

## GAIA et les éphémérides planétaires

A. Fienga<sup>(1)</sup>, J. Laskar<sup>(2)</sup>, L. Somenzi<sup>(1),(2)</sup>, H. Manche<sup>(2)</sup>,  
M. Gastineau<sup>(2)</sup>, C. Leponcin-Lafitte<sup>(2),(3)</sup>

(1) Observatoire de Besançon,

(2) Observatoire de Paris

(3) Lohrmann Observatory, Dresden

# INPOP

(Fienga et al. 2007)

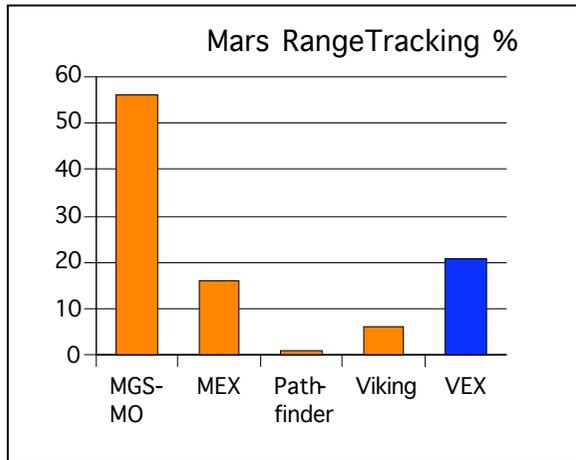
- INPOP : Intégrateur Numérique Planétaire de l'Observatoire de Paris
- Ephémérides Planétaires du DPAC
- 1er release fourni par l'équipe INPOP en 2007 au DPAC
- 1er release suivant un cahier des charges défini par DPAC  
TCB, précision de la représentation, format des fichiers  
etc...

# INPOP

(Fienga et al. 2007)

- Numerical integration with extended precision  
80b
- Planets, Moon, Asteroids, Earth Rotation
- SSB
- PPN formulism (Moyer 2000)  $1/c^2$
- INPOP(TCB) and INPOP(TDB) (S. Klioner)
  - Fit to ~ 72 000 space and Earth-based data + LLR
  - Determination of ~ 20 to 40 Asteroid masses and densities
  - $J_2, \beta, \gamma$  estimated
  - INPOP realisation of TCB

# Les Observations d'INPOP

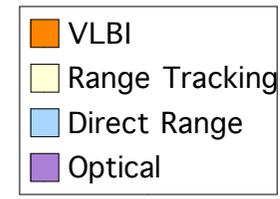
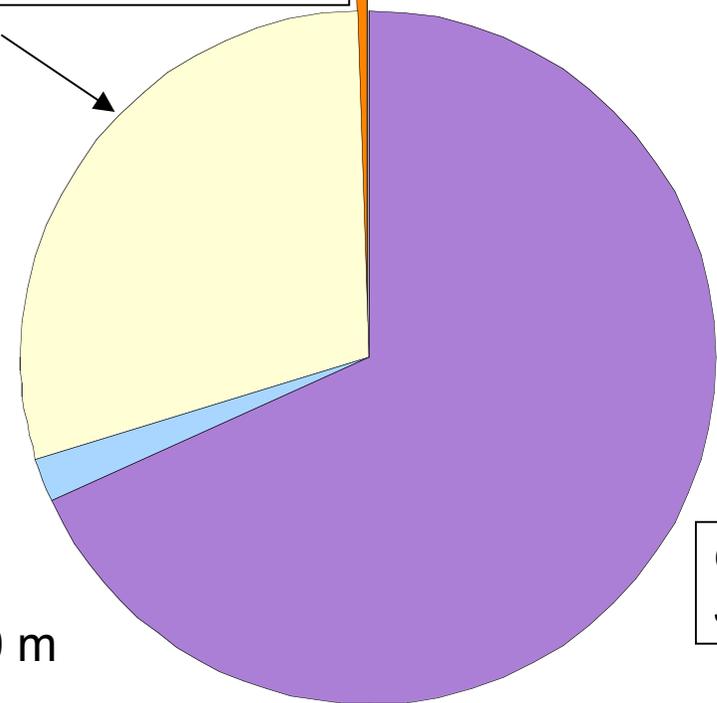
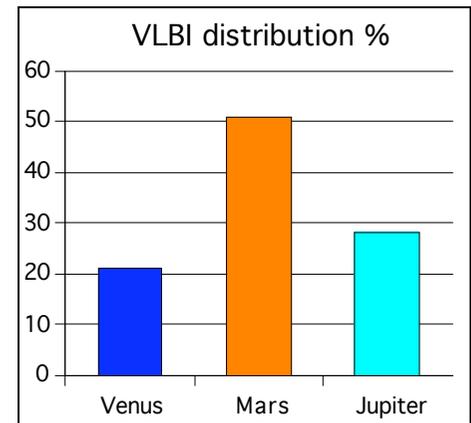


$\sigma \sim 4-10 \text{ m}$

Range Tracking: 29 %  
MGS-MO, Path, MEX, Viking  
VEX

VLBI: 0.15 %  
Venus, Mars, Jupiter

$\sigma \sim 1-10 \text{ mas}$

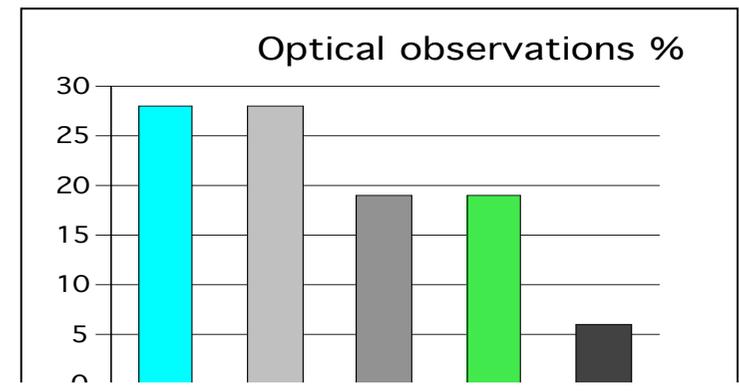
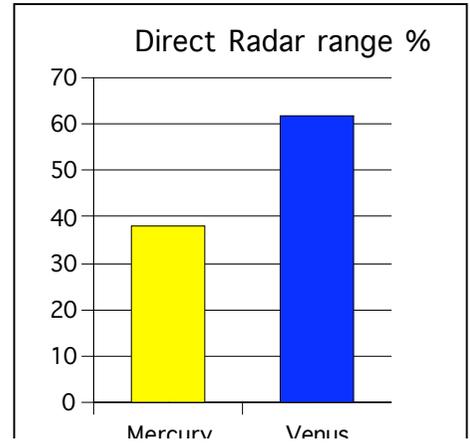


Direct range: 2 %  
Venus, Mercury

Optical: 73.35 %  
Jupiter, Saturn, Uranus, Neptune, Pluto

$\sigma > 500 \text{ m}$

$\sigma \sim 300 \text{ mas}$



## A l'heure actuelle, on estime

- les CDI des planètes et de la Lune

- l'UA => masse du soleil
- J2
- Tests de contraintes sur  $\mathbb{W}$   $\mathbb{W}$

- 3 densités taxonomiques estimés avec  $\sigma \sim 10\%$
- 13 masses d'astéroïdes avec les précisions suivantes:

- $\mathbb{W}$  GM\_Ceres < 1%
- $\mathbb{W}$  GM\_Pallas < 1%
- $\mathbb{W}$  GM\_Vesta < 1%
  
- $\mathbb{W}$  GM\_AST(3) ~ 4%
- $\mathbb{W}$  GM\_AST(19) ~ 8%
- $\mathbb{W}$  GM\_AST(704) ~ 10%
- $\mathbb{W}$  GM\_AST(10) ~ 10%

- $\mathbb{W}$  GM\_AST(6) ~ 20%
- $\mathbb{W}$  GM\_AST(9) ~ 25%
- $\mathbb{W}$  GM\_AST(7) ~ 30%
- $\mathbb{W}$  GM\_AST(324) ~ 30%
- $\mathbb{W}$  GM\_AST(31) ~ 30%
- $\mathbb{W}$  GM\_AST(41) ~ 30%

+ ~ 20 en cours ...

# Détermination de $J_2$ et contraintes sur $\beta$ dans INPOP06

$$J_2 = (2.37 \pm 0.40) \text{ with } \beta < 10^{-5}$$
$$J_2 = (2.87 \pm 0.40) \text{ with } \beta < 10^{-4}$$

/ (Standish 2006)

$$J_2 = (2.34 \pm 0.49) \times 10^{-7} \text{ with } \beta = 1$$

INPOP  $\Rightarrow$   $J_2$  à  $\sim 20\%$  avec  $\beta$  contraint à  $10^{-5}$

1- Mercure  
2- Mars

# Les éphémérides planétaires et GAIA: les planètes extérieures

---

Pas d'observations directes de planètes

Observations de satellites

**TASSx, SATy**



Meilleures estimations du barycentre du système planétaire

Pseudo-observations des planètes

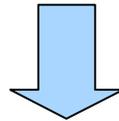
**INPOP**



= cohérence des modèles ?

- Amélioration des orbites des planètes extérieures (Al'ha ~100 mas)
- 1er Pt de Raccordement direct avec le repère de référence GAIA

I- Détermination et améliorations des orbites des astéroïdes

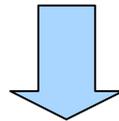


**INPOP**

Impact direct sur Mars

2ième Pt de Raccordement avec le repère de référence GAIA

II- Détermination et améliorations des masses des astéroïdes



**INPOP**

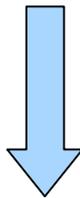
- Les + perturbateurs pour Mars  $\neq$  étudiés avec GAIA
- Estimations faites avec INPOP à comparer avec celles de GAIA
- Estimations globales au sein d'INPOP ajusté aux observations GAIA

Détermination de  $\gamma$  via la déflexion des rayons lumineux

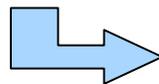
Détermination de  $J_2$ ,  $\mathbb{W}$  via les astéroïdes

Mais

$$\Delta a = F(\mathbf{r}, J_2, \mathbb{W}) \Rightarrow J_2, \mathbb{W} \text{ difficile à décorreler}$$



Estimations globales au sein d'INPOP ajusté aux observations GAIA



Stratégie privilégiée pour Bepi-Colombo

# Détermination de J2 et contraintes sur beta dans INPOP06

$J_2 = (2.37 \pm 0.40)$  with  $\beta < 10^{-5}$   
 $J_2 = (2.87 \pm 0.40)$  with  $\beta < 10^{-4}$

/ (Standish 2006)  
 $J_2 = (2.34 \pm 0.49) \times 10^{-7}$  with  $\beta = 1$

INPOP version	Sun J2	beta - 1
06a	1.95 +/- 0.55	< 10 <sup>-5</sup>
	2.5 x 10 <sup>-7</sup>	< 10 <sup>-4</sup>
06b	2.63 +/- 0.55	< 10 <sup>-5</sup>
	3.15 x 10 <sup>-7</sup>	< 10 <sup>-4</sup>
06c	2.45 +/- 0.55	< 10 <sup>-5</sup>
	2.95 x 10 <sup>-7</sup>	< 10 <sup>-4</sup>
06d	2.40 +/- 0.55	< 10 <sup>-5</sup>

- Venus improvement  
 - new weight scheme

same omc but  
 $\Delta EMB\_a = 75$  cm

Mercury oriented fit

	Unit	DE405 (Standish, 98)	DE411 (Standish, 04)	EMP04 (Pitjeva 05)	DE414 (Standish, 05)	INPOP06a
Mass of Ceres	$10^{-10} M_{\oplus}$	4.64	4.554	$4.753 \pm 0.007$	4.699	$4.746 \pm 0.006$
Mass of Vesta	$10^{-10} M_{\oplus}$	1.34	1.280	$1.344 \pm 0.001$	1.358	$1.338 \pm 0.002$
Mass of Pallas	$10^{-10} M_{\oplus}$	1.05	1.059	$1.027 \pm 0.003$	1.026	$0.995 \pm 0.003$
Mass of Iris	$10^{-10} M_{\oplus}$			$0.063 \pm 0.001$	0.060	$0.089 \pm 0.002$
Mass of Bamberga	$10^{-10} M_{\oplus}$			$0.055 \pm 0.001$	0.047	$0.060 \pm 0.002$
Density of C class		1.8	1.8	1.4	$1.6 \pm 0.22$	$1.93 \pm 0.12$
Density of S class		2.4	2.4	3.5	2.07	$2.13 \pm 0.11$
Density of M class		5.0	5.0	4.5	$4.3 \pm 0.43$	$4.47 \pm 0.012$
Mass of Asteroid ring	$10^{-10} M_{\oplus}$			$3.55 \pm 0.35$	0.329	$0.34 \pm 0.15$
Distance of ring	UA			$3.13 \pm 0.05$	2.8	2.8
Sun J2	$X 10^{-7}$	2	2	$1.9 \pm 0.3$	$2.3 \pm 2.5$	$1.95 \pm 0.55$