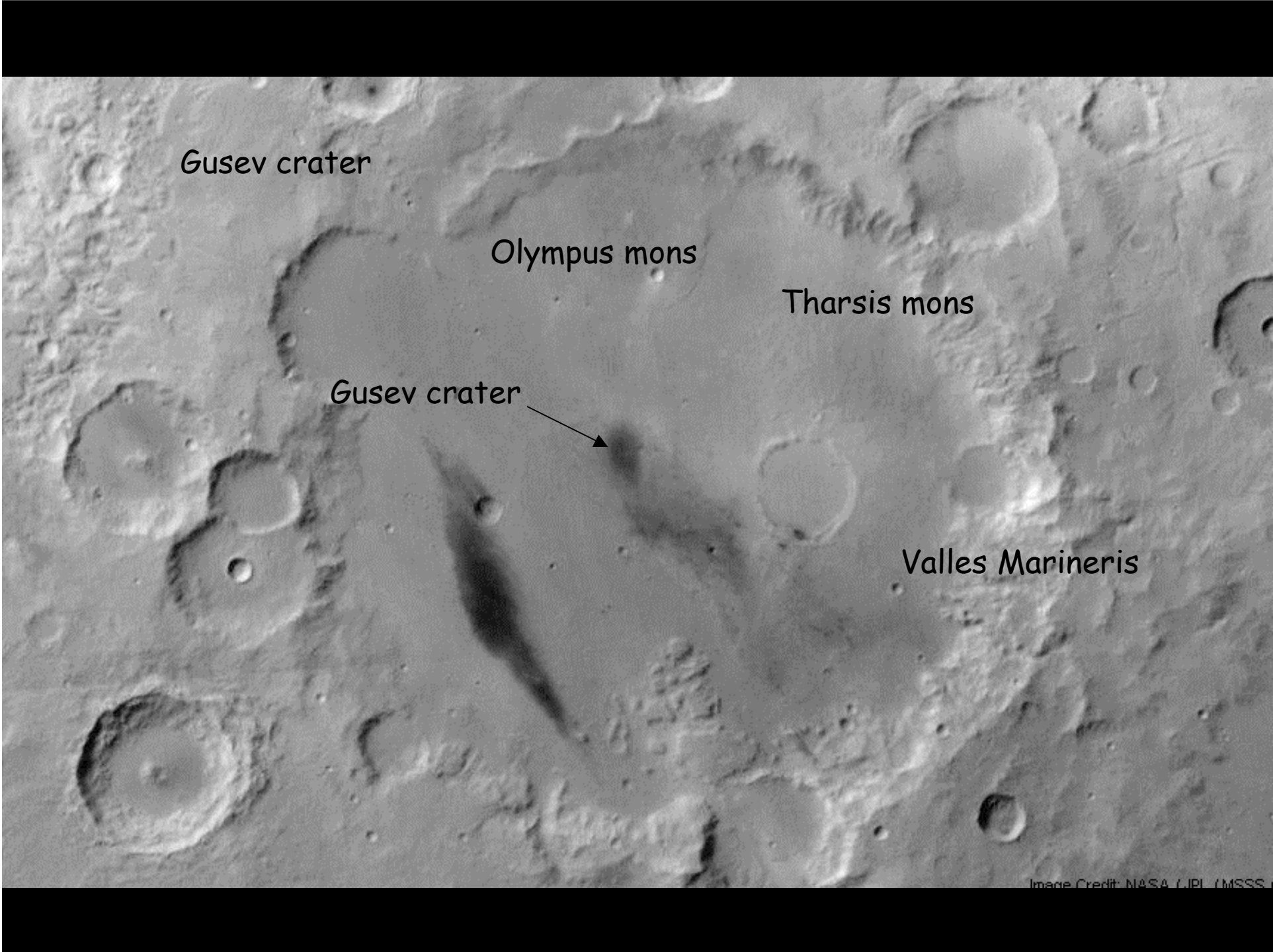




Astrometric reduction of the Mars Exploration Rover night-time observations

J. Berthier ¹, V. Lainey ^{1,2}, J. Bell ³, V. Dehant ²

- 1 Institut de mécanique céleste - Observatoire de Paris
- 2 Observatoire Royal de Belgique
- 3 Cornell University - Department of Astronomy



Gusev crater

Olympus mons

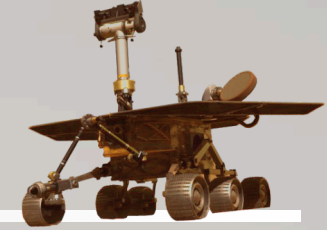
Tharsis mons

Gusev crater



Valles Marineris

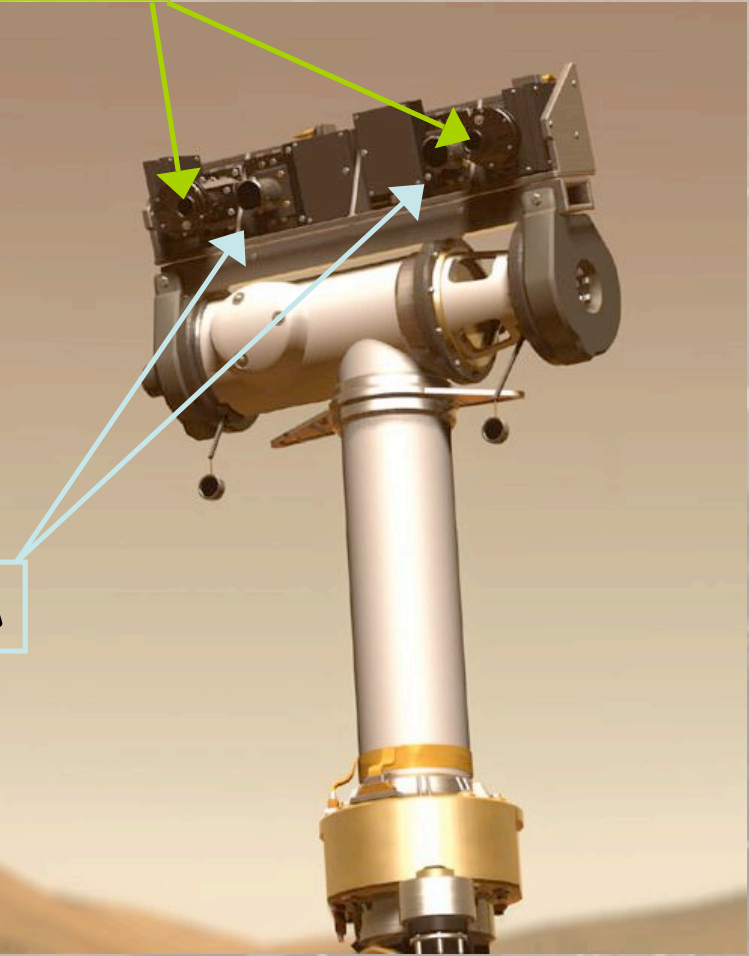
Astrometric reduction of the Mars Exploration Rover night-time observations



Mars Exploration Rovers Spirit et Opportunity

- Lancement: 10 juin et 7 juillet 2003
- Arrivée sur Mars: 4 et 25 janvier 2004
 - Gusev crater (cratère d'impact)
 - Meridiani Planum (présence d'un dépôt minérale, hématite)
- Étudier l'histoire de l'eau sur Mars
- Caractériser le climat de Mars
- Caractériser la géologie de Mars
- Préparer les futures explorations humaines

PANCAM



NAVCAM

Pancam (pair)

Navcam (pair)

Pancam Mast Assembly (PMA)

Capture/Filter Magnets

Front Hazcam (pair)

In-situ Instruments (APXS, MB, MI, RAT)

Instrument Deployment Device (IDD)

Rocker-Bogie Mobility System

Pancam Calibration Target

High Gain Antenna (HGA)

Solar Arrays

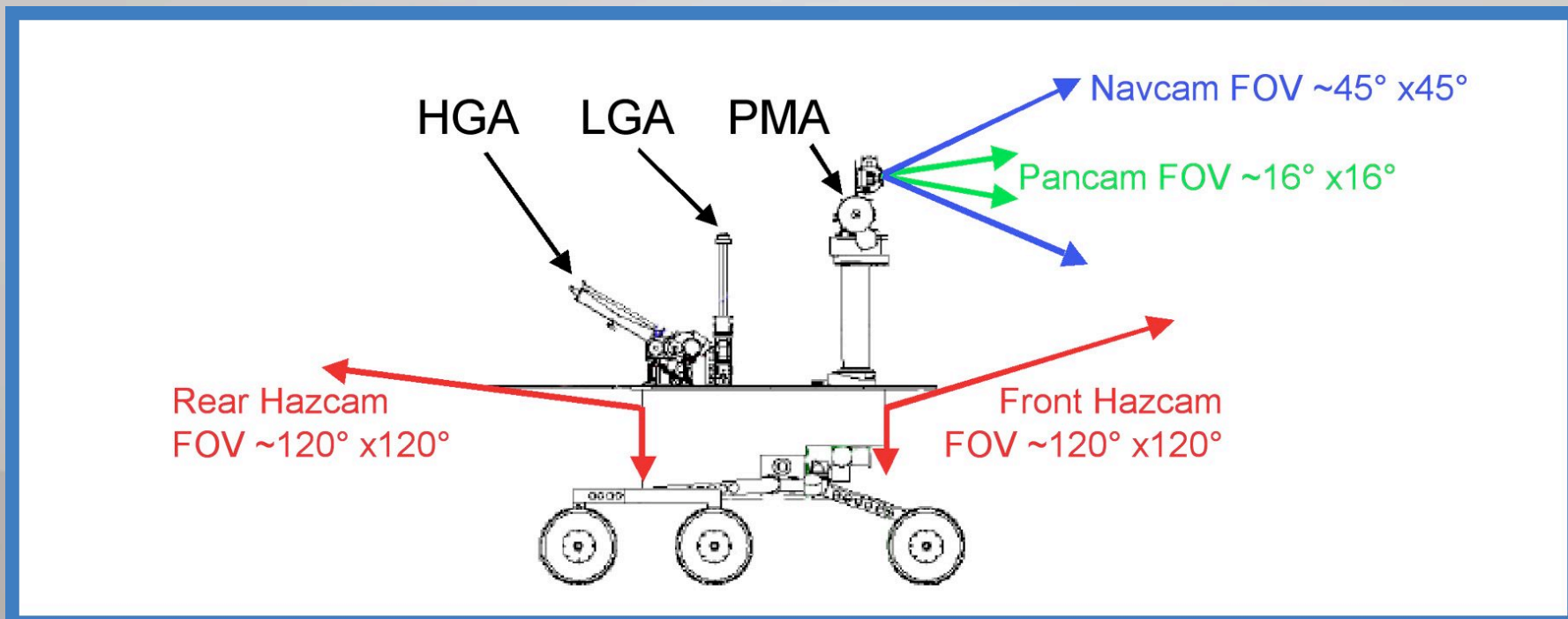
Warm Electronics Box (WEB)

Astrometric reduction of the Mars Exploration Rover night-time observations



PANCAM - Description

- Paire de CCD haute résolution couleur
- Utilisées pour réaliser des images du sol et du ciel de Mars
- Rotation des cameras de 360° pour assurer une vision panoramique



Astrometric reduction of the Mars Exploration Rover night-time observations



- Longueur focale 38 mm, Ouverture f/20
- Résolution angulaire 0.28 mrad/pixel (57.75 "/px)
- FOV : $16.8^\circ \times 16.8^\circ$ (CCD 1024x1024)
- Équivalent à une vision humaine de 20/20
- Couverture spatiale: 360° az., $\pm 90^\circ$ el.
- Mise au point entre 1.5 m et l'infini
- 8 filtres par caméra, du proche UV au proche IR (400-1100 nm)
- Poids 270g
- Consommation électrique :
 - 3W pour l'électronique de la caméra
 - 3.5 W pour la mise en température





Methuselah
Sol 454
(13 Avril 2005)

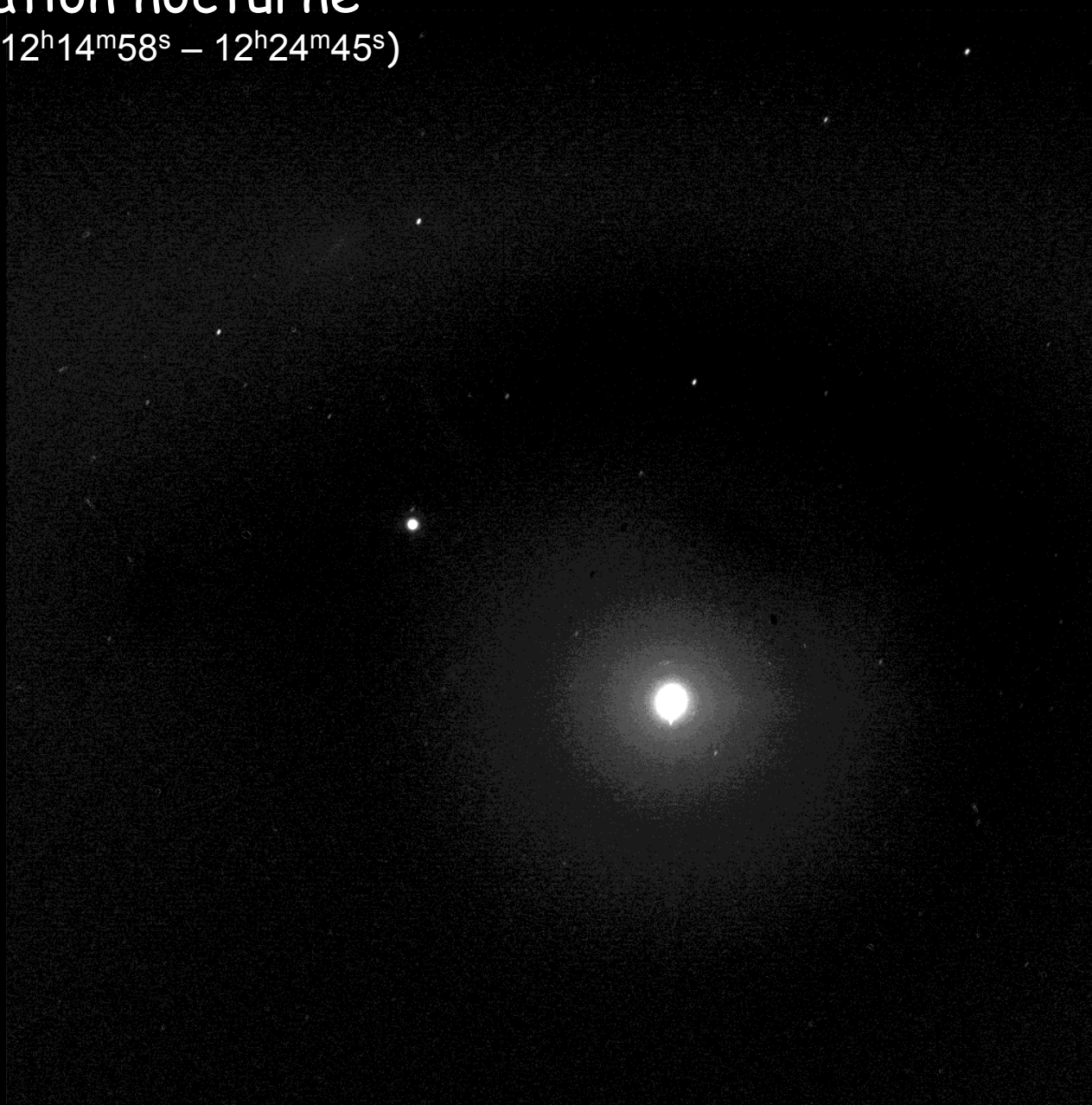
Sol 810



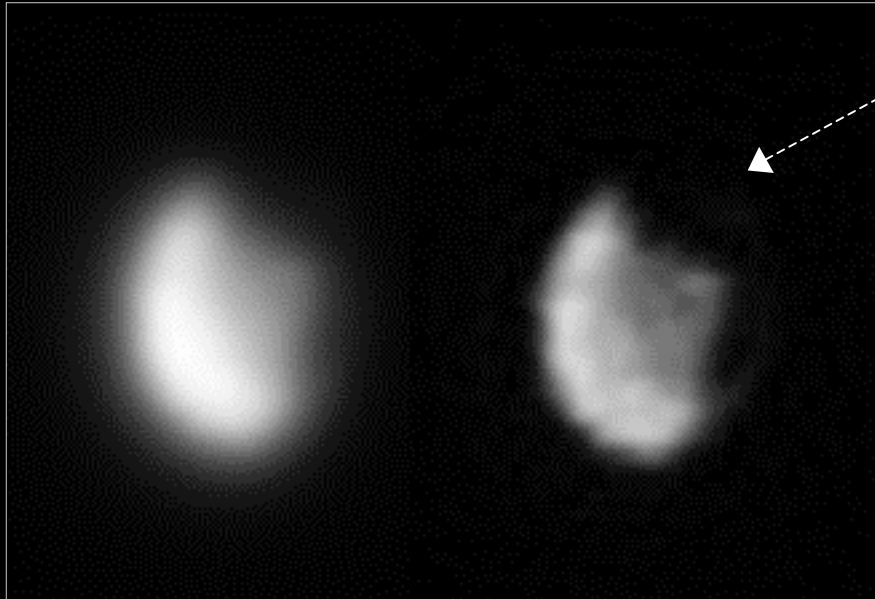
Spirit - Sol 585

Observation nocturne

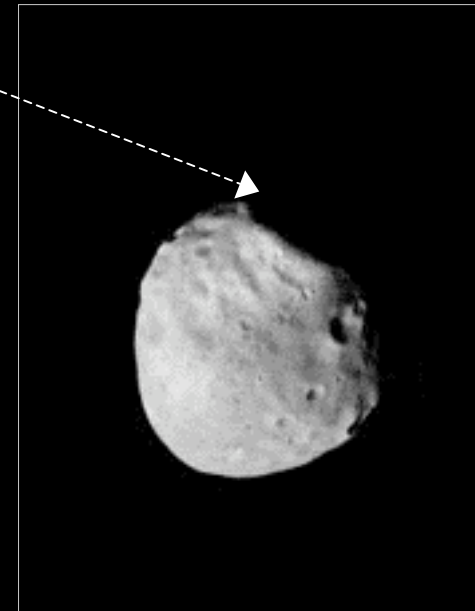
(2005-08-26 12^h14^m58^s – 12^h24^m45^s)



Phobos vu par Spirit
Sol 585
(6 images empilées + filtre Laplace)



Phobos
par Mars Express
(camera HRSC)



Stickney



Astrometric reduction of the Mars Exploration Rover night-time observations



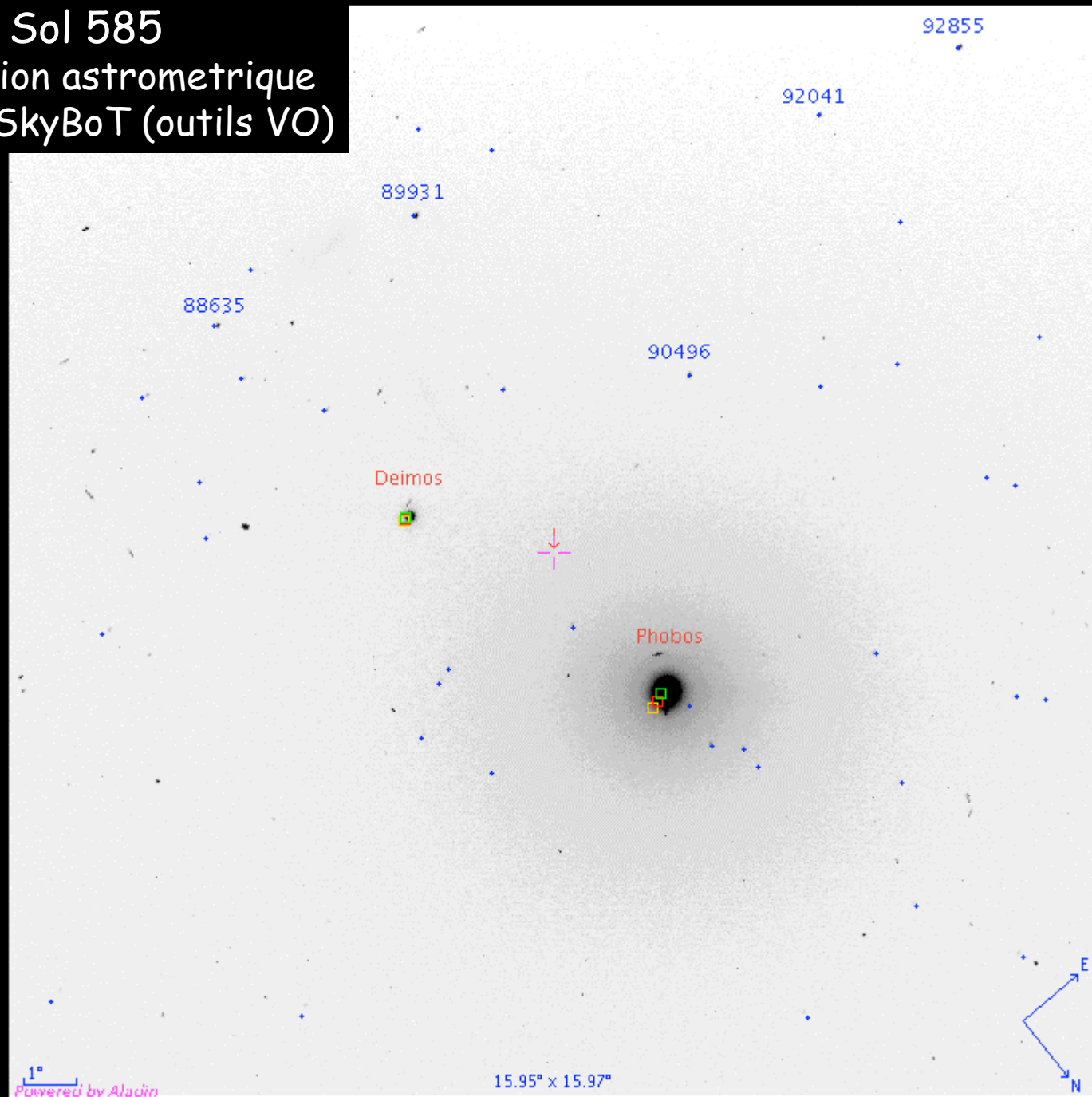
■ Phobos et Deimos vus par Spirit

- Sol 585
- Gusev Crater
- Numerical ephemerides of the Martian moons, Lainey et al., 2006

	Distance	$ \Delta\alpha \cos\delta $	$ \Delta\delta $	Phase
Phobos	6700 km	60 "/s	1 "/s	80.5°
Deimos	21100 km	12 "/s	0.1 "/s	88.0°

Sol 585

Calibration astrometrique
Aladin + SkyBoT (outils VO)



Astrometric reduction of the Mars Exploration Rover night-time observations

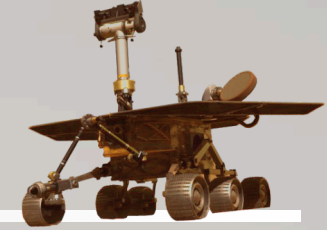


Réduction astrométrique

- Sol 585 : 9 images ($6 \times T_i = 15^s$; $3 \times T_i = 2^s$)
- Références astrométriques : 40 étoiles Tycho (entre 12 et 35 par images)

	Moyenne	Dev. std
Orientation	50.04°	$\pm 0.29^\circ$
Échelle X	56.68 ''/px	$\pm 0.06 \text{ ''/px}$
Échelle Y	56.72 ''/px	$\pm 0.03 \text{ ''/px}$

Astrometric reduction of the Mars Exploration Rover night-time observations



Réduction astrométrique

- Mesures du photocentre de Phobos & Deimos
 - profil gaussien
 - zones de pixels saturés
 - non prise en compte du décalage photocentre / centre de masse
- Éphémérides calculées
 - Numerical ephemerides of the Martian moons, Lainey et al., 2006

Astrometric reduction of the Mars Exploration Rover night-time observations



Réduction astrométrique

Phobos

		RA	DEC
Précision	O	96.5 " \pm 27.8 "	10.4 " \pm 8.2 "
	C	~31 " (1 km)	
O-C		400.1 " \pm 193.8 "	98.6 " \pm 101.3 "

Astrometric reduction of the Mars Exploration Rover night-time observations

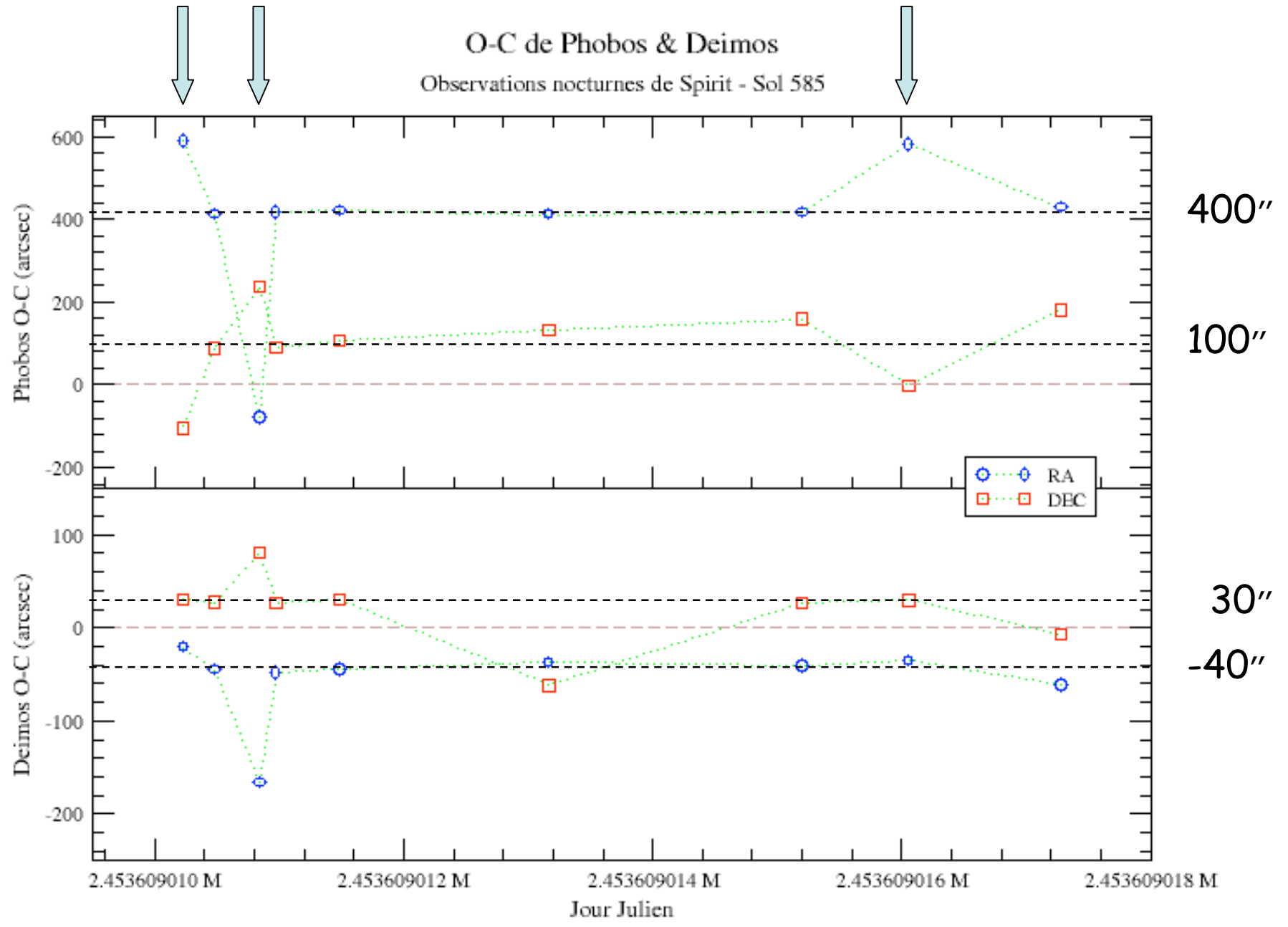


Réduction astrométrique

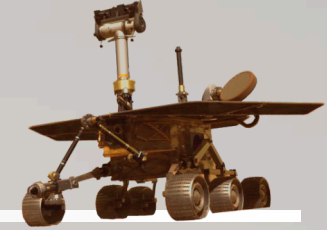
Deimos

		RA	DEC
Précision	O	92.4 " \pm 2.8 "	7.3 " \pm 1.1 "
	C	~10 " (1 km)	
O-C		-55.5 " \pm 42.8 "	20.6 " \pm 38.0 "

O-C de Phobos & Deimos
Observations nocturnes de Spirit - Sol 585



Astrometric reduction of the Mars Exploration Rover night-time observations



Sources des erreurs

■ Mesures des photocentres...

- 1 pixel $\approx 57''$ soit près de 2km pour Phobos et 6km pour Deimos

■ Erreur de datation des images...

- 1 seconde $\Rightarrow \sim 60''$ de déplacement pour Phobos
- 1 seconde $\Rightarrow \sim 12''$ de déplacement pour Deimos

Astrometric reduction of the Mars Exploration Rover night-time observations

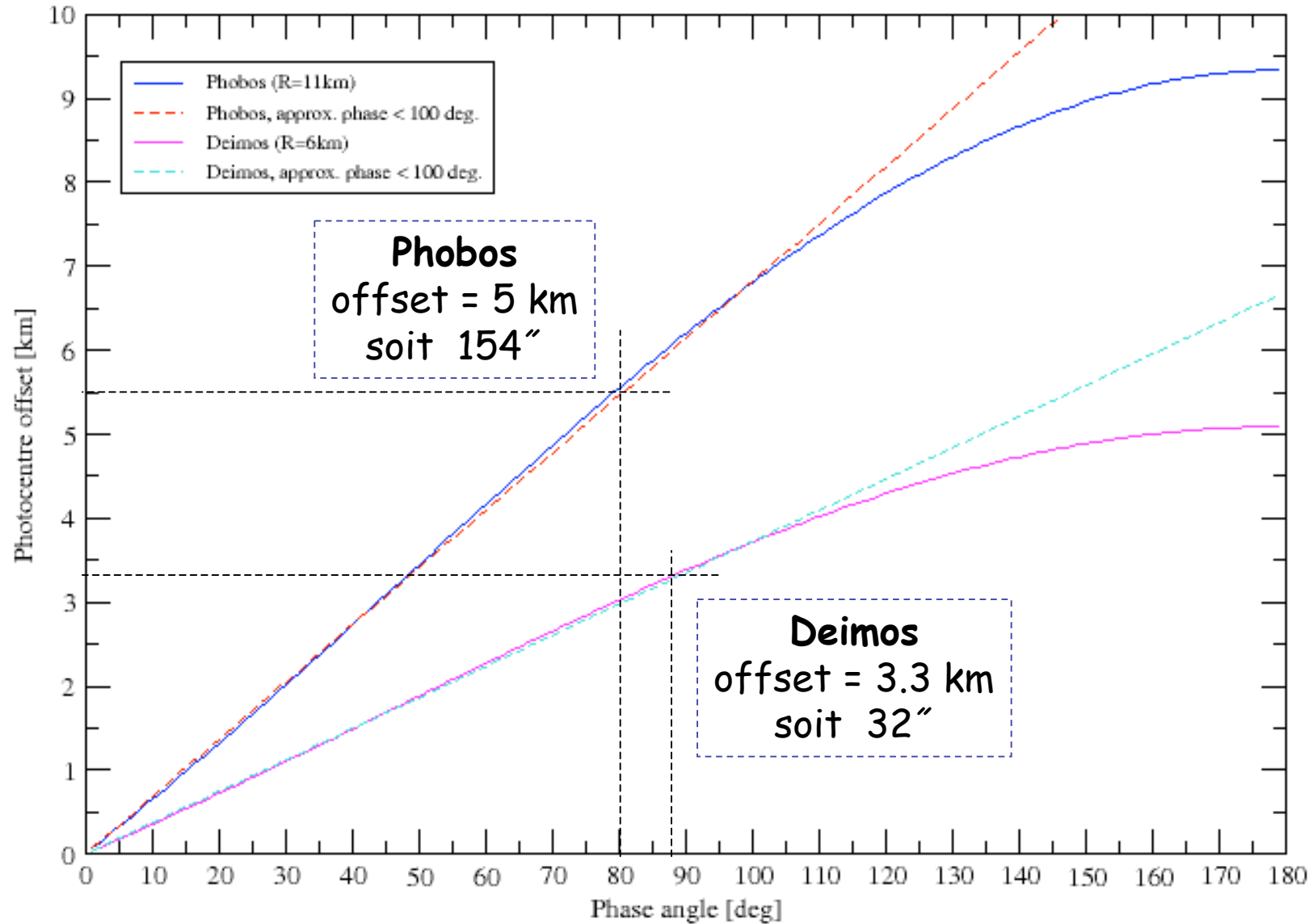


Sources des erreurs

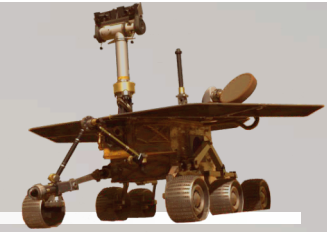
- Estimation du décalage entre le photocentre et le centre de masse...
 - Approximation pour un corps sphérique
 - Loi de diffusion de Lommel-Seeliger
 - Expression analytique [Kaasalainen et Tanga, 2004]
 - $d = f(R, \alpha)$

Phobos & Deimos photocentre offset

based on Lommel-Seeliger light-scattering law



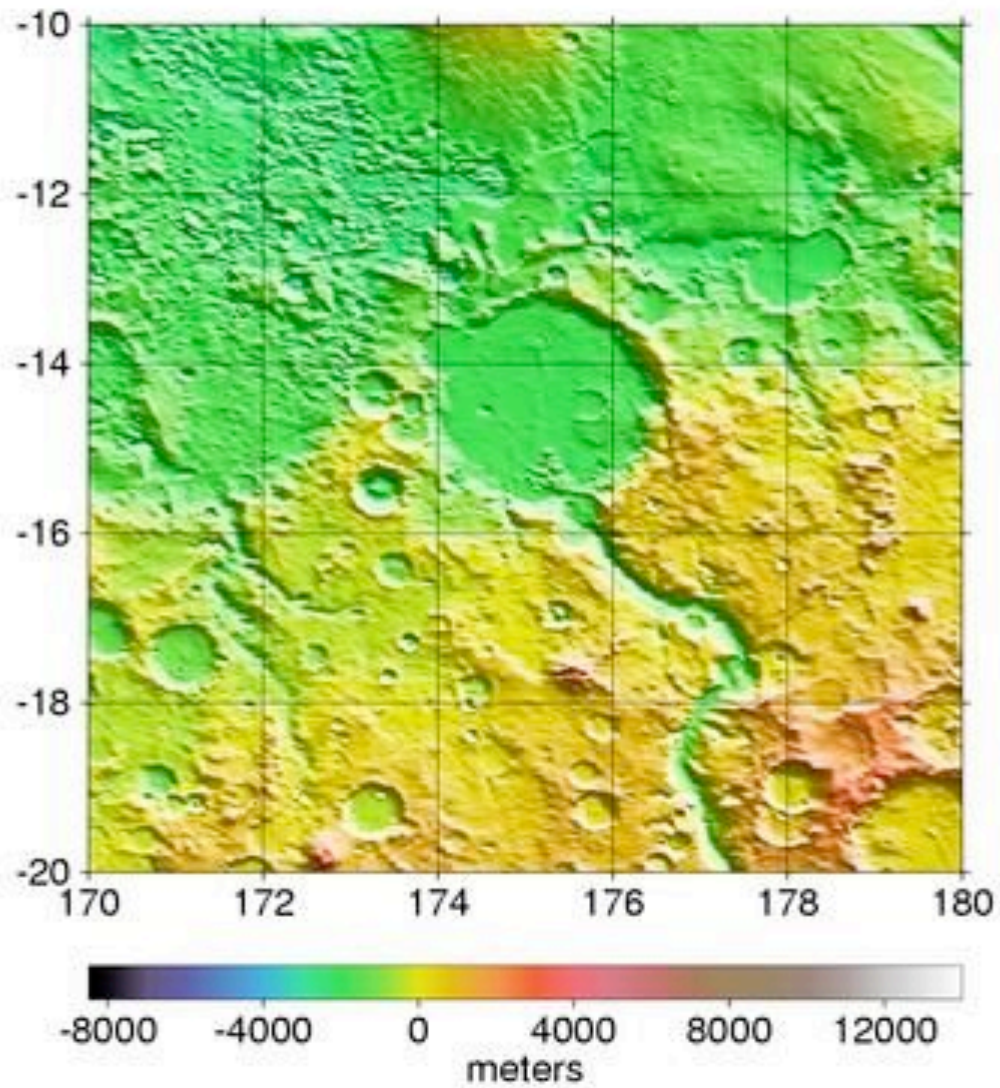
Astrometric reduction of the Mars Exploration Rover night-time observations



Sources des erreurs

- Décalage du photocentre
 - Phobos => 5 km, soit 154'' pour $\alpha = 80^\circ$, $d = 6700$ km
 - Deimos => 3 km, soit 30'' pour $\alpha = 88^\circ$, $d = 21100$ km
- Non sphéricité de Phobos ± 0.4 km, soit $\pm 12''$

THE TOPOGRAPHY OF MARS
BY THE MARS ORBITER LASER ALTIMETER (MOLA)



Astrometric reduction of the Mars Exploration Rover night-time observations



Bilan des erreurs

	Phobos	Deimos
Mesure photo-centre (1 px)	57 " (2km)	57 " (6km)
Décalage photocentre	154 " (5km)	30 " (3km)
Datation (1s)	60 " (2km)	12 " (1km)
Localisation du rover (1km)	31 " (1km)	10 " (1km)
O-C	412 " (13km)	60 " (6km)

Astrometric reduction of the Mars Exploration Rover night-time observations



■ Travail en cours...

- Réduction de 18 nuits entre Sol 585 et 696
- Amélioration des mesures de photocentre pour Phobos et Deimos et prise en compte du décalage photocentre / centre de masse
- Analyse des O-C sur l'ensemble des données
 - Comparaison aux solutions du mouvement établies à partir des observations MEX et MRO
 - Estimer la précision de l'horloge embarquée de Spirit
 - Localisation aréographique de Spirit