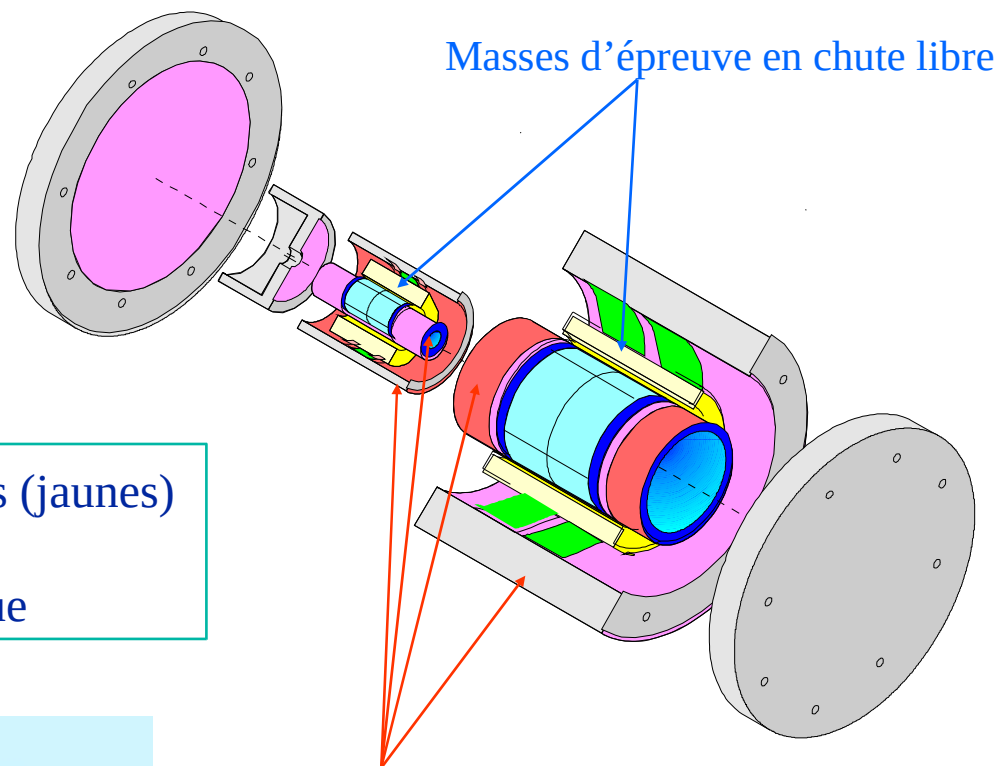
- Satellite à traînée compensée : mouvement asservi sur la chute libre des masses d'épreuves (micro poussées)
- Attitude ultra stable
- Structure rigide
- Pas de masses en mouvements
- Environnements magnétique et thermique optimisés



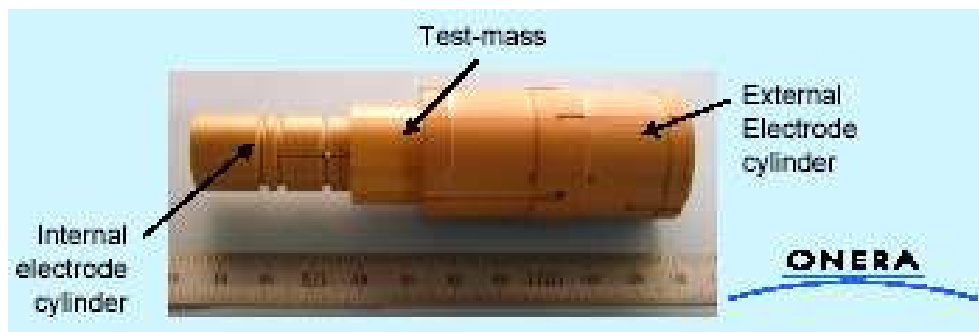
Les détecteurs (accéléromètres)

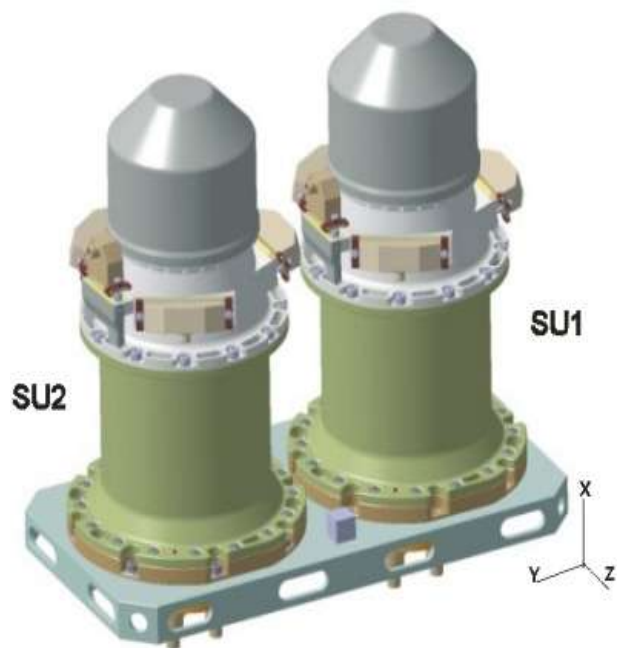


Le mouvement longitudinale des masses (jaunes)
est mesuré par détection capacitive
et compensé par une force électrostatique



Cages liées au satellite

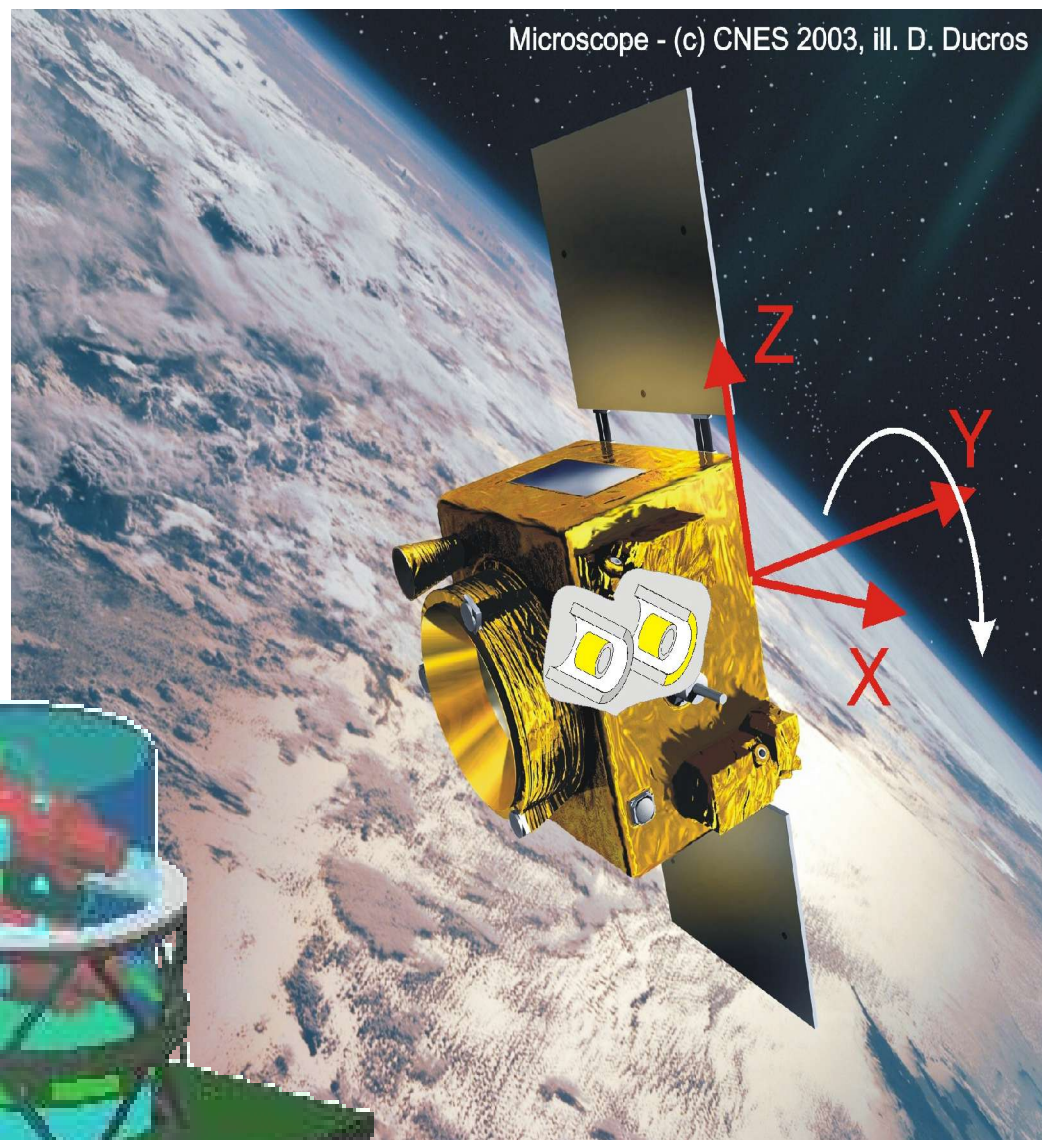




2 similar differential accelerometers

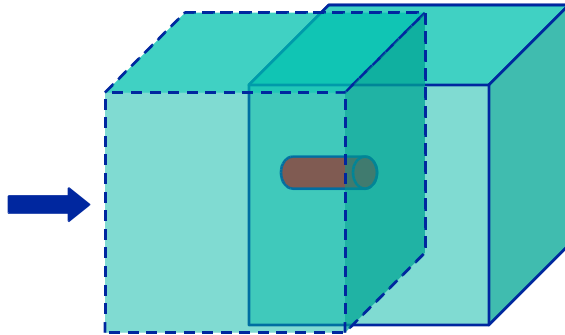


With Cnes courtesy



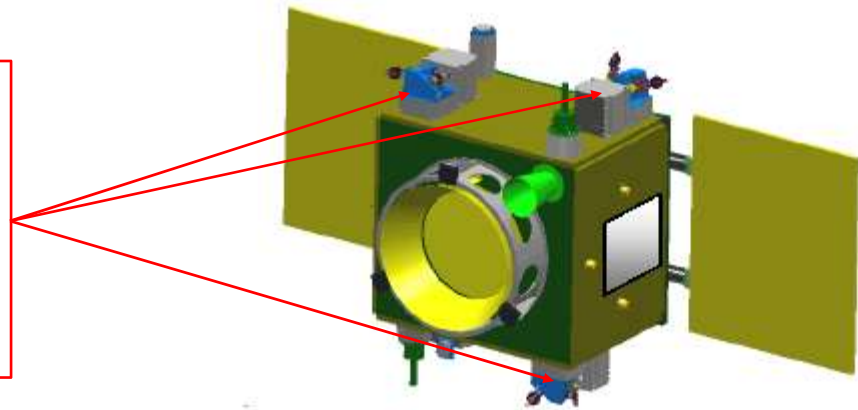


Le contrôle d'attitude et de traînée



Propulseurs ioniques (FEEPs) :

- énergie électrique
- très légers
- poussée de 1 à 100 μN
- résolution de 0.1 N



Les FEEPs servent également pour le contrôle d'attitude

Résidu de traînée $< 10^{-12} \text{ ms}^{-2}$

Stabilité angulaire $< 10^{-6} \text{ rad}$

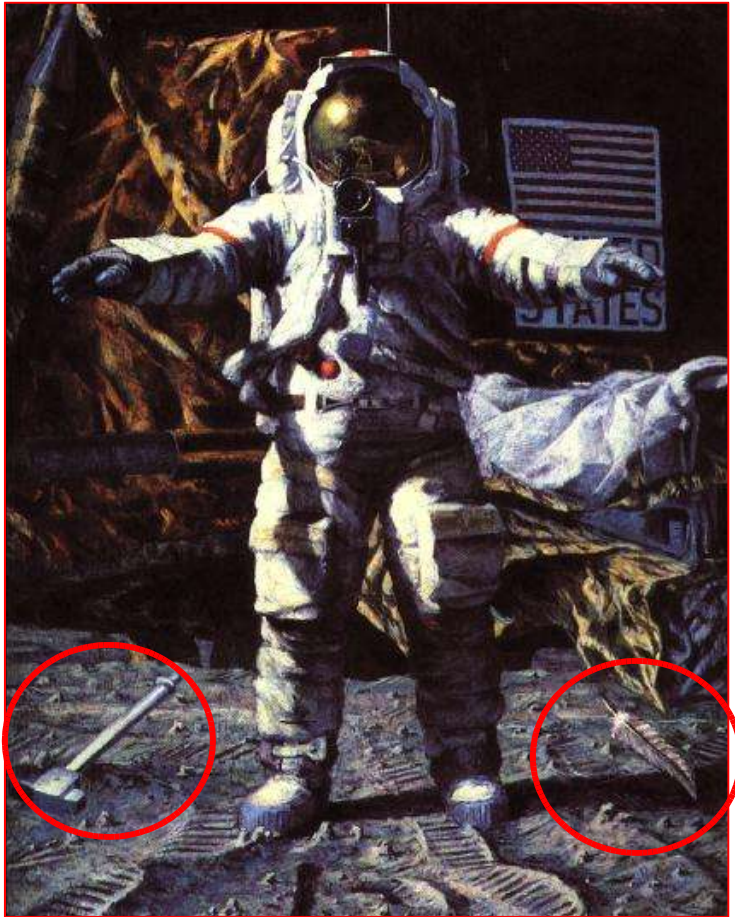
} A la fréquence du test.



Implication de l'OCA

- Analyse des données.
- Analyse de mission.
- Développement d'une chaîne de simulation pour la validation des spécifications.
- Membre du groupe performances.
- Membre du SWT
- Membre du Steering-committee (comité directeur).

Contexte international



*Premier test du
principe
d'équivalence
dans l'espace*



Contexte international

MICROSCOPE sera la première mission de test du PE dans l'espace.

- *D'autres projets ont déjà été présentés mais non sélectionnés :*
 - » *STEP (NASA, 10^{-17}) : plusieurs fois depuis les années 80. Version à 10^{-18} dans les cartons.*
 - » *GeoSTEP (ESA, 10^{-17}) : 1996*
 - » *GG (ASI, ESA, 10^{-16}) : ~1995 -> 200X*
- *Les expériences au sol continuent à progresser :*
Eotwash (pendule en rotation) et le laser lune tendent vers 10^{-13}



CALENDRIER

- Janvier 2000: Démarrage des études
- Décembre 2003: Fin de phase A
- Avril 2005: Fin de phase B
- 2005-2007: Phase C et D
- Décembre 2007: Revue d'aptitude au Vol
- Mars 2008: Lancement
- Mars 2009: Fin d'exploitation



MICROSCOPE Team

ONERA

G. Bodovillé, G. Campergue, D. Chauvin, R. Chhun, P. Flinoise,
B. Foulon, C. Gageant, E. Guiu, P. Kayser, D. Horrière,
D. Hudson, V. Josselin, P. Leseur, M. Rodrigues (Payload PM), N. Tanguy,
P. Touboul (PI)

OCA

P. Berio, P. Exertier, G. métris (Co-PI), F. Mignard

ZARM Bremen

H. Dittus (Co-I), H. Selig, S. Theil

PTB Brünswick

V. Jaeger, F. Löffler

CNES

Y. André, H. Conessa, J.B. Dubois (Mission PM), E. Fournier, S. Léon-Hirtz,
B. Pouilloux, P. Prieur, P.G. Tizien, O. Vandermarcq, et al.

ESA

D. Nicolini