

PRESENTATION DU PROBLEME

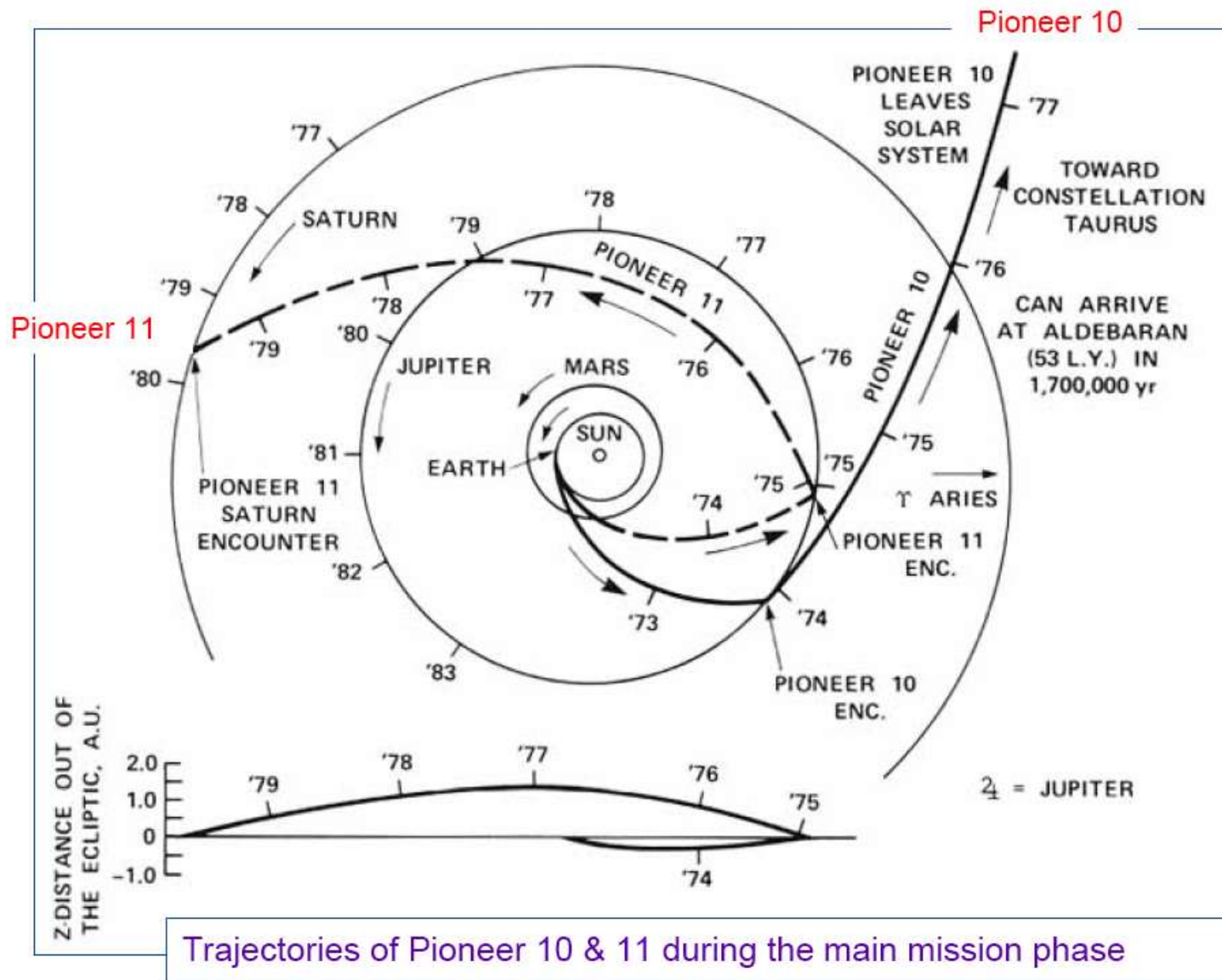
- Pioneer 10 et Pioneer 11 lancées en 1972 et 1973 par la NASA
- Objectif : exploration du système solaire (Jupiter, Saturne).
- Suivi des trajectoires par mesure de vitesse Doppler.
- Pioneer 10 observée jusqu'en 2002 (80 UA du Soleil).
- Pioneer 11 observée jusqu'en 1990 (30 UA du Soleil).
- Problème : il faut ajouter une accélération empirique très significative aux accélérations d'origine connue pour expliquer les observations : anomalie Pioneer
==> observé à la fois sur P10 et P11

ANOMALIE PIONEER



Pioneer 10: pre-launch testing

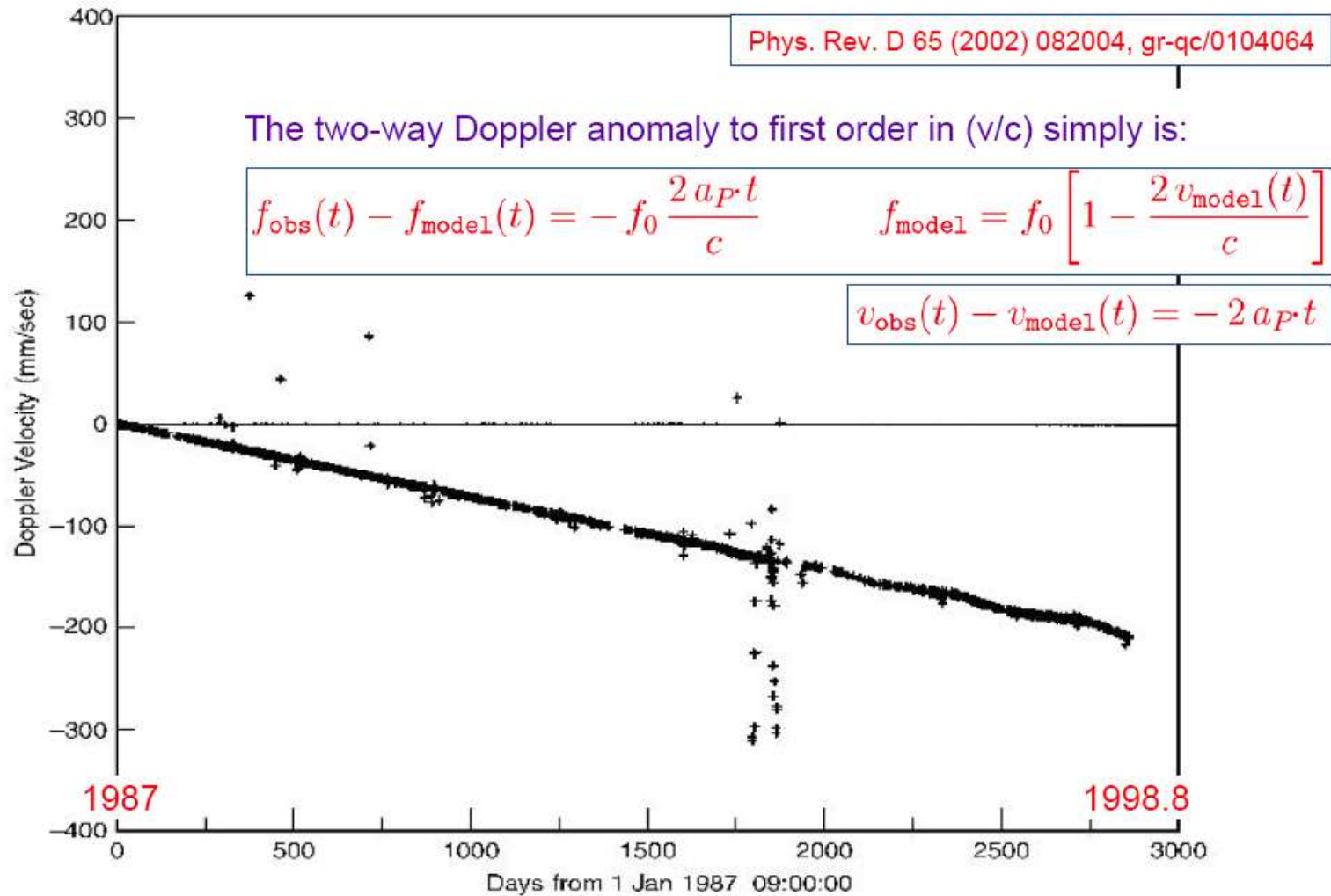
ANOMALIE PIONEER



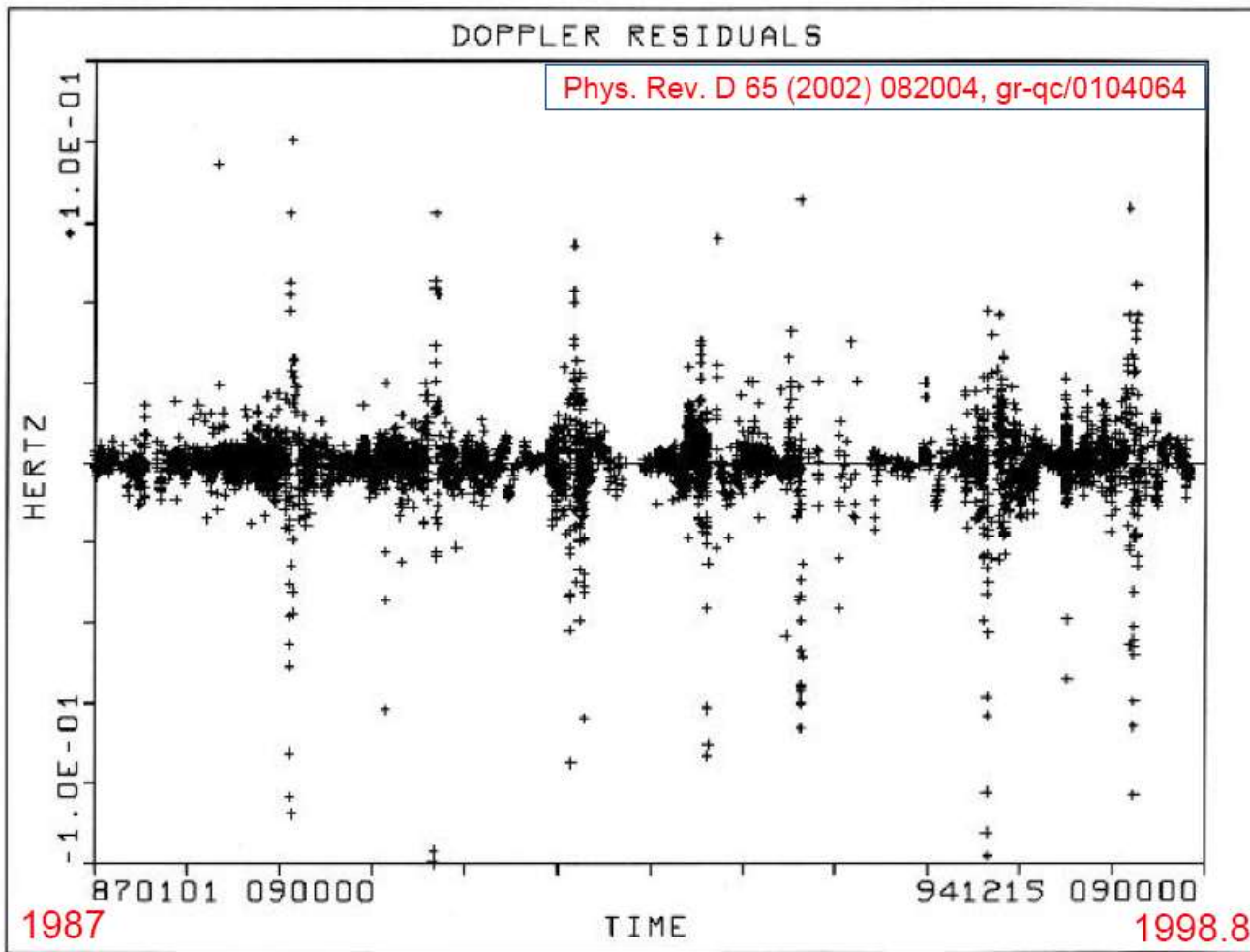
Quelques chiffres

- Masse : 250 kg
- Distance : quelques dizaines d'UA
- Vitesse : 12-13 km/s
- Accélération gravi (>30 UA) : quelques 10^{-6} ms^{-2}
- Pression de radiation (>30 UA) : $< 10^{-10} \text{ ms}^{-2}$
- Précision sur l'accélération observée : 10^{-10} ms^{-2}
- Anomalie Pioneer : $8.7 \cdot 10^{-10} \text{ ms}^{-2}$, constante, dirigée vers le Soleil (ou la Terre).
- Résultats obtenus d'abord par le JPL puis confirmés par un autre groupe américain.

ANOMALIE PIONEER



ANOMALIE PIONEER



Vitesse orbitale de la Terre ==> $\sim 500\ 000$ Hz

Vitesse de la sonde ==> $\sim 200\ 000$ Hz

Vitesse de rotation de la Terre ==> ~ 7500 Hz

Explications possibles

- Effet classique (mais subtil !) non pris en compte dans les modèles
 - Source de gravité cachée
 - Pression de radiation
 - Poussée thermique ?
- Modification de la gravitation
 - ==> doit être compatible avec les observations (très précises) dans le système solaire.

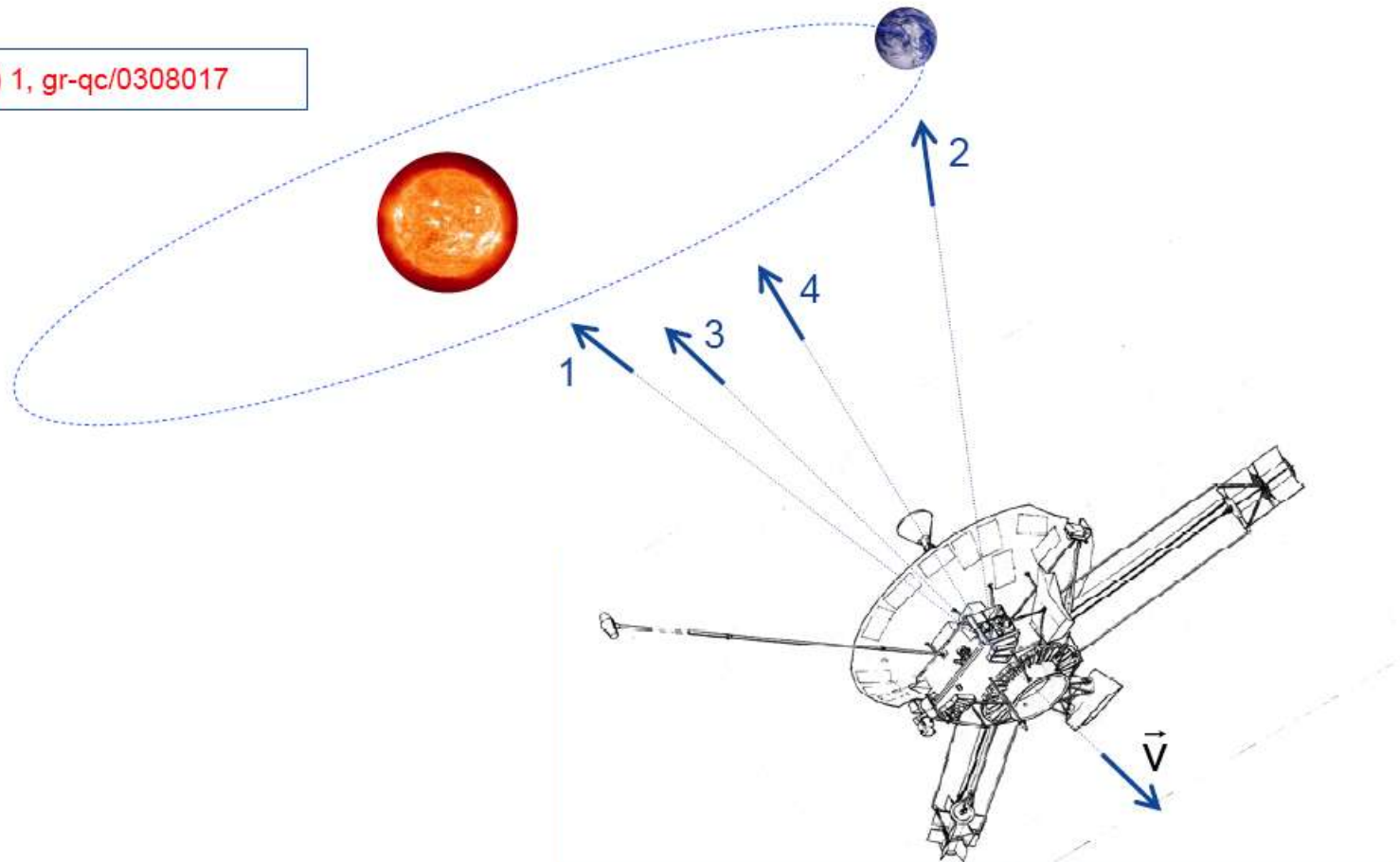
Error budget constituents	Bias 10^{-10} m/s^2	Uncertainty 10^{-10} m/s^2
1 Sources of external systematic error:		
⇒ Solar radiation pressure		± 0.001
⇒ From the mass uncertainty	+0.03	± 0.01
⇒ Solar wind contribution		± < 10^{-5}
⇒ Effects of the solar corona		± 0.02
⇒ Electro-magnetic Lorentz forces		± < 10^{-4}
⇒ Influence of the Kuiper belt's gravity		± 0.03
⇒ Influence of the Earth orientation		± 0.001
⇒ DSN Antennae: mechanical/phase stability		± < 0.001
⇒ Phase stability and clocks		± < 0.001
⇒ DSN station location		± < 10^{-5}
⇒ Effects of troposphere and ionosphere		± < 0.001
2 Computational systematics:		
⇒ Numerical stability of least-squares estimation		± 0.02
⇒ Accuracy of consistency/model tests		± 0.13
⇒ Mismodeling of maneuvers		± 0.01
⇒ Mismodeling of the solar corona		± 0.02
⇒ Annual/diurnal terms		± 0.32

Phys. Rev. D 65 (2002) 082004, gr-qc/0104064

IJMP A 17 (2002) 875-885, gr-qc/0107022

ANOMALIE PIONEER

CQG 21 (2004) 1, gr-qc/0308017



- Towards the Sun: gravitational models?
- Towards the Earth: frequency standards?
- Along the velocity vector: drag or inertia?
- Along the spin axis: internal systematics?

Etudes prévues

- GAP : Groupe Anomalie France
- Nous développons un logiciel spécifique pour une analyse indépendante des données (OCA/GEMINI + ONERA)
- Tentative de modélisation de la poussée thermique (ONERA)
- Test de théories modifiées de la gravitation (LKB + ONERA + OCA/GEMINI)
- Proposition de missions à l'ESA : GAP + européens

Nouvelle mission pour quoi faire ?

- Il faut distinguer entre une origine gravitationnelle ou non gravitationnelle :
 - ==> un accéléromètre à bord de la sonde permettra de mesurer les effets non gravitationnels
- Si c'est une origine gravitationnelle il faut distinguer son impact sur le mouvement de la sonde et sur la mesure
 - ==> ajout de la mesure de distance (laser ou radar) à la mesure doppler.