Télescopes spatiaux

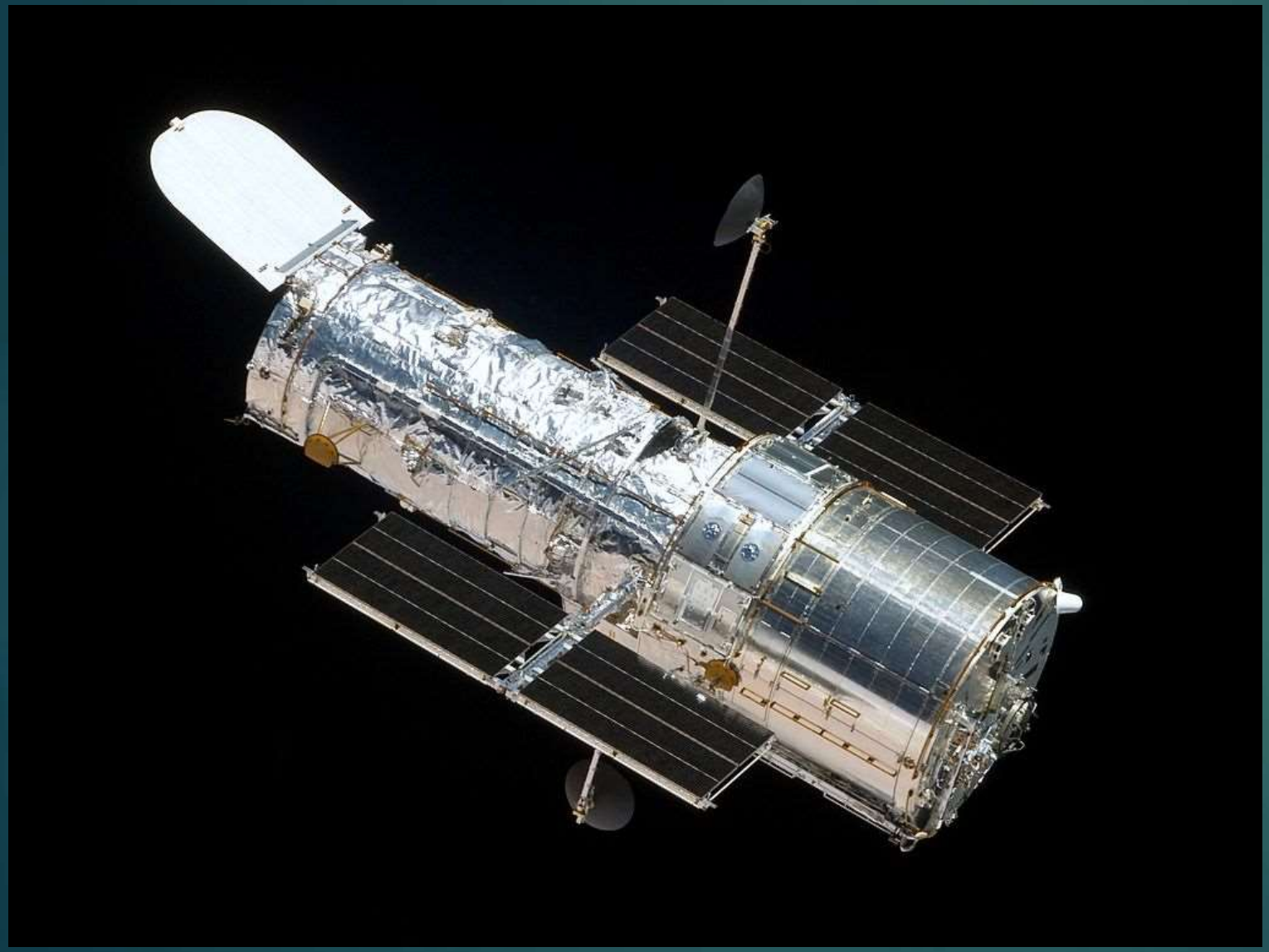
Télescopes spatiaux

A ce jour 106 télescopes ont été lancés dans l'espace pour des missions très variées et des bandes de fréquences allant de la radio jusqu'au rayons gamma.

On envoie dans l'espace les instruments qui ne peuvent pas être installés sur Terre pour cause d'opacité de l'atmosphère au rayonnements observés ou qui compte-tenu de la précision exigée doivent s'extraire des perturbations terrestres.

Nous décrirons brièvement quatre d'entre eux correspondant à quatre types d'observations très différentes les unes des autres.

Le télescope Hubble



Type	Ritchey-Chrétien
Diamètre	2,4 m
Focale	57,6 m
Longueur d'onde	Visible, ultraviolet, proche infrarouge

Principaux instruments	
NICMOS	Caméra et spectromètre infrarouge
ACS	Caméra
WFC3	Caméra à large champ
STIS	Spectromètre et caméra
COS	Spectromètre ultraviolet

Le télescope Hubble

- Le **télescope spatial *Hubble***, est un télescope spatial développé par la NASA avec une participation de l'ESA qui est opérationnel depuis 1990.
- Son miroir de grande taille (2,4 mètres de diamètre), qui lui permet de restituer des images avec une résolution angulaire inférieure à 0,1 seconde d'arc ainsi que sa capacité à observer à l'aide d'imageurs et de spectroscopes dans l'infrarouge proche et l'ultraviolet lui permettent de surclasser pour de nombreux types d'observation les instruments au sol les plus puissants handicapés par la présence de l'atmosphère terrestre.

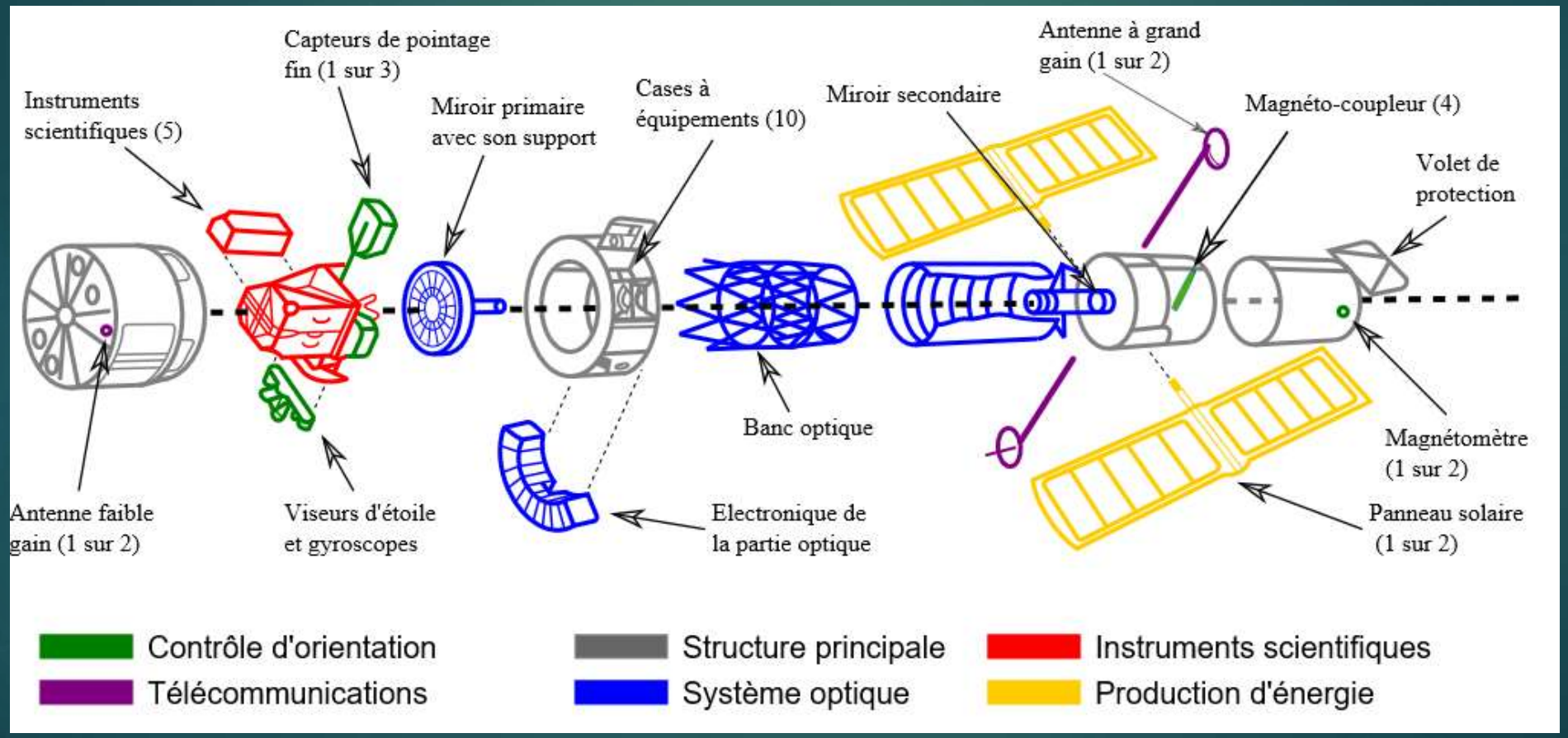
Le télescope Hubble

Le télescope Hubble

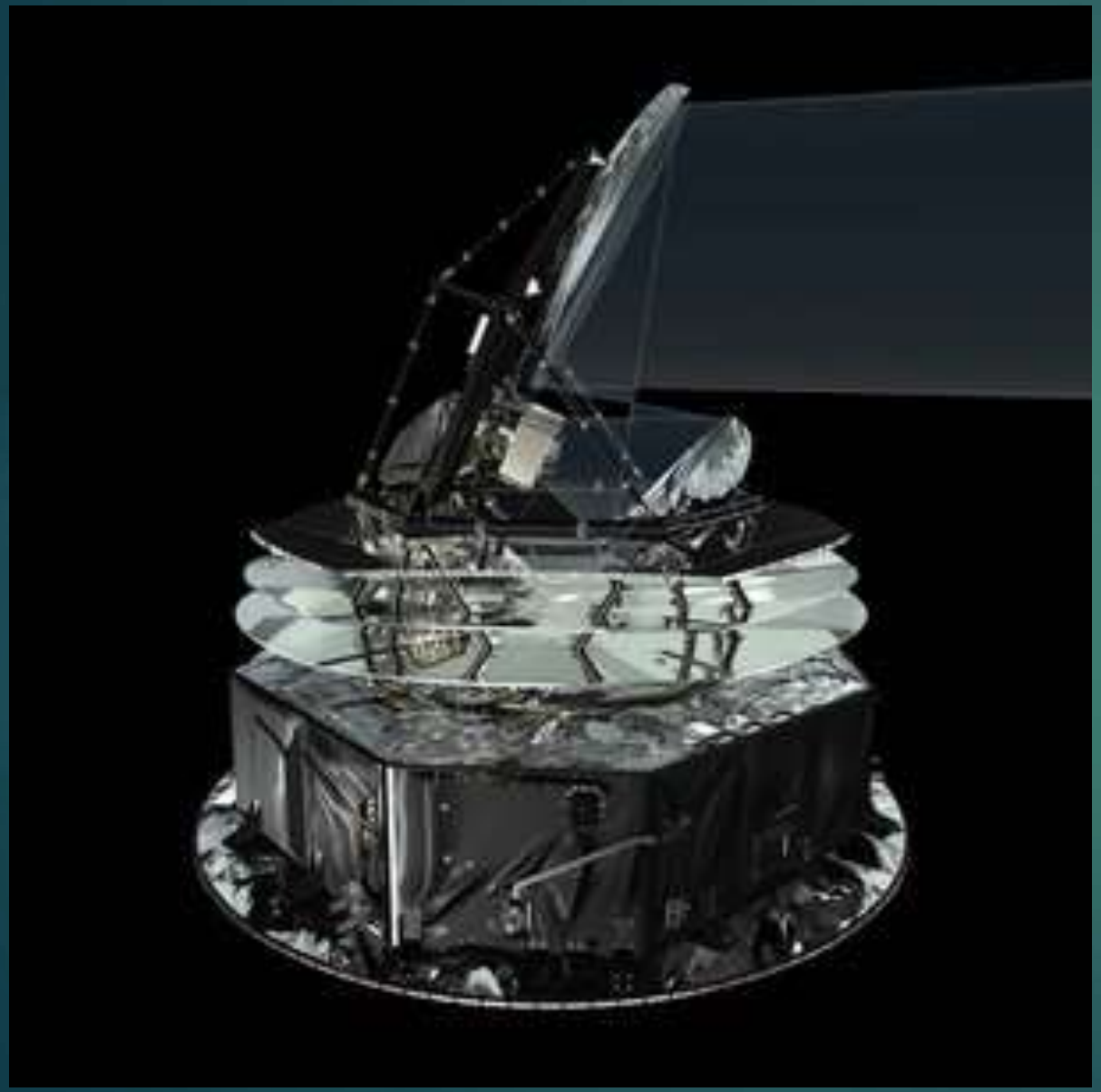
- Après un début difficile (l’optique du télescope était défectueuse) et de nombreuses missions de maintenance, l’opération a été un immense succès allant au-delà des espérances les plus folles.
- En effet, les données collectées par *Hubble* ont contribué à des découvertes de grande portée dans le domaine de l’astrophysique telles que la mesure du taux d’expansion de l'Univers, la confirmation de la présence de trous noirs super massifs au centre des galaxies ou l'existence de la matière noire et de l‘énergie noire.

Le télescope Hubble

Schéma éclaté du télescope *Hubble*



Le télescope PLanck



Caractéristiques

Organisation	Agence spatiale européenne
Domaine	Rayonnement micro-onde fossile
Statut	mission achevée (HFI)
Masse	1912 kg
Lancement	14 mai 2009
Fin de mission	14 août 2013
Autres noms	COBRAS / SAMBA
Orbite	Héliocentrique
Localisation	Point de Lagrange L_2

Télescope

Type	grégorien
Diamètre	1,5 m
Longueur d'onde	micro-onde

Le télescope Planck

- Les objectifs scientifiques du satellite Planck sont les suivants :
- L'objectif principal de Planck est de dresser une carte des températures du fond diffus cosmologique permettant de détailler les anisotropies (fluctuations) avec un niveau de détail inégalé par rapport à son prédécesseur immédiat WMAP. La sensibilité attendue (précision) sur la température mesurée est de 2×10^{-6}, la résolution angulaire de la carte est de 5 minutes d'arc et la bande spectrale étudiée va de 30 à 857 GHz.
- Mesure des paramètres cosmologiques avec une précision atteignant 1% ou mieux pour la densité de la matière baryonique ou la proportion de matière noire.

Le télescope PLanck

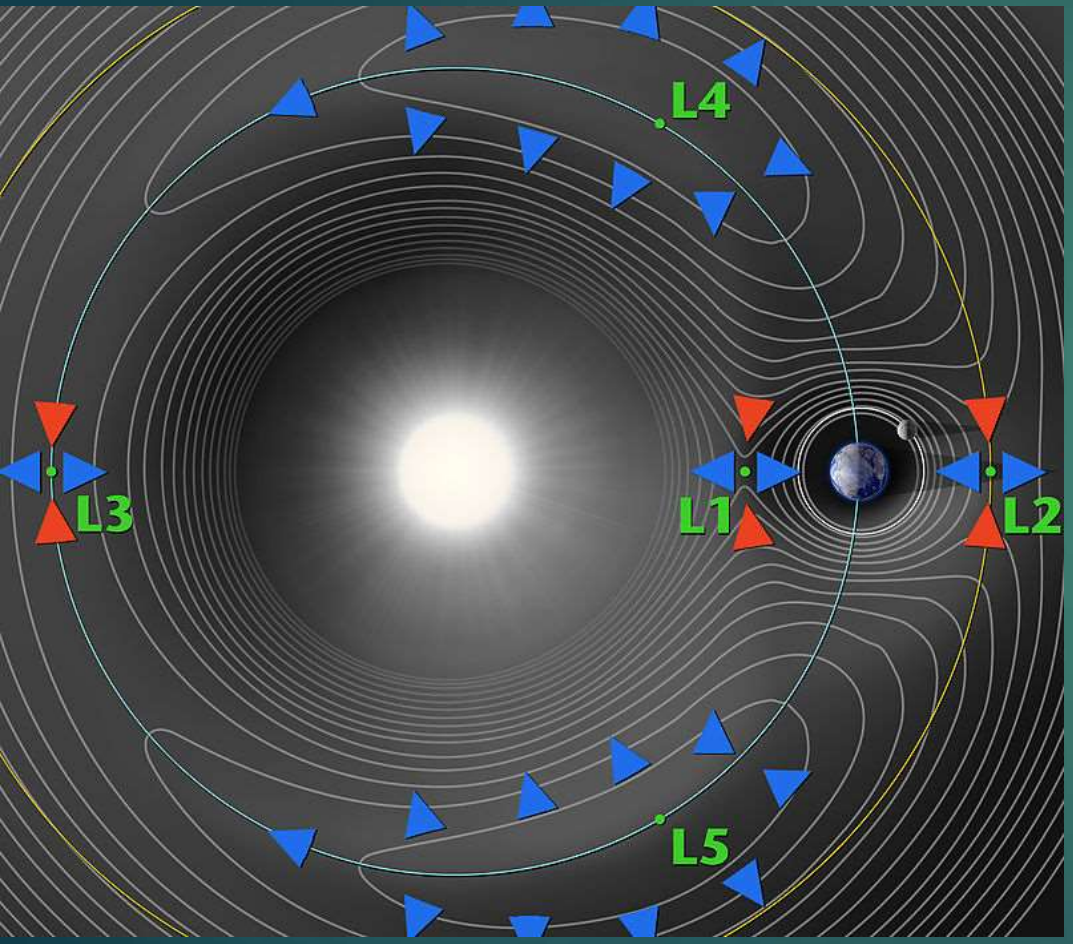
- En cosmologie, l'**effet Sunyaev-Zel'dovich** est le résultat de la distorsion du RFC par des électrons de grande énergie grâce à la diffusion Compton inverse, qui permet à ces électrons de transférer une grande partie de leur énergie aux photons de faible énergie du fonds diffus. Ces distorsions sont observées dans le spectre du RFC pour détecter les perturbations de densité dans l'univers primordial. En utilisant cet effet, des amas de galaxies (plasma) ont pu être détectés.
- Étude du milieu interstellaire de la Galaxie.
- Pour atteindre ces objectifs il est prévu initialement que la mission dure au minimum 18 mois afin de permettre aux instruments d'effectuer deux observations complètes du ciel.

Éclaté du prototype du refroidisseur HFI de Planck

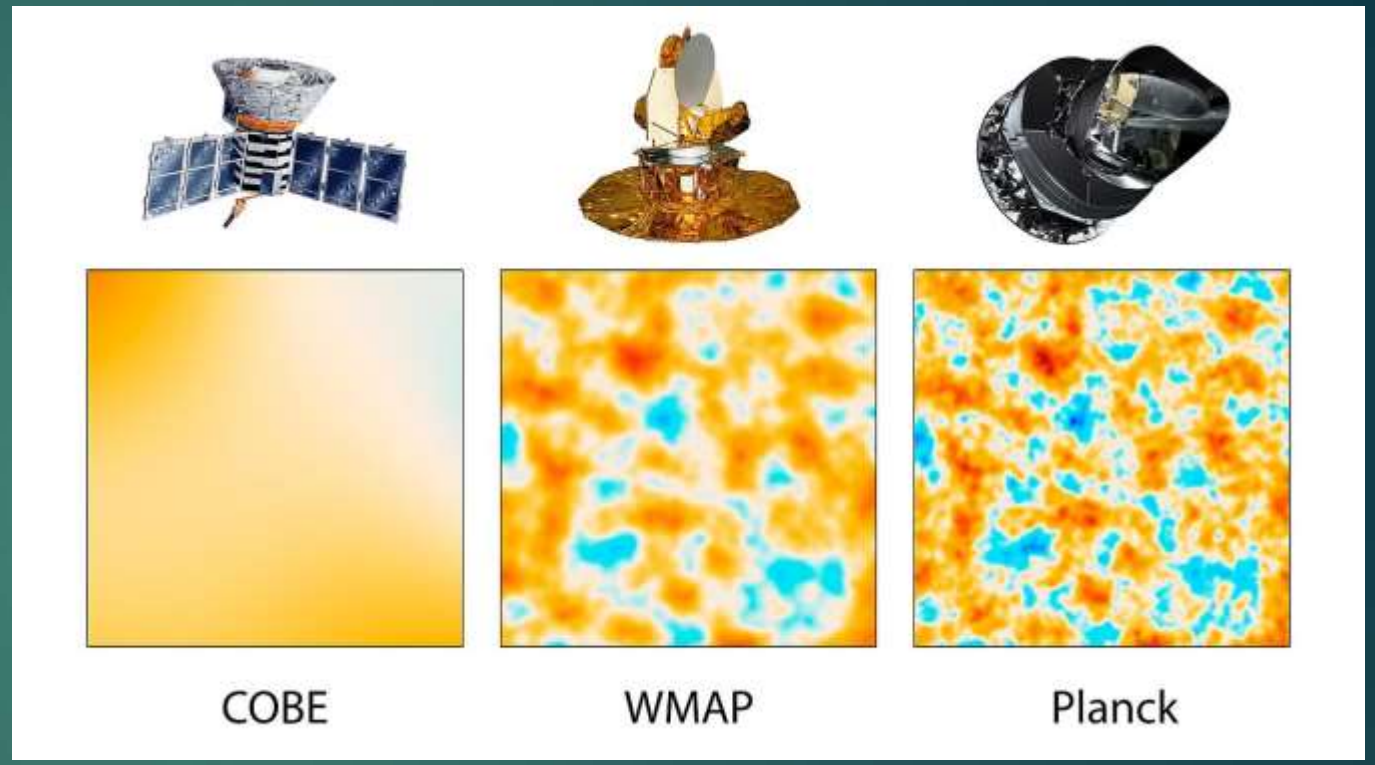
Afin d'observer le fond diffus cosmologique dont le pic de température est de 2,725 K (soit -270,435 °C) et surtout pour dresser une carte ultra précise de ses infimes variations (± 0,00001 degré), les capteurs de Planck doivent être maintenus à une température extrêmement basse.

Cette contrainte constitue la principale difficulté de conception du satellite et conditionne en grande partie son architecture. Planck dispose d'un système de refroidissement à six étages (trois passifs et trois actifs) conçu pour maintenir son miroir principal d'un mètre cinquante de diamètre à 60 K (-213 °C) et les détecteurs de sa charge utile à 20 K (-253 °C), 4 K (-269 °C) et même 0,1 K (-273,05 °C) pour les bolomètres de l'instrument haute fréquence HFI.

Les apports du télescope PLanck



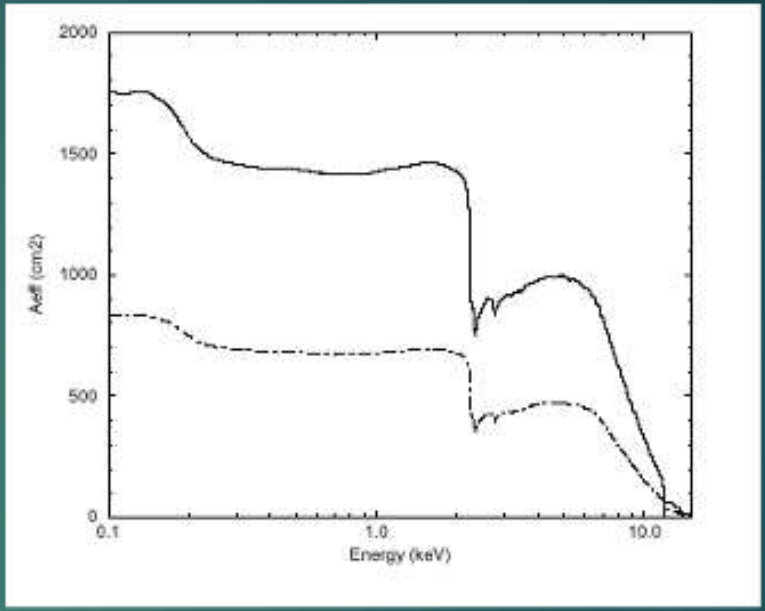
Les 5 points de Lagrange

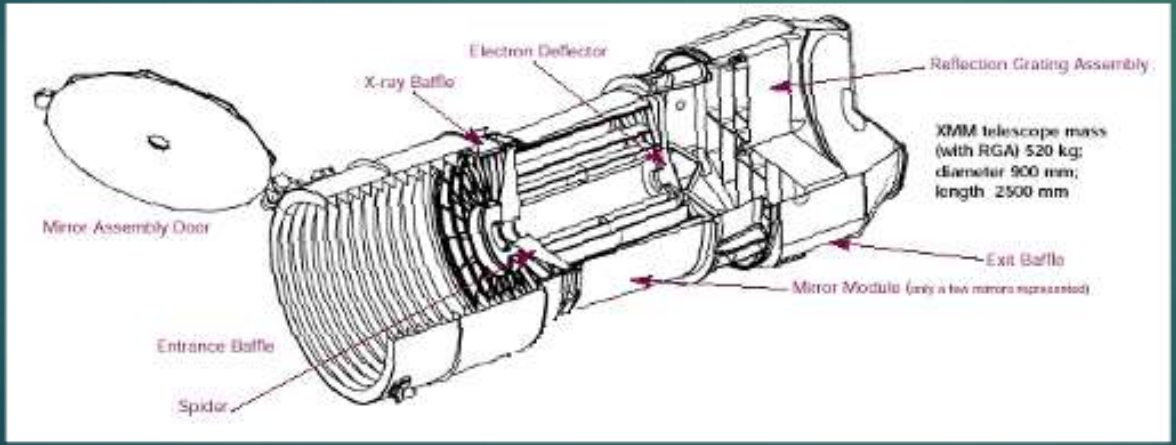


Planck a été un immense succès , permettant de préciser et corriger les données de WMAP et apportant de nouvelles informations sur la polarisation du RFC.

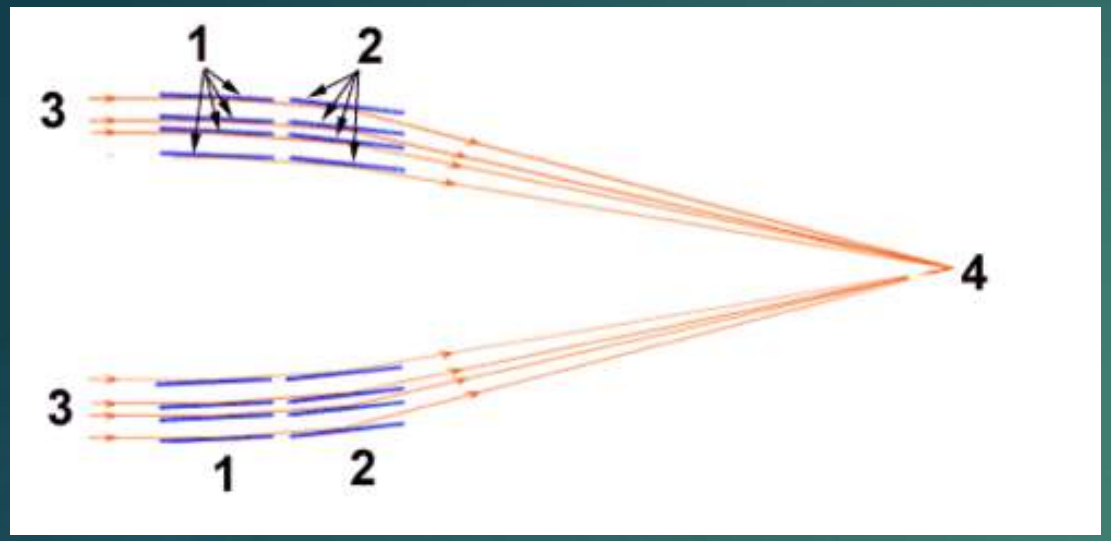
Télescopes X XMM Newton

- **Spécifications du télescope**
- Longueur focale du télescope: 7500 mm
- Nombre de miroirs par télescope 58
- Rayon du miroir externe 350 mm
- Rayon du miroir interne 153 mm
- Longueur du miroir axial 600 mm
- épaisseur du miroir externe 1.07 mm
- épaisseur du miroir interne 0.47 mm
- Distance minimum d'assemblage 1 mm
- Surface réfléchissante en nickel plaqué or





Télescope Newton XMM



Pour parvenir à concentrer suffisamment de photons avec la contrainte de l'incidence rasante, les miroirs sont des optiques Wolter de type I composées de 58 miroirs cylindriques concentriques imbriqués les unes dans les autres d'un diamètre croissant de 30 cm à 70 cm et d'une longueur de 60 cm.

L'épaisseur de chaque miroir est comprise entre 0,47 mm et 1,07 mm et la distance minimale entre deux miroirs est de 1 mm. Chaque miroir est constitué d'un support en nickel mis en forme par galvanoplastie recouvert d'une couche réfléchissante en or. Les miroirs constituent la partie la plus complexe du télescope. Ils ont été développés initialement en utilisant un support fait de plastique renforcé par des fibres de carbone (Carbon Fibre Reinforced Plastics CFRP) mais ce matériau ne permettait pas d'atteindre les spécifications attendues.

Chute d'une galaxie

On a étudié en détail le voisinage de la galaxie NGC4839, liée à un groupe de galaxies, situé à la frontière entre Coma et le filament. L'observation de cette galaxie dans la bande d'énergie 0,5 à 2 keV **(voir figure 7)** montre que la galaxie est plus proche de l'amas que le gaz chaud du groupe. Cette galaxie, comme une comète s'approchant du soleil, possède une chevelure : elle perd une partie de sa matière lors de sa chute vers l'amas. La carte des températures de cette région du ciel **(voir figure 8)** montre que la chevelure de NGC4839 est plus froide que les gaz de l'amas. Cette constatation est en très bon accord avec la simulation de l'attraction d'une galaxie sur un amas de galaxies où la « queue » froide de la galaxie tombant sur l'amas apparaît nettement.

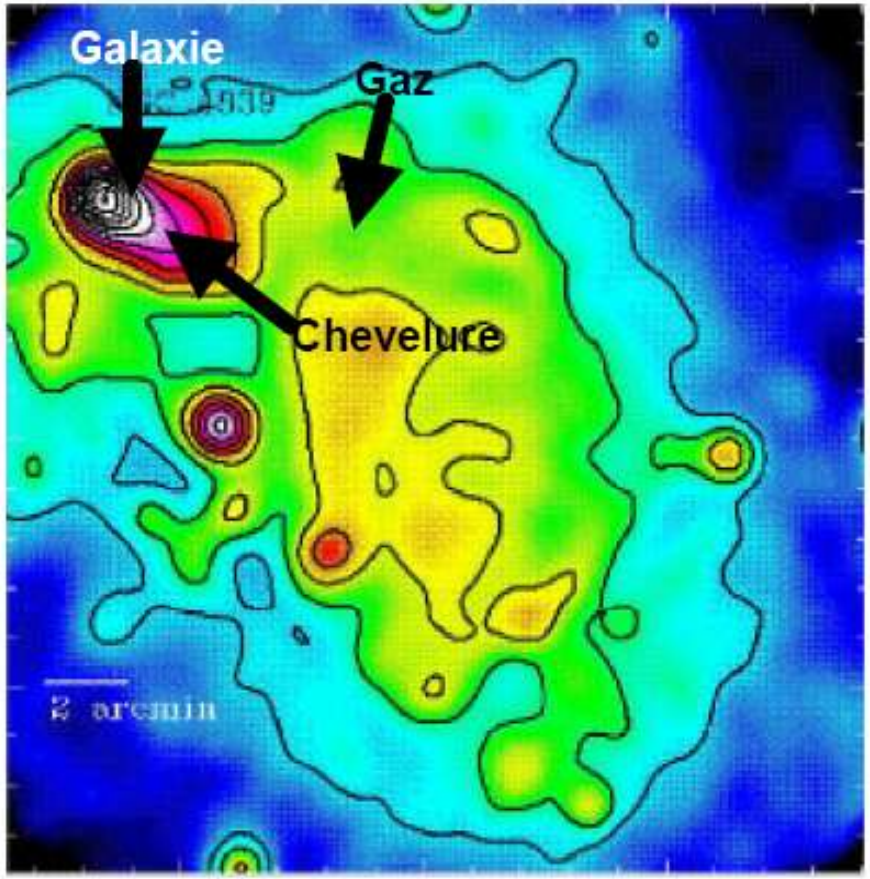


***Figure 7** : carte en rayons X de la galaxie NGC4839 vue parEpic*

Résultats de XMM Newton

- De nombreux télescopes (51) visant à explorer l'espace dans le domaine des rayons X et Gamma, inobservables depuis le sol, ont été lancés.
- XMM Newton se caractérisait par sa sensibilité liée à une grande surface de miroirs permettant de détecter des sources peu intenses, mais payait ces performance par une résolution assez faible.
- Il a donc contribué à la moisson de résultats en croisant ses observations, performantes en sensibilité, avec celles des autres satellites X et gamma.

Gravity Probe B

Lancement, le 20 Avril 2004: Orbite polaire, à 640 km d'altitude, plan contient la référence.

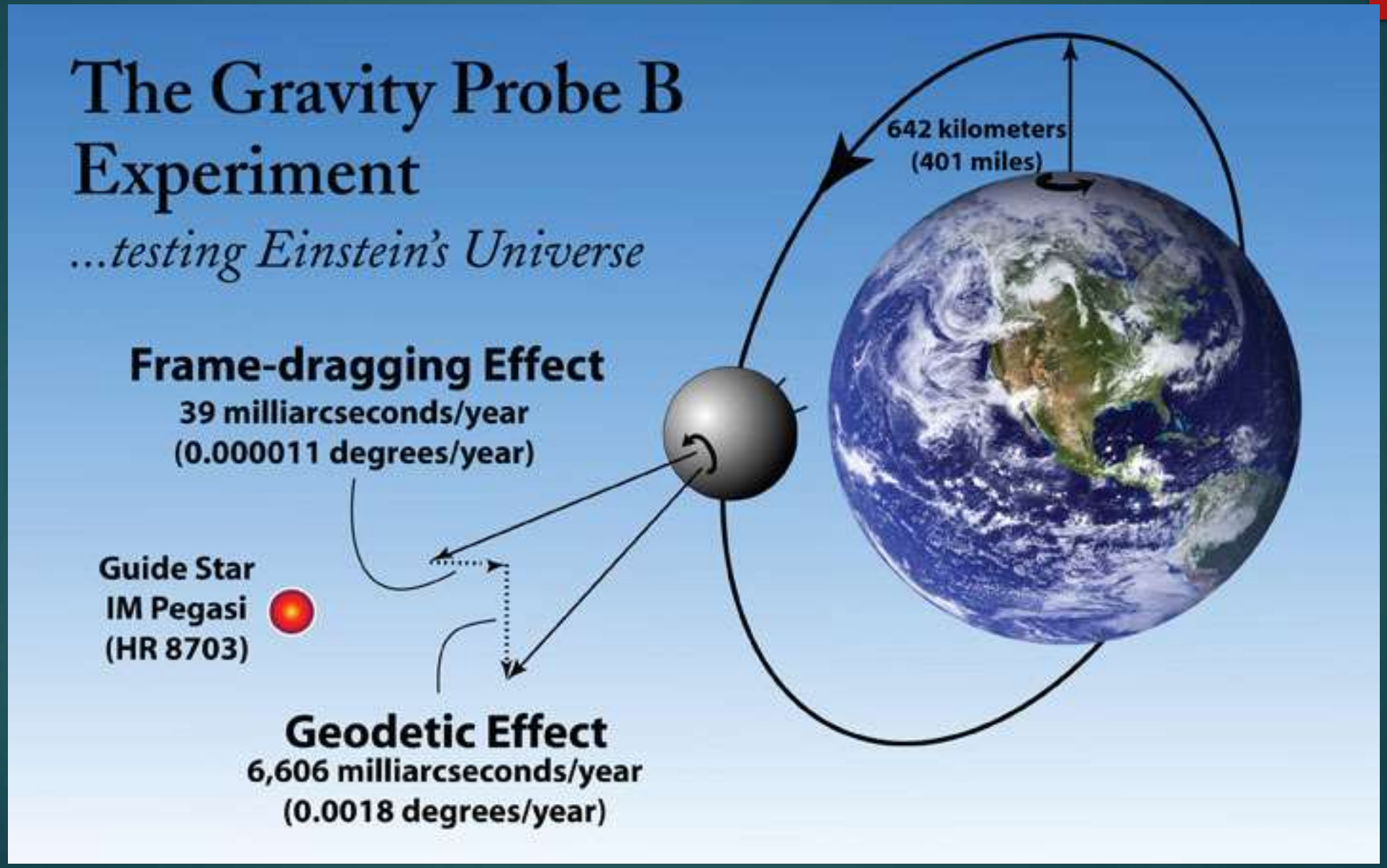
Objectif : Expérience visant à vérifier « directement » deux prédictions de la Relativité générale dans le champ de gravitation terrestre (orbite polaire optimisée), les effets sont «orthogonaux» (cf figure ci dessous) ce qui permet de les séparer.

Effet de précession géodésique (Effet de Sitter, lié à la courbure de l'espace par le champ terrestre): 6,6 seconde d'arc/an (précision de la mesure 0,01%). [Remarque cet effet a déjà été validé expérimentalement sur le système Terre –Lune, précision 1%].

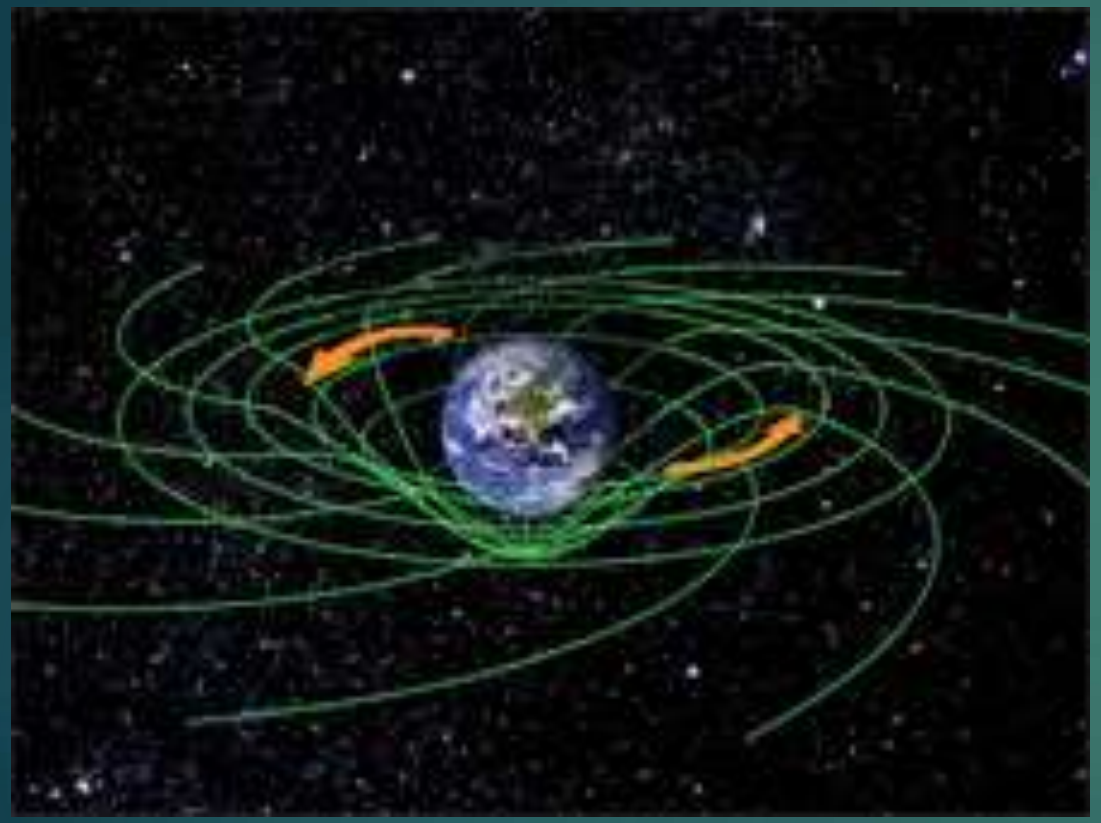
Effet Lense Thirring (entraînement du référentiel, liée à la rotation de la Terre, effet gravito magnétique): 0,042 seconde d'arc par an (précision de la mesure 1%): Un défi technologique!!!!!

En ce deuxième point, l'expérience permettra de valider les prévisions «gravito-magnétiques» de la Relativité générale, liés au champ crée par les masses en mouvement.

Gravity Probe B



Gravity Probe B



Effets combinés de la déformation par la masse et par la rotation de la Terre.

<u>Principe de l'expérience</u> : Un système de **quatre gyroscopes** « ultra précis », (sens de rotation inversé par paire et le système tournant lentement autour de son axe de visée pour s'affranchir de dissymétries éventuelles), doivent fournir une référence inertielle stable, en l'absence de perturbation. Un **télescope** embarqué pointe très précisément (**0,0001 sec arc**) sur **une référence** lointaine dont la position (et dérive éventuelle) est connue (**HR8703, IM Pegasus**). Le plan de l'orbite polaire passe par cette référence. Une **dérive** de ces gyroscopes, dont l'axe est initialement // à celui de visée du télescope, par rapport à cette référence, liée aux deux effets testés de la valeur indiquée, est **prédite par la Relativité générale**

Gravity Probe B

Défi technologique : Mesurer une dérive aussi faible que 0,042 seconde d'arc /an du système inertiel ainsi constitué nécessite de réaliser un système plusieurs ordres de grandeur fois plus stable que le meilleur système inertiel en service.

Gravity Probe se propose de vérifier cet effet à 1% : nécessite une stabilité de 10^{-11} degré d'arc / Heure.

Gravity Probe B:Réalisation de la prouesse technologique

L'environnement : Les équipements expérimentaux du satellite sont à l'intérieur d'un Vase Dewar contenant **2328L** d'hélium superfluide, pour maintenir les équipements à **1,8 °K** pendant **2 ans**.

Un blindage magnétique pour s'affranchir du champ terrestre et solaire à plusieurs niveaux en particulier par des métaux en état de **supra conductivité** permettent de réduire le champ résiduel à l'intérieur à moins de **10^{-17} Gauss**.

Le vide fait dans l'équipement est de **10^{-14} bar**

Un boule libre identique à celle des gyroscopes, dans une cavité, à l'abri des perturbations extérieures (vent solaire, atmosphère résiduelle, magnétisme…) au centre de gravité, fournit la référence inertielle du centre de gravité du système sur la trajectoire géodésique (Accélération résiduelle à **10^{-10G}**).

Au froid, dans un vide poussé, en micro gravité, dans des conditions de symétrie maximum, protégés des perturbations électriques et magnétiques, les gyroscopes tournent dans un environnement qui les isole pratiquement complètement de leur milieu.

Gravity Probe B:Réalisation de la prouesse technologique

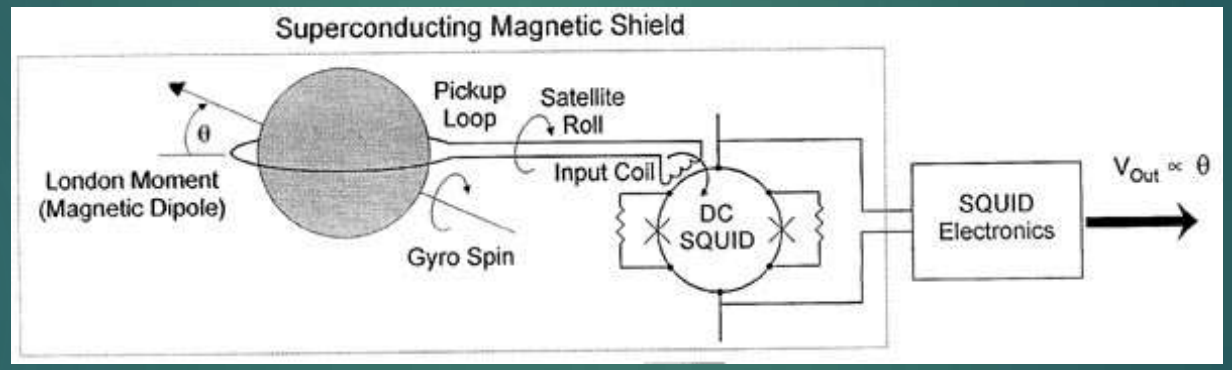
Les gyroscopes : Petites **boules de quartz** fondues de la taille d'une balle de ping pong, revêtues d'une couche de **nobium** (**supra conducteur** à cette température) , ils sont les **objets les plus ronds** et les plus homogènes que l'on trouve dans l'univers (à l'exception peut être des étoiles à neutrons).

Ils sont en lévitation électrostatique dans une coquille munie d'électrodes (faible tension).

La vitesse de rotation 10 000 tr/mn est communiquée (en vol par un jet sonique d'hélium gazeux (ensuite pompé). Compte tenu du vide cette vitesse ne varierait pas de plus de 1% en 1000 ans.

Gravity Probe B:Réalisation de la prouesse technologique

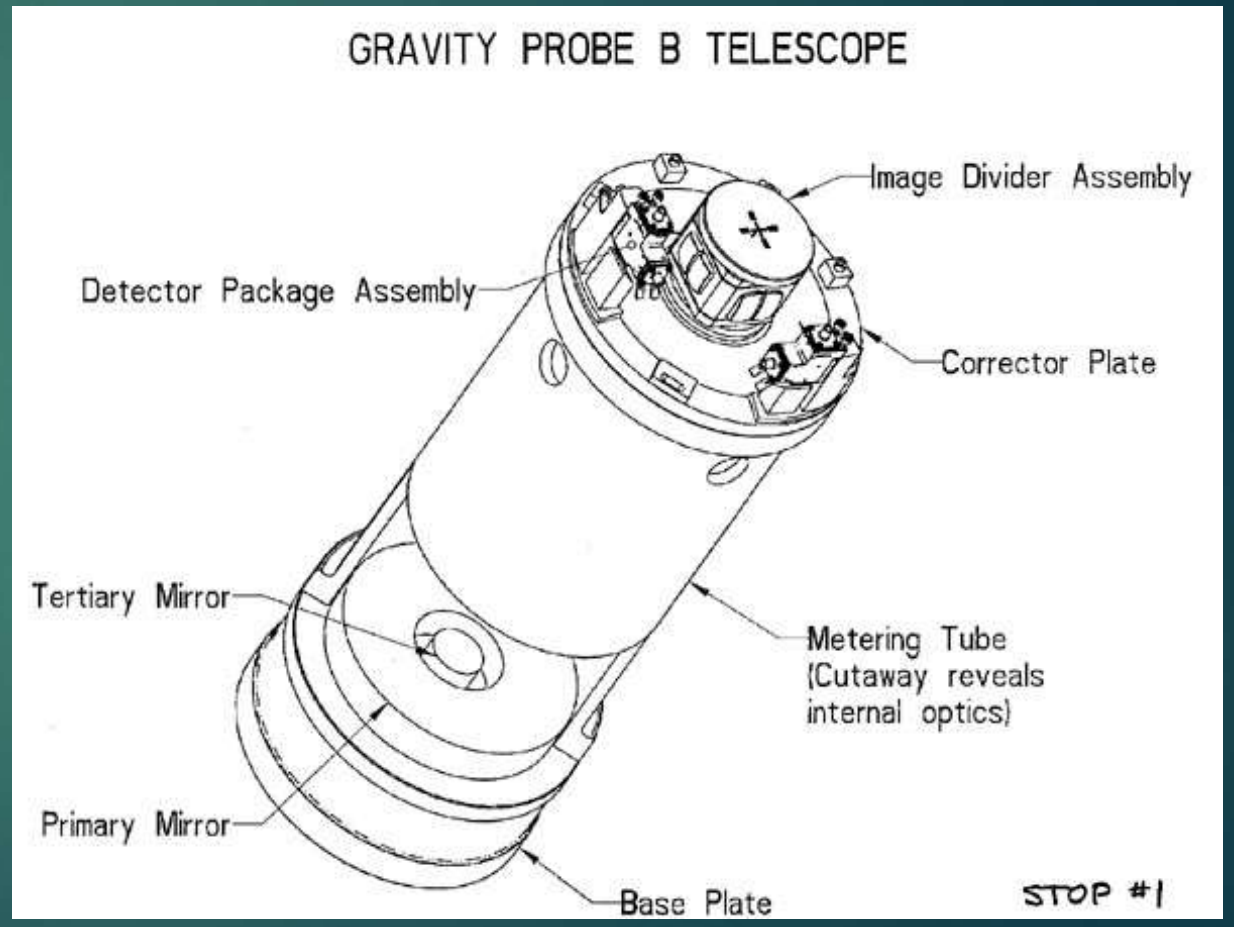
Le système de lecture (le moins perturbant possible) de la position de l'axe du gyroscope se fait par **SQUID**. (Superconductivity Quantum Interference Device).



Principe de la lecture d'une variation de position de l'axe de rotation

Gravity Probe B:Réalisation de la prouesse technologique

Le Télescope : Réaliser un pointage à 0,1 milliarc-seconde, 1000 fois mieux que le pouvoir séparateur des meilleurs télescopes n'est pas une mince affaire.
Comme le reste il fait d'un bloc de quartz fondu, son ouverture est de 15 cm environ, sa focale de 3,75 m (s'agissant d'un Cassegrain sa longueur est de 35 cm).



Gravity Probe B:Réalisation de la prouesse technologique

Pour la mesure, il utilise une technique différentielle (séparation du faisceau en 2, et séparation de chaque image par un prisme en deux demi disques, chaque paire de demi images transmise à des photo-détecteurs qui génèrent un signal proportionnel au déplacement). Il utilise « l'aberration astronomique » pour calibrer ses mesures.

La source IM Pegasus a été choisie pour sa luminosité et la connaissance très précise **(0,0002 sec-arc/an**) qu'on a de sa position et dérive par rapport à un référentiel extragalactique (Campagne de mesures par interférométrie avec le **VLBI)**.

Précautions particulières : L'orbite étant « polaire » le satellite est particulièrement exposé aux agressions des rayonnements (hors de la protection du bouclier magnétique terrestre). Il a déjà subi et supporté avec succès ce genre d'épreuve au cours de sa courte période de pré-activité.

Gravity Probe: Résultats

Les concepteurs avaient fait preuve d'un certain optimisme sur les performances de leurs instruments. Par ailleurs des évènements non prévus ont dégradé la précision des résultats. Celui est en demi-teinte. Si l'effet géodétique a été confirmé avec une excellente précision (0,28% de marge d'erreur) pour l'effet Lense Thirring, après un traitement de données très poussé pour éliminer des erreurs systématiques (contesté par certains) le résultat obtenu est entaché d'une marge d'erreur de 19%.

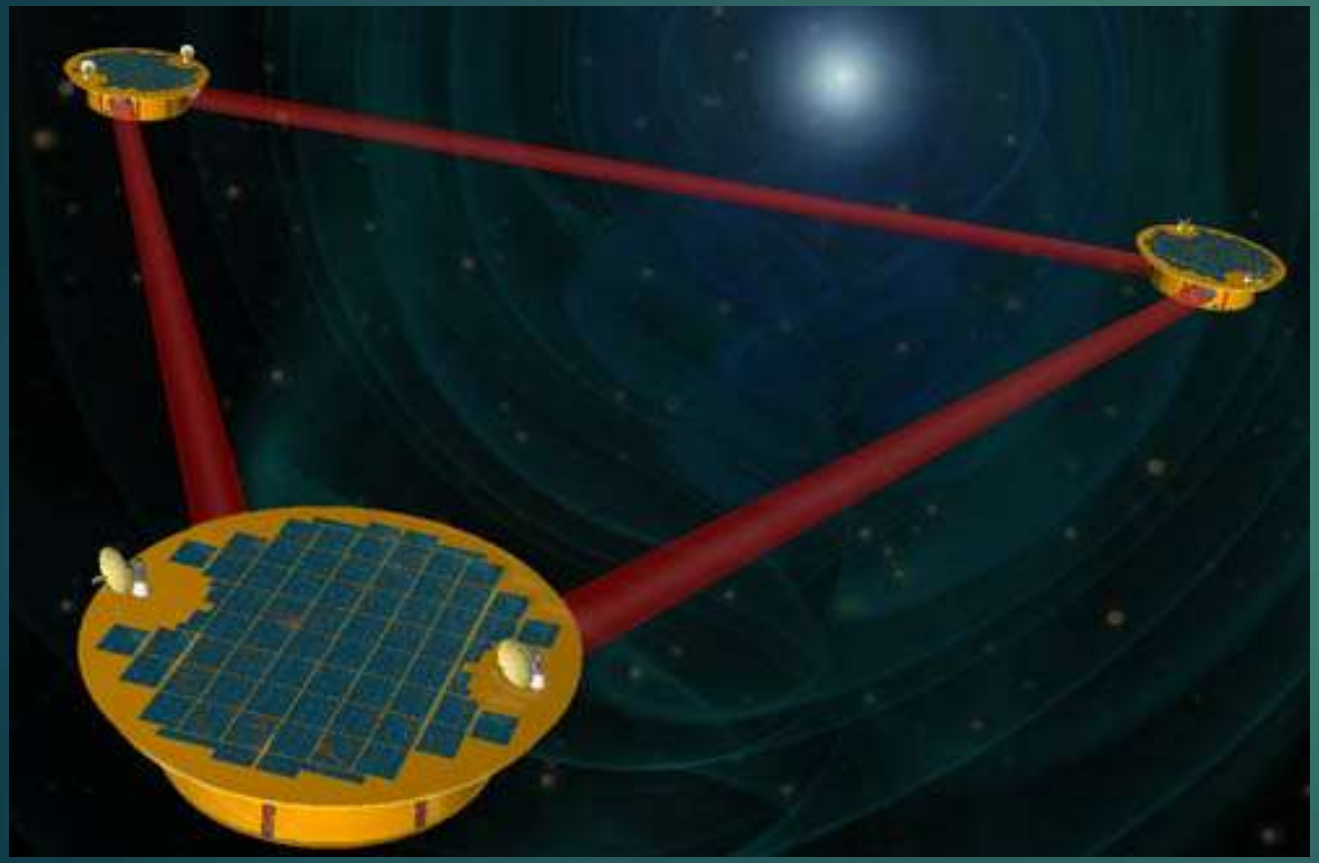
S'agissant de la seule mesure directe de cet effet , à supposer que les traitements faits soient corrects on peut considérer que c'est une vérification probante de cet effet.

A noter que d'autres expériences (satellite LARES) sont faites, mais dans ce cas ce n'est pas une mesure directe mais par différence (on mesure un résidu anormal de l'orbite du satellite, lorsqu'on a pris en compte tous les effets connus).

LARES est un satellite passif d'une masse de 387 kg. C'est une sphère très dense de 36,4 cm de diamètre en tungstène recouvertes de 92 rétro-réflecteurs *rhomboédriques* (en coins de cube) de 3,8 cm de diamètre et 2,8 cm de haut réalisés en Suprasil 31

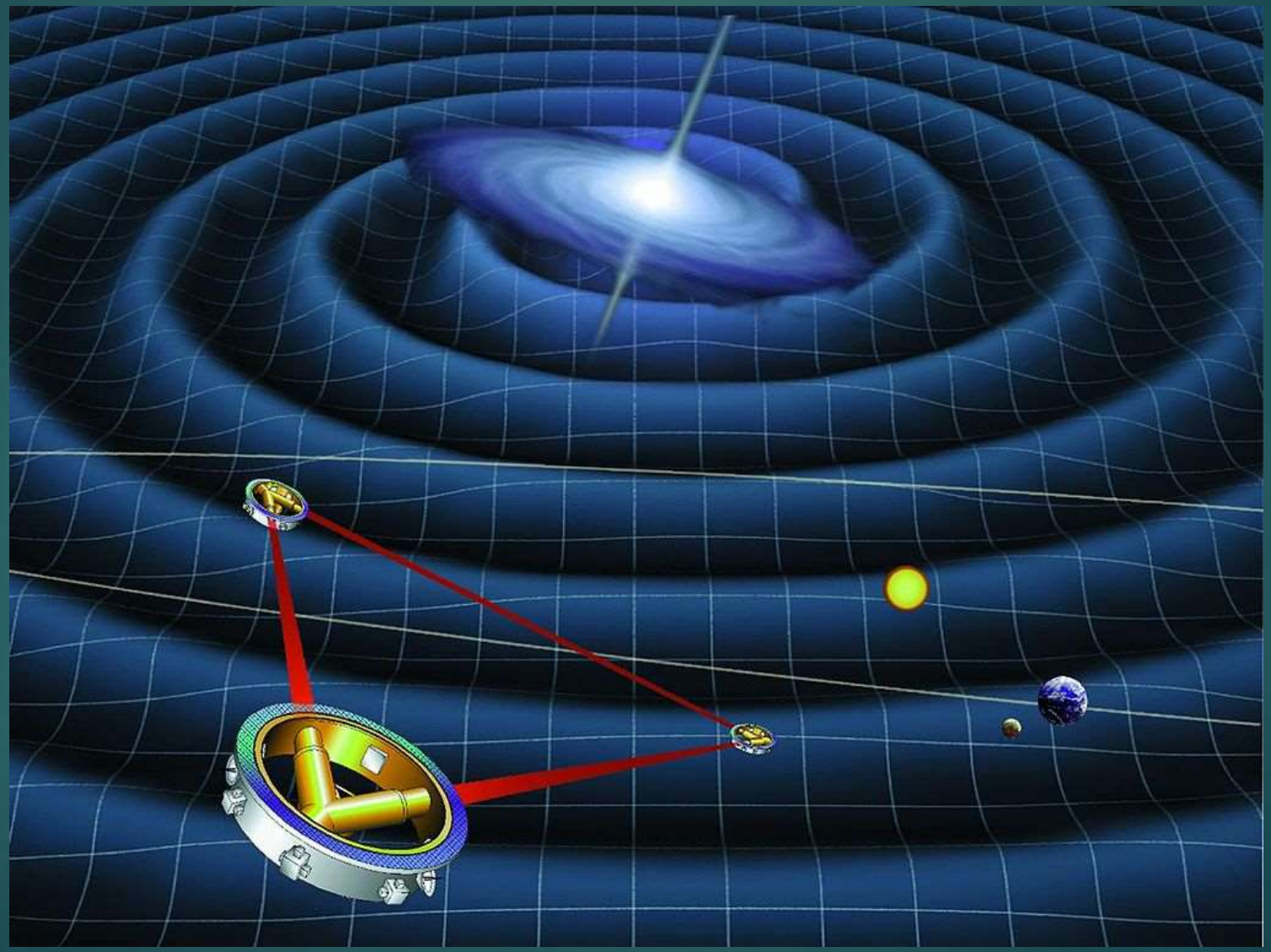
eLISA: Evolved Laser Interferometer Space Antenna

Détection d'ondes gravitationnelles à très basses fréquences

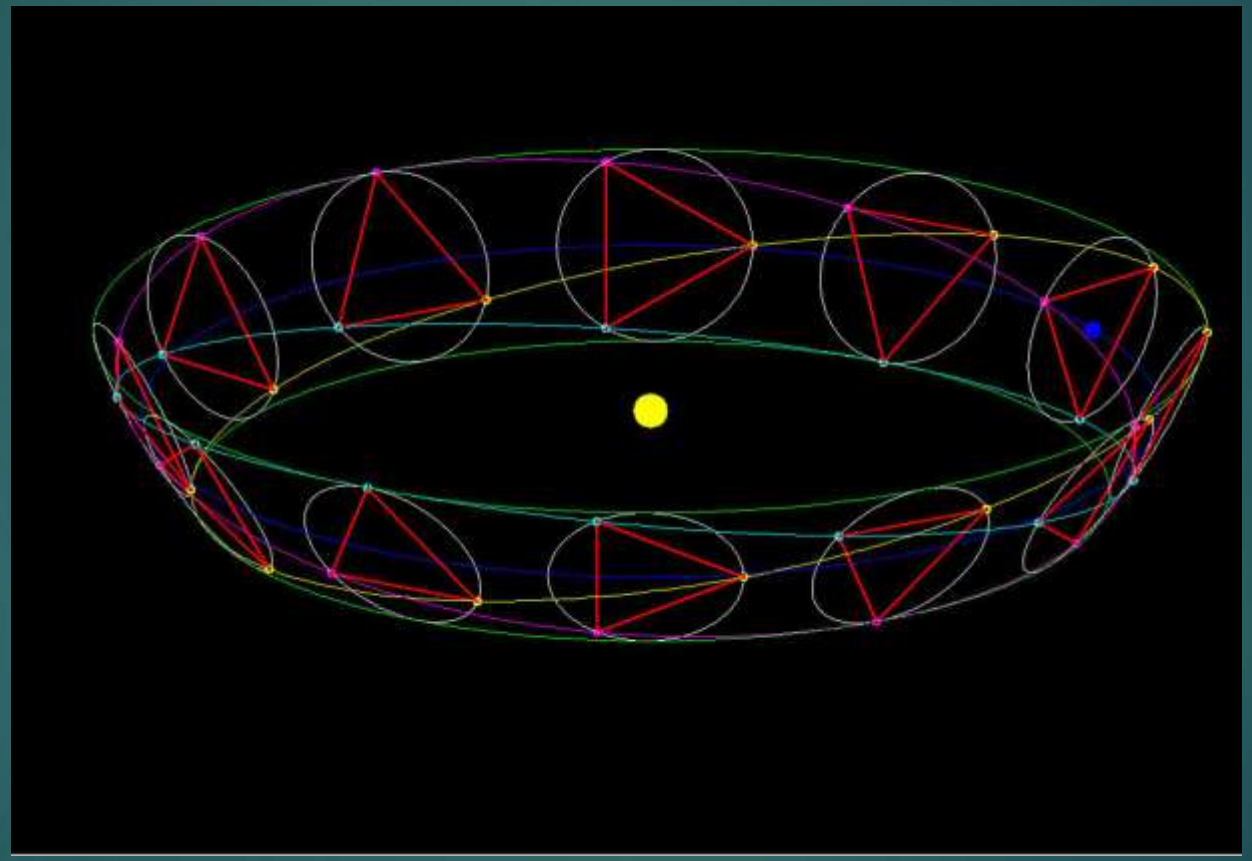


eLISA devrait être (2034) le premier détecteur d'ondes gravitationnelles dans l'espace. Il mesurera les ondes gravitationnelles directement par interférométrie laser. L'instrument est un ensemble de trois satellites formant un triangle équilatéral d'un million de kilomètres de côté. L'ensemble décrit une orbite héliocentrique de même période que la Terre (L3?). La distance entre les satellites est surveillée pour détecter un passage d'ondes gravitationnelles. A noter que la NASA qui devait être associée à l'ESA pour le projet LISA s'est retirée, ce qui a conduit à reconsidérer plus modestement le projet!

Mission LISA: vue d'artiste

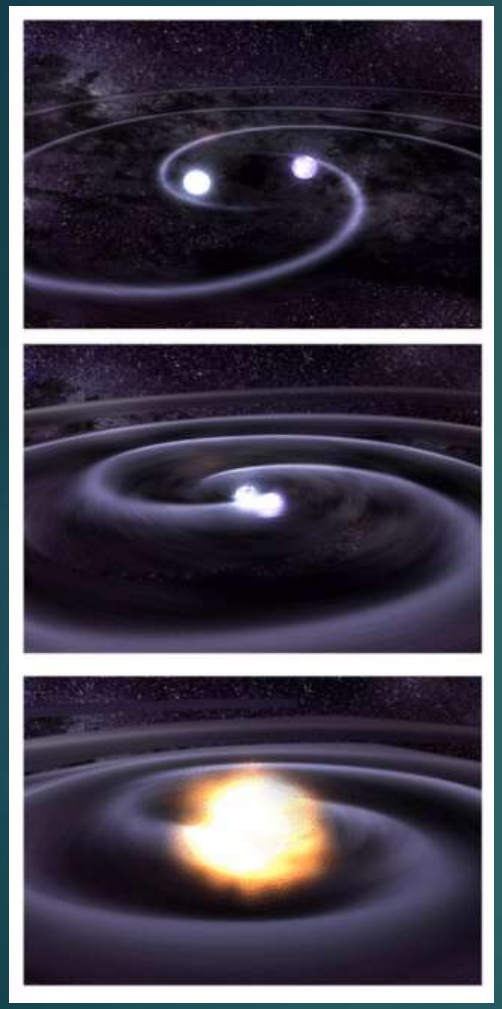


ELISA

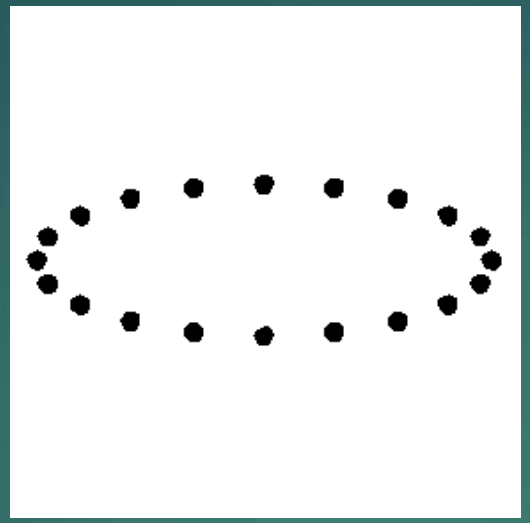


Configuration de Vol

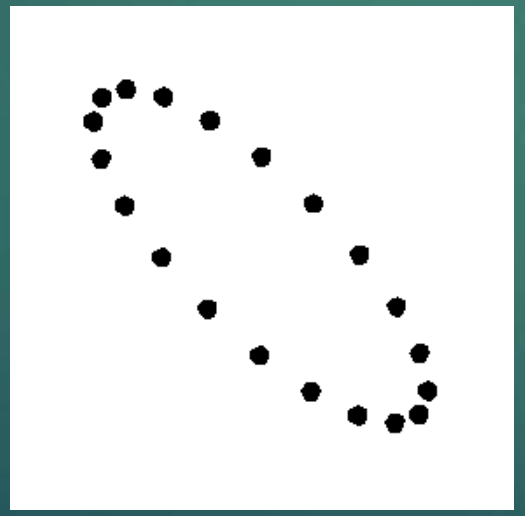
Effets des ondes gravitationnelles



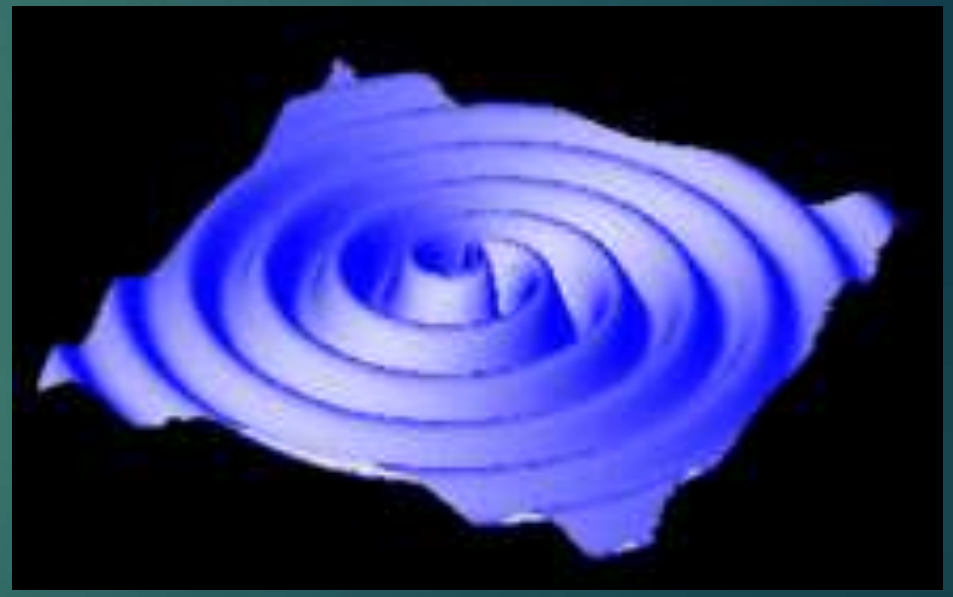
Source d'OG : Coalescence de binaires (pulsars par exemple).



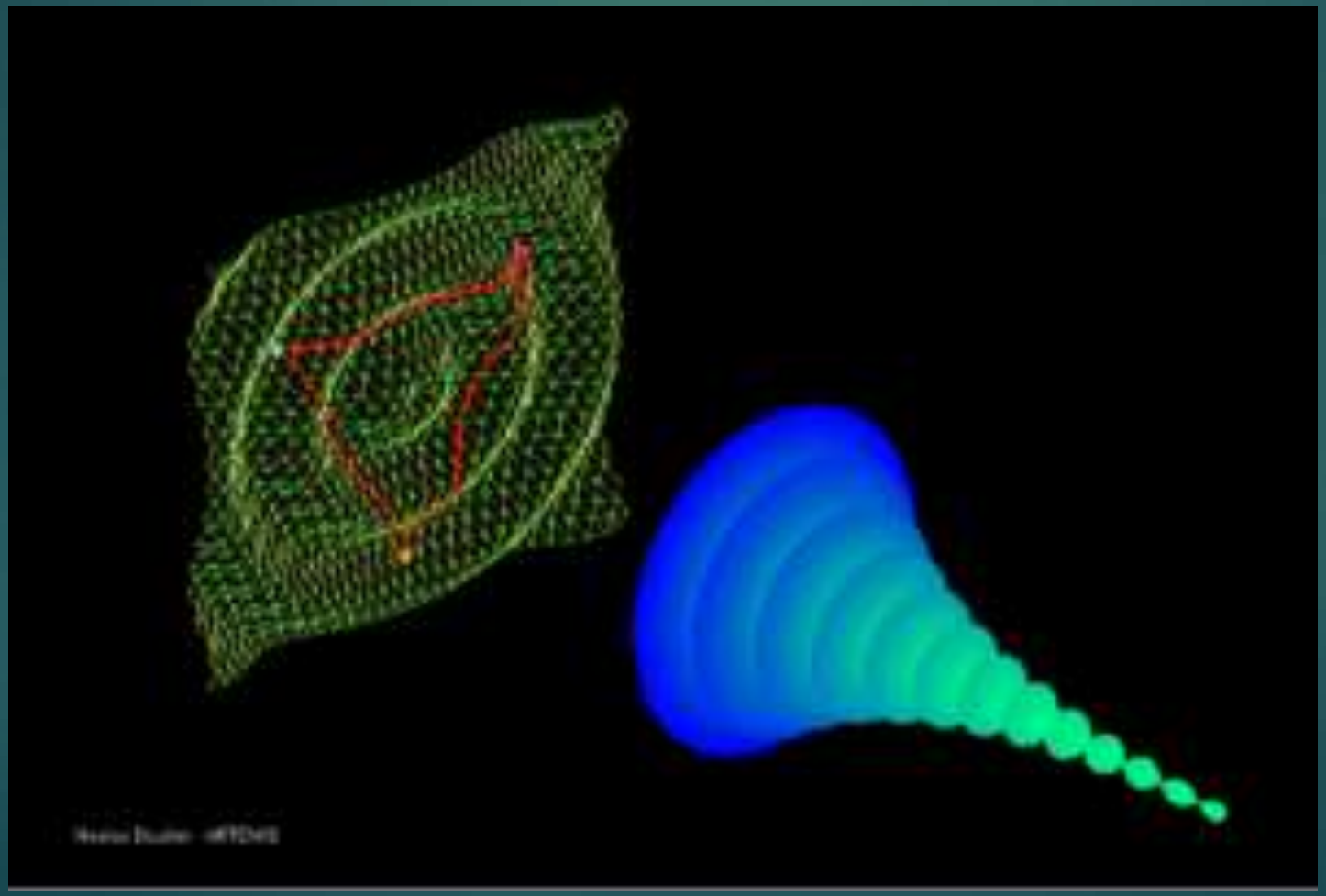
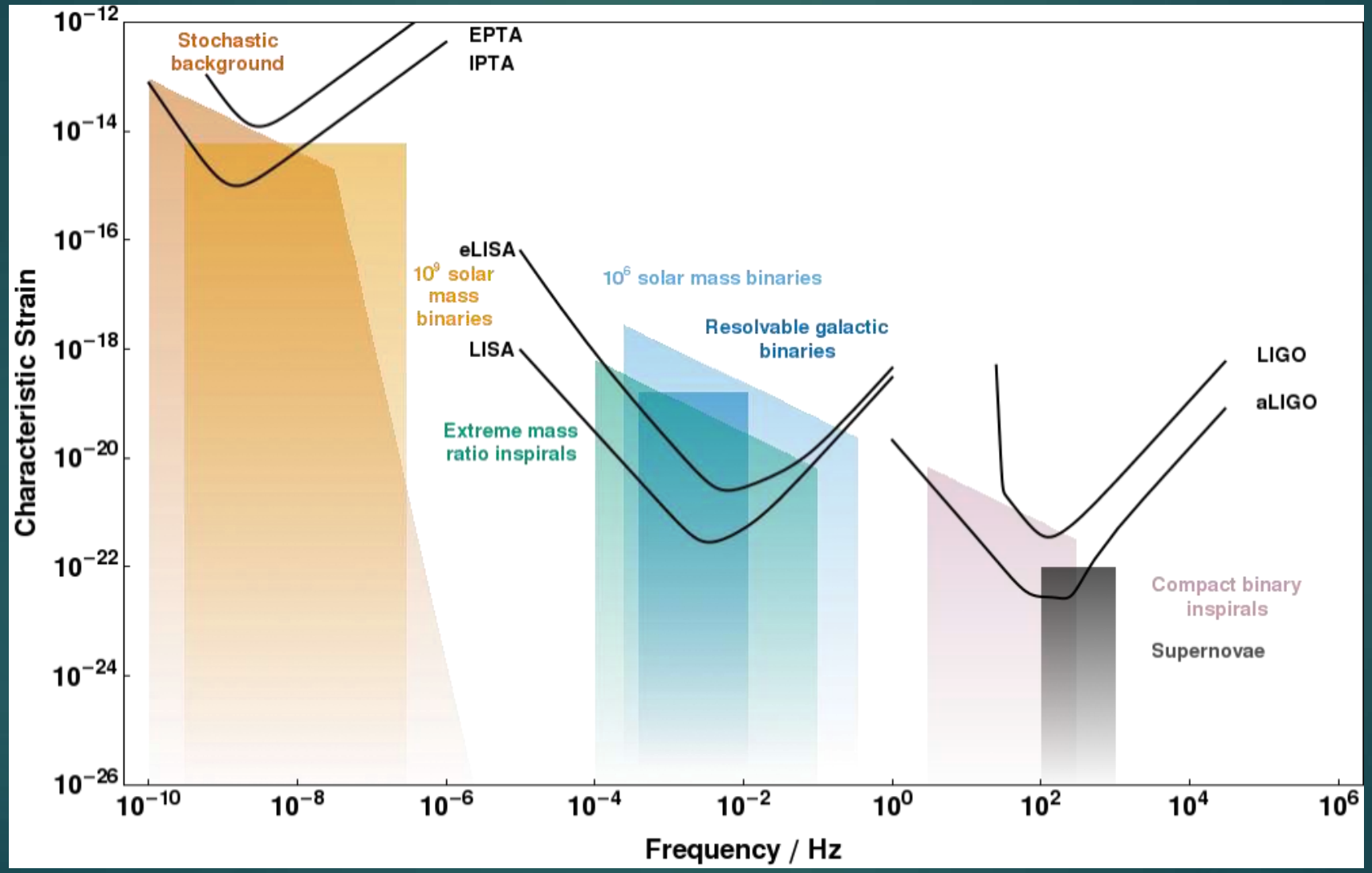
Polarisation type +



Polarisation type X



Effets d'ondes gravitationnelles sur eLISA



Sensibilité des détecteurs d'OG.