

# Dynamique Orbitale des satellites artificiels de la Terre : où en est-on ?

**Florent Deleflie**

**Observatoire de la Côte d'Azur / UMR GEMINI**



The image shows a top-down view of the Earth with several satellite orbits around it. The Earth is a blue and white sphere in the center. Multiple white elliptical orbits are shown, each with a small satellite icon. The satellites are arranged in a complex pattern, illustrating the 5,3 resonance mentioned in the text. The background is a dark grey space with small white stars.

S'affranchir des résonances :  
pourquoi la résonance (5,3) des orbites Galileo  
était un mauvais choix

## 2 échelles de temps caractéristiques pour l'analyse de mission d'une constellation de satellites artificiels

- Sur 15 - 20 ans : assurer la stabilité de la configuration initiale en minimisant le nombre de manœuvres orbitales,
- Sur des siècles : étudier l'évolution libre des trajectoires et leur stabilité pour trouver les meilleures ou les pires orbites de parking.
- Angle de résonance, commens

*La période orbitale des satellites (env. type Galileo)*

*La période de rotation de la Terre*

$$\tilde{\Psi}_{n,m,p,q} = (n - 2p + q)\lambda + m(\Omega - \theta)$$

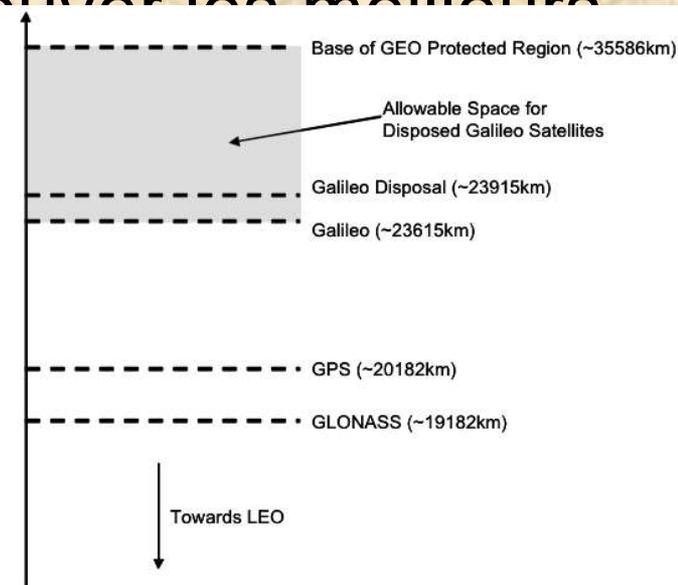


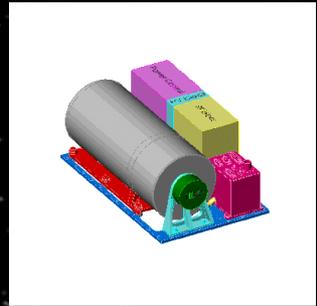
Figure 1. Allowable region of orbit space for Galileo satellites after EOL.

# Un système de radiopositionnement fondé sur une constellation de 30 satellites

*Demi-grand axe : 29600km*

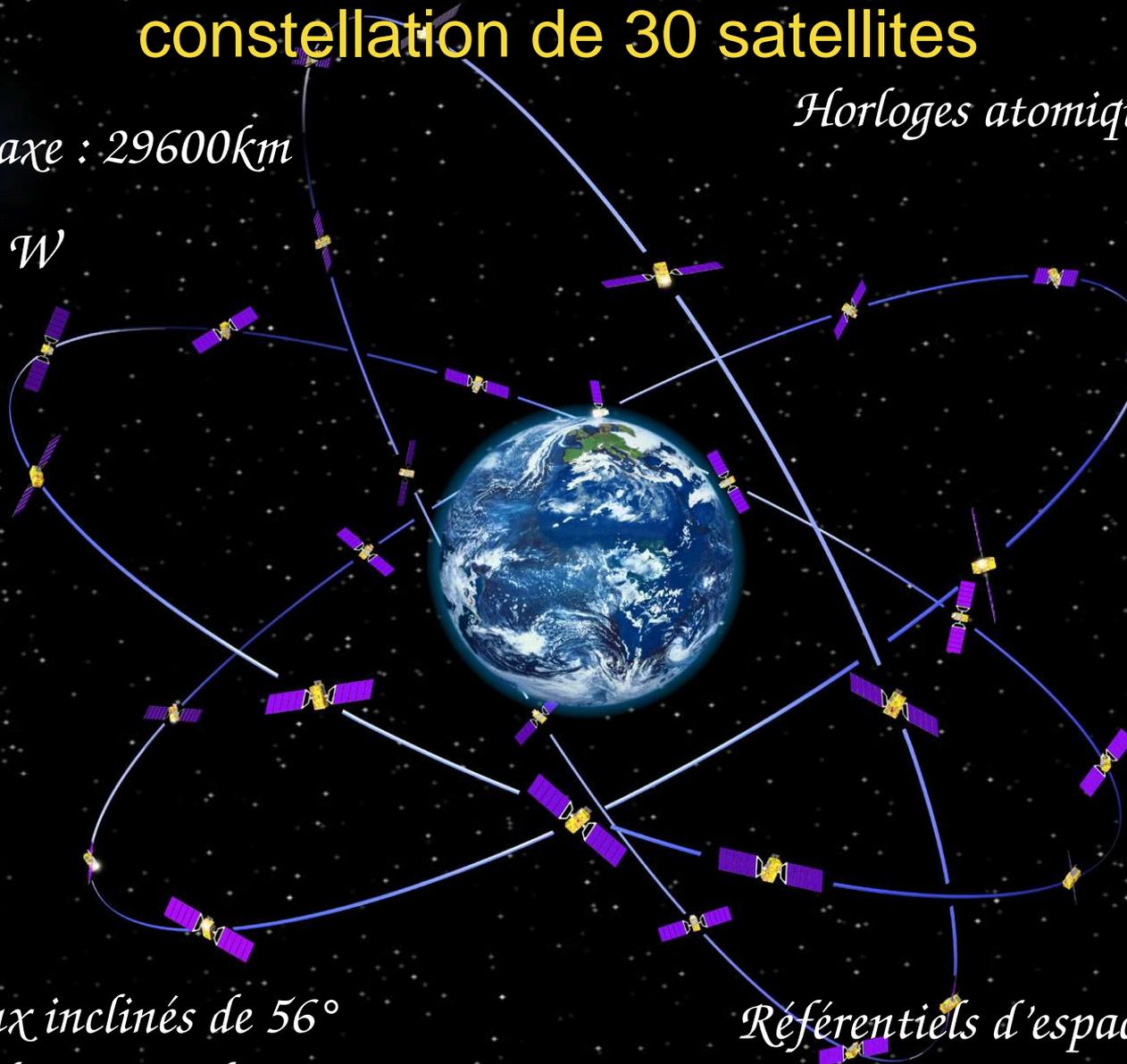
*700kg, 1600 W*

*Horloges atomiques*



*3 plans orbitaux inclinés de 56°  
période de révolution : 14h 21min*

*Référentiels d'espace  
et de temps spécifiques*

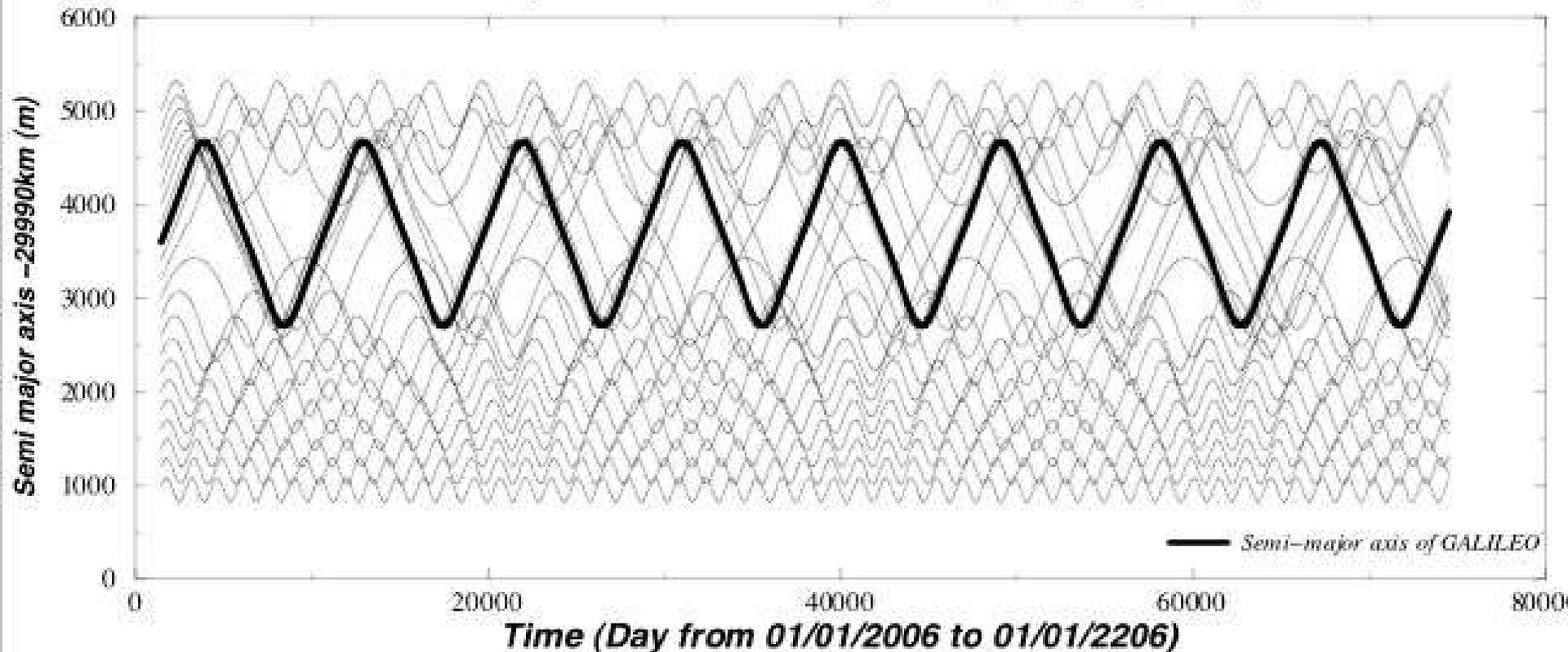


# Effets de résonance sur le demi-grand axe

Sous l'influence de  $J_2$  et des tesséraux résonants

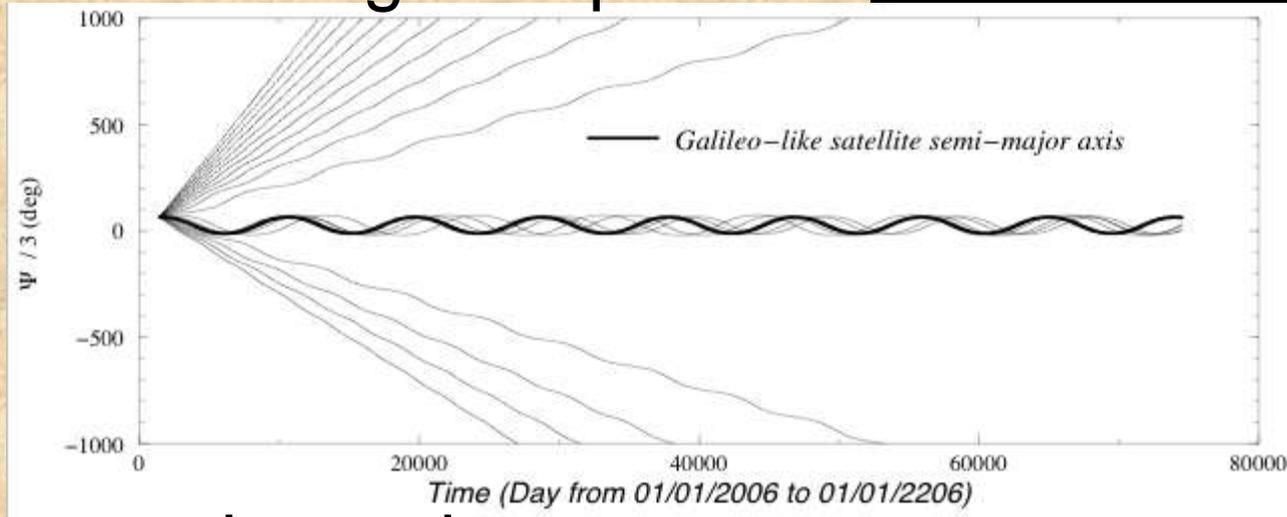
## ***Resonance effects on the semi-major axis***

*with respect to initial semi-major axis (sampling: 200m)*

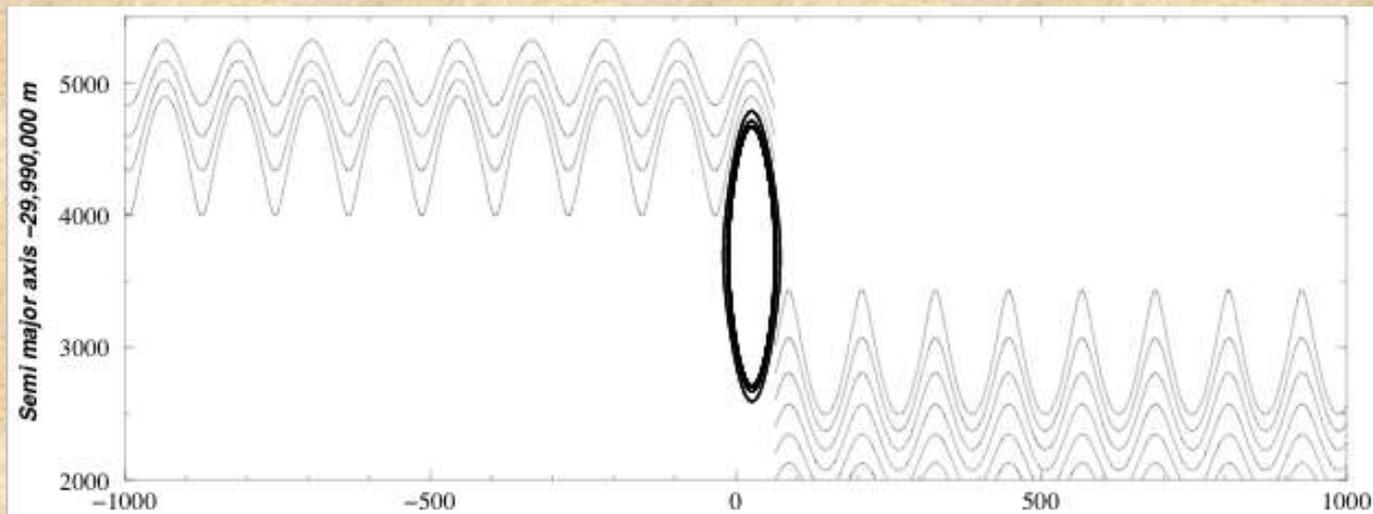


# Définition des zones de résonance

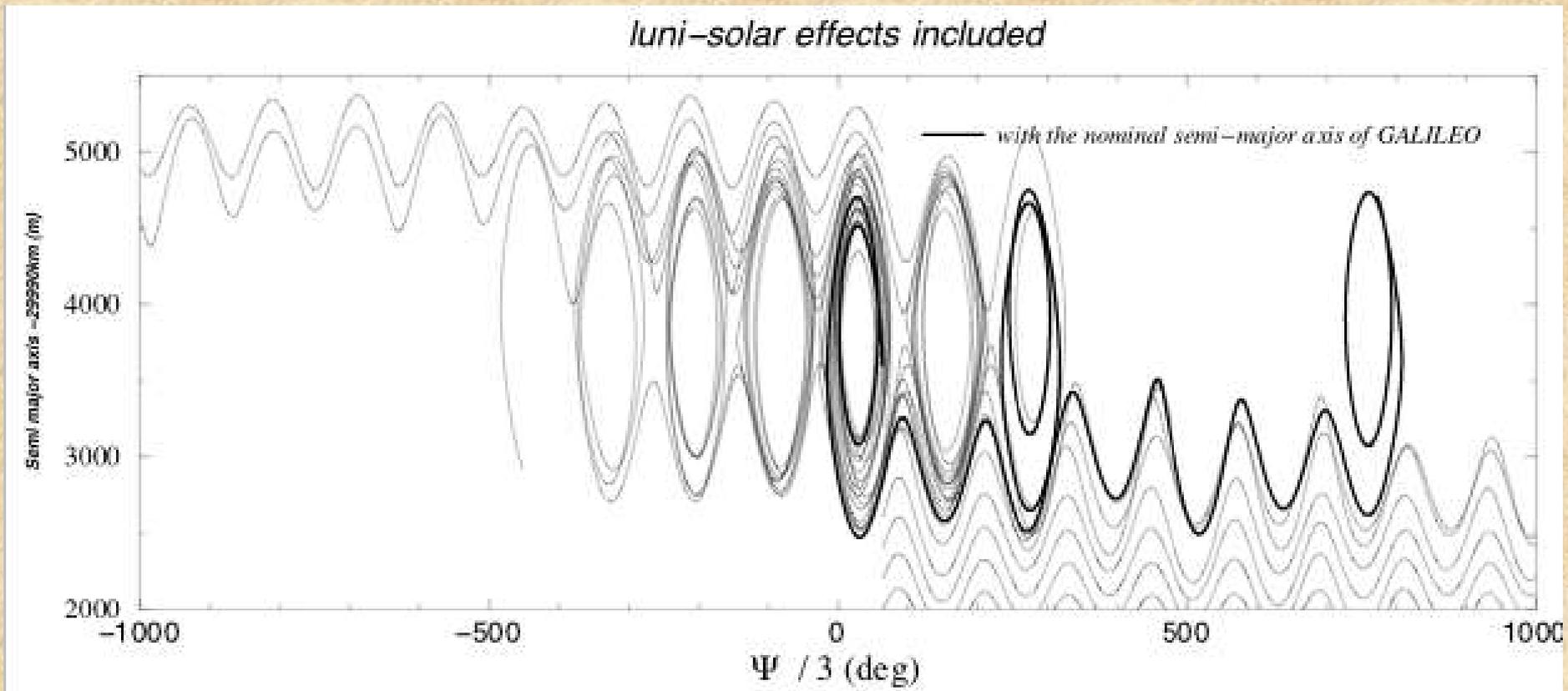
- Variations de l'angle de phase



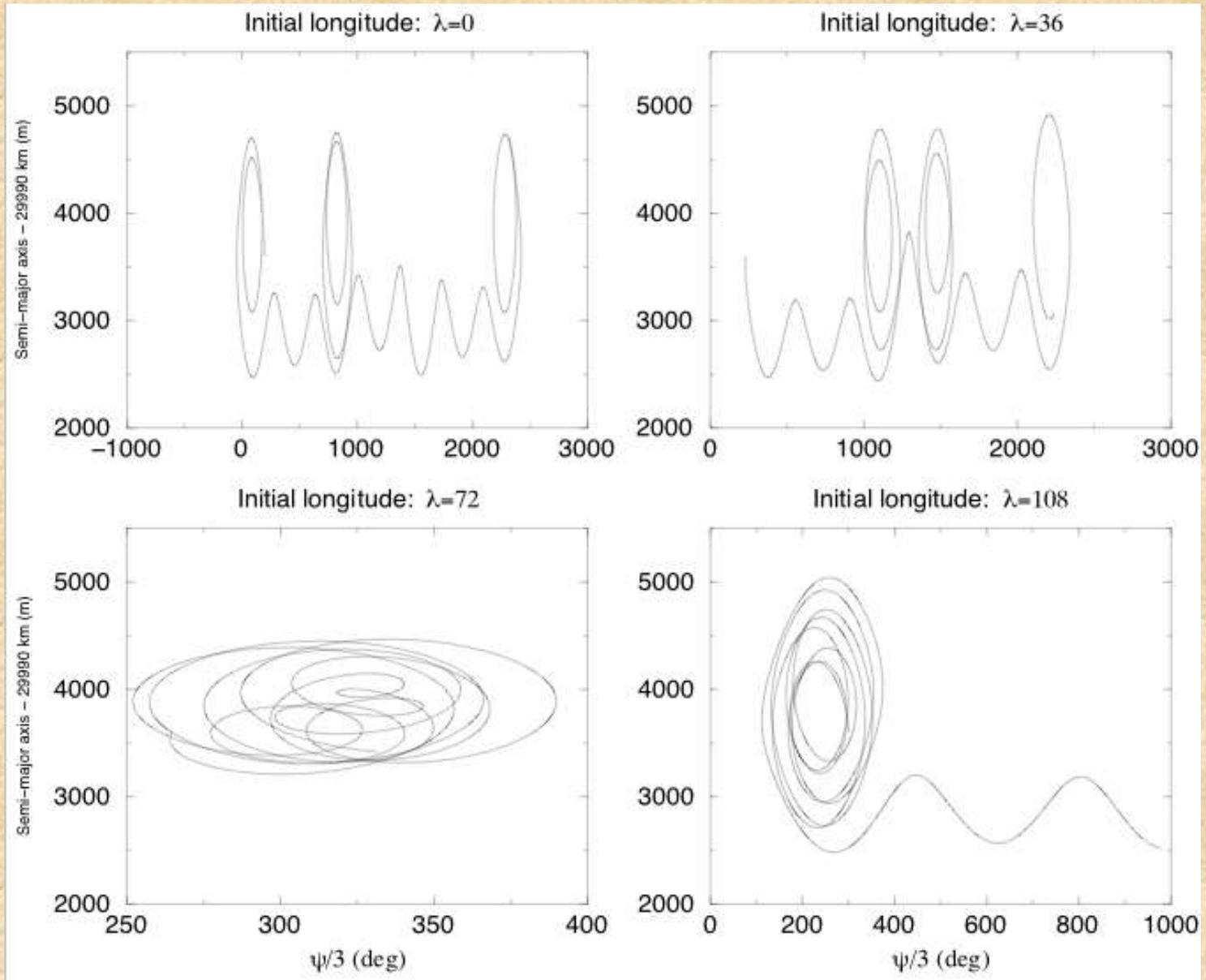
- Diagramme de « phase »



# Des diagrammes de « phase » modifiés



# Influence de la longitude

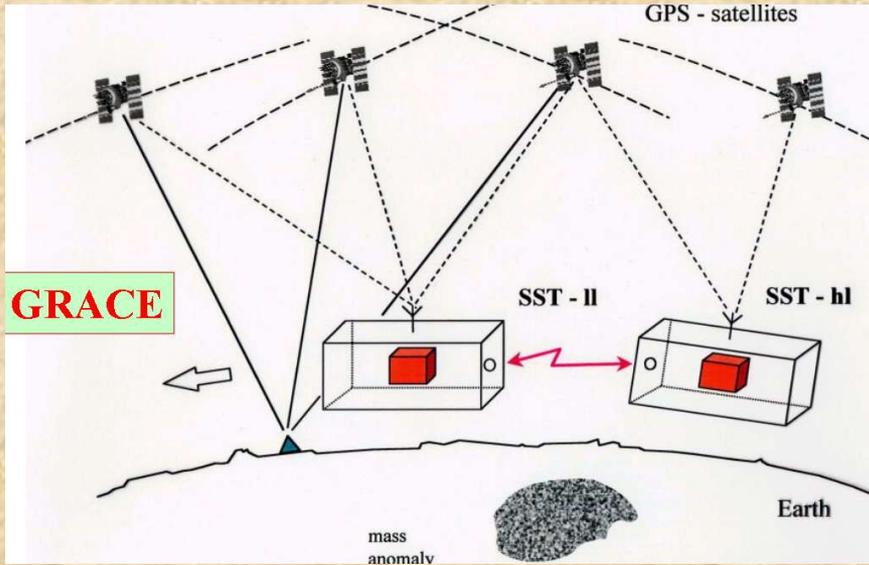


# Conséquence sur 20 ans : stabilité de la constellation



Un mot sur les vols en formation...

# La mission GRACE



*Equations du mouvement :*

$$\frac{dE_1}{dt} =$$

$$\frac{dE_2}{dt} =$$

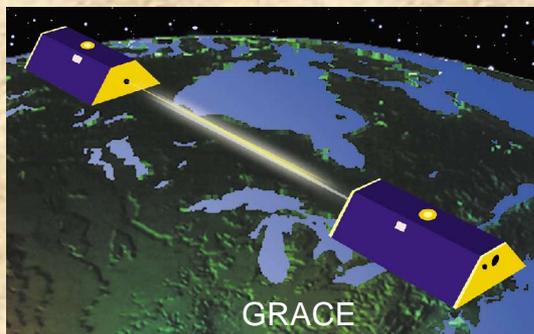
QuickTime<sup>a</sup> et un dŽcompresseur Sorenson Video sont requis pour visionner cette image.

*Equations exploitées :*

$$\frac{dE_1}{dt} =$$

$$\frac{dS_1 S_2}{dt} =$$

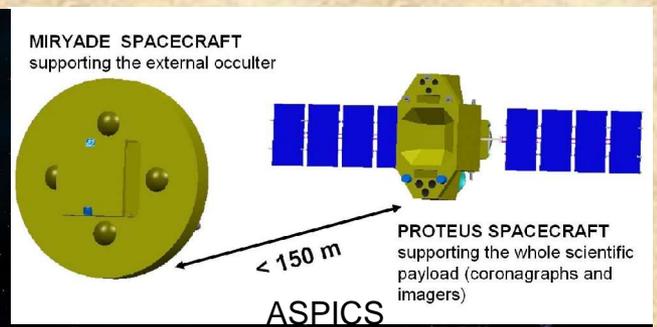
*GRACE (Tom et Jerry) :*  
*2 satellites  $S_1$  et  $S_2$*



GRACE



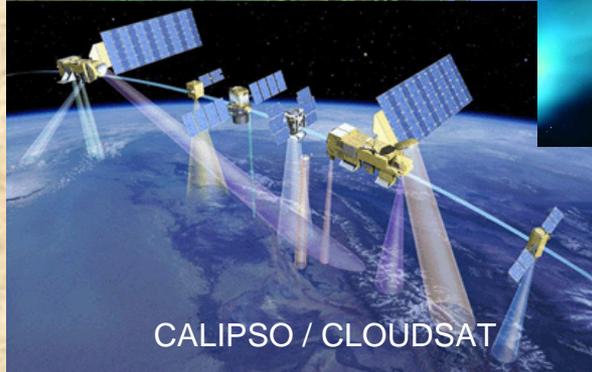
DARWIN



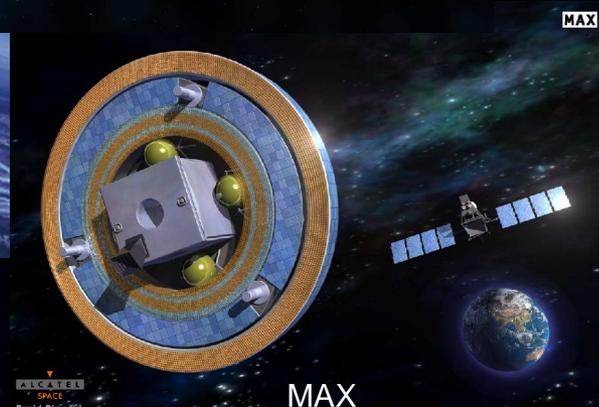
MIRYADE SPACECRAFT supporting the external occulter

PROTEUS SPACECRAFT supporting the whole scientific payload (coronagraphs and imagers)

ASPICS

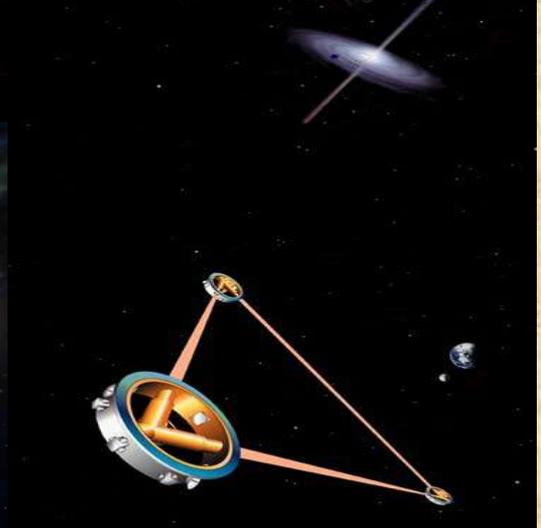


CALIPSO / CLOUDSAT



MAX

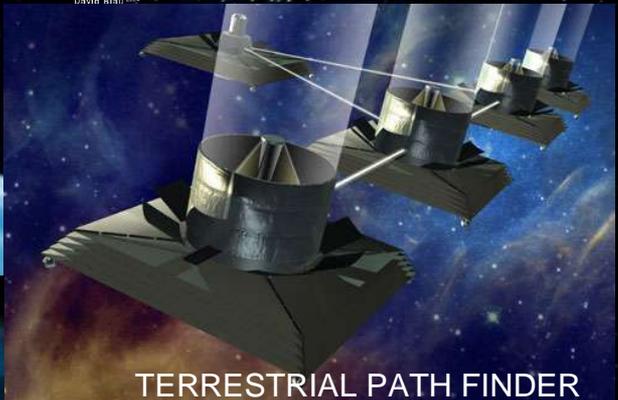
MAX



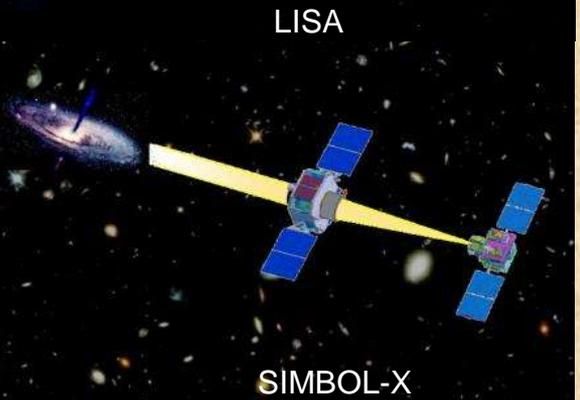
LISA



TechSat 21



TERRESTRIAL PATH FINDER



SIMBOL-X

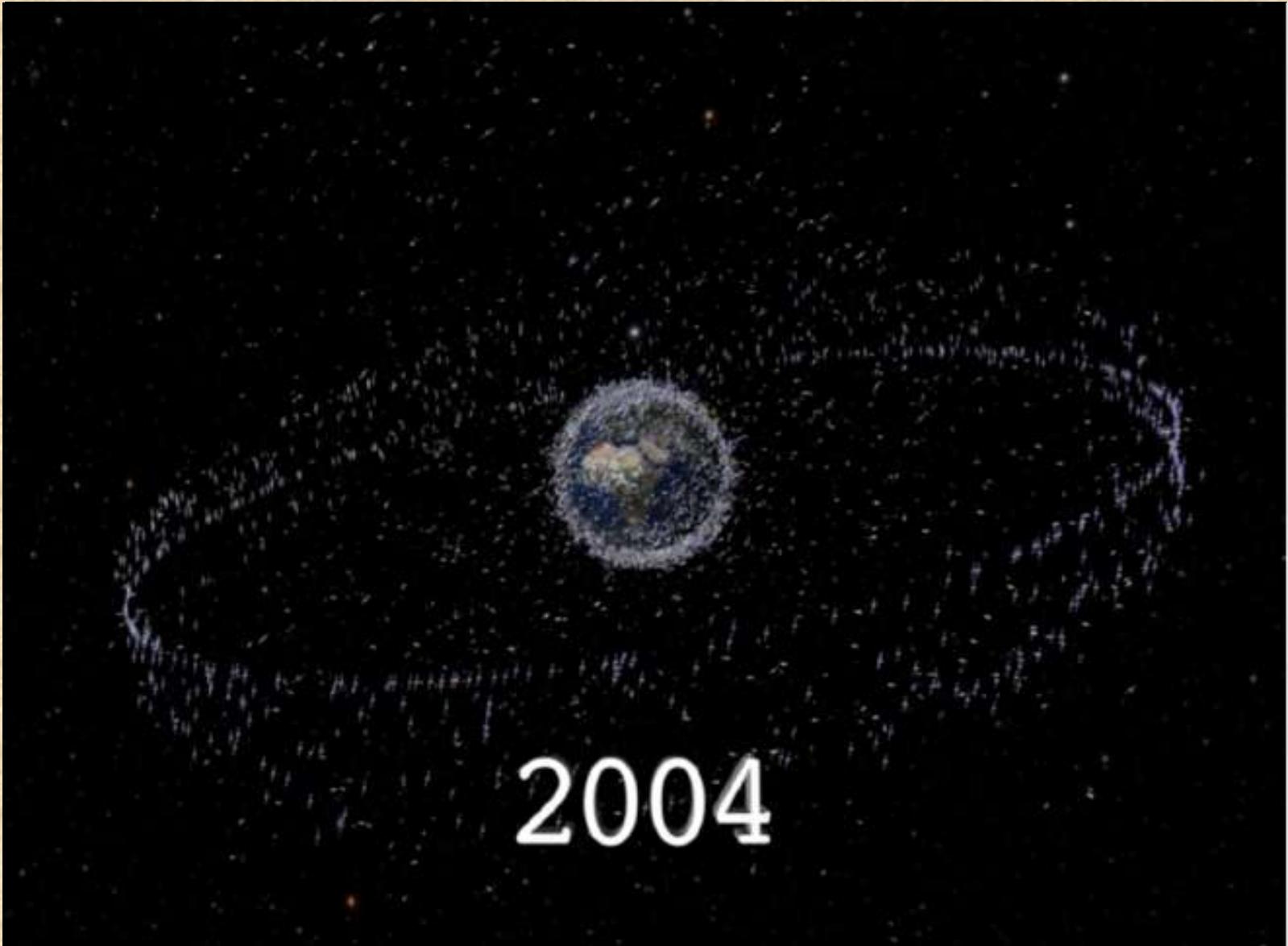


PEGASE

# Missions en cours ou proposées : un récapitulatif

MISSION	DESCRIPTIF	ETAT DE LA MISSION	ORBITE
GRACE	Deux satellites pour l'étude du champ de gravité. Mesure de distance.	Lancé en 2002	$a = 6683 \text{ km}$ , $e = 0.0022$ , $i = 89^\circ$
CALIPSO /CLOUDSAT	Ils font partie de A-TRAIN qui observe la Terre. Ils ont la même trace au sol.	2006	héliosynchrone, $h = 705 \text{ km}$ , $i = 98.2^\circ$
DARWIN	Quatre satellites pour la détection des exoplanètes. Interférométrie.	phase A, lancement 2015 ?	autour de L2
LISA	Trois satellites pour la détection des ondes gravitationnelles. Interférométrie.	lancement 2014 ?	héliocentrique, $20^\circ$ après la Terre, distance entre eux 5 millions de km
TPF	équivalent à DARWIN	lancement 2020	autour de L2
ASPICS	deux satellites pour l'étude de la couronne solaire.	proposition au CNES	?
SIMBOL-X	Télescope avec une très grande distance focale pour observer le rayonnement de très haute énergie. 2 satellites.	proposition au CNES	$h = 81500 \text{ km}$
TechSat 21	35 clusters de 8 satellites pour observer la Terre. Mission militaire.	3 satellites lancés en 2003	$h = 600 \text{ km}$
PEGASE	interféromètre spatial pour l'étude de planètes type Jupiter	proposition au CNES	autour de L2
MAX	spectroscopie d'hautes énergies. Deux satellites pour avoir une grande focale.	proposition au CNES	autour de L2

Un nombre d'objets croissant exponentiellement avec le temps



# Vers une orbitographie explicite de 10000 objets simultanément

