



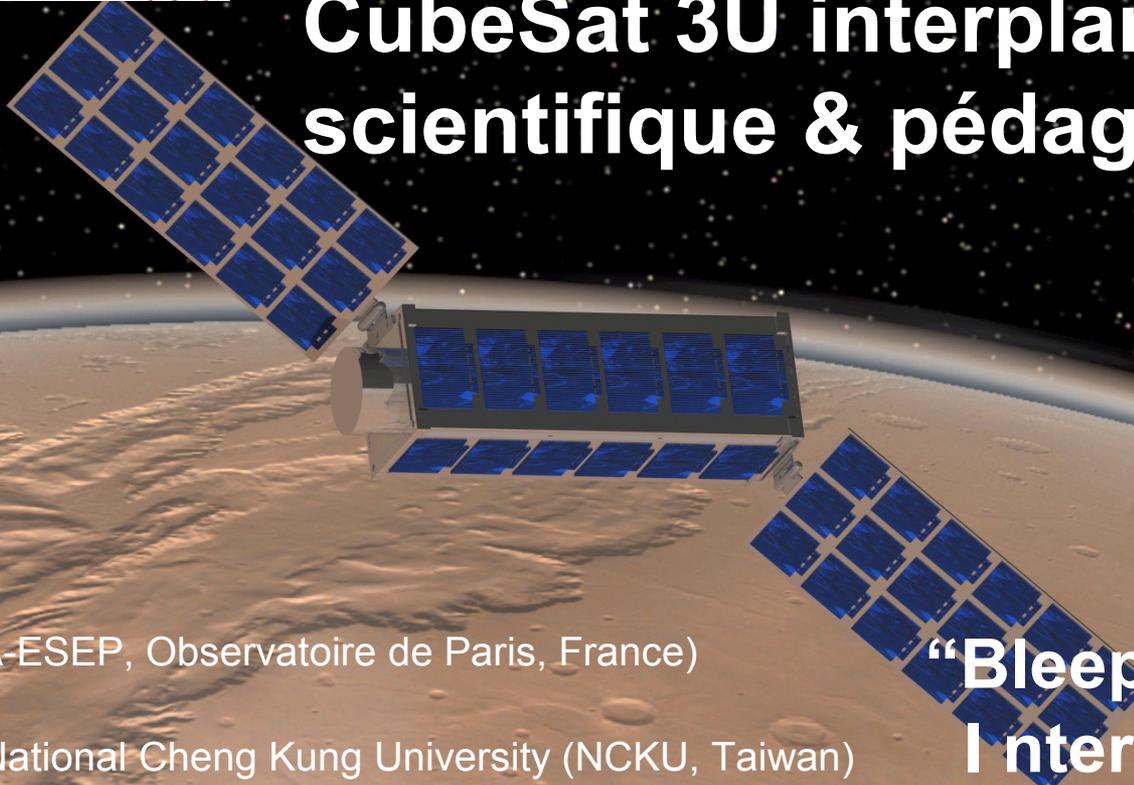
成功大學  
National Cheng Kung University

BIRDY, CubeSat interplanétaire  
pour la Météorologie de l'Espace, 03-2015



Laboratoire d'Études Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique

# CubeSat 3U interplanétaire, scientifique & pédagogique



présentation par :

**Boris SEGRET** (LESIA-ESEP, Observatoire de Paris, France)

en collaboration avec National Cheng Kung University (NCKU, Taiwan)

- **Jordan VANNITSEN**, PhD Student (NCKU - DAA)

- **Jiun-Jih MIAU** (NCKU - DAA)

- **Jyh-Ching JUANG** (NCKU - DEE)

- **Kaiti WANG** (NCKU - ISAPS)

- **Florent DELEFLIE** (Observatoire de Paris, IMCCE, CNRS, UPMC)

**“Bleeping  
I nterplanetary  
R adiations  
D etermination  
Y o-yo”**

## 6U ou 3U pour l'interplanétaire ?

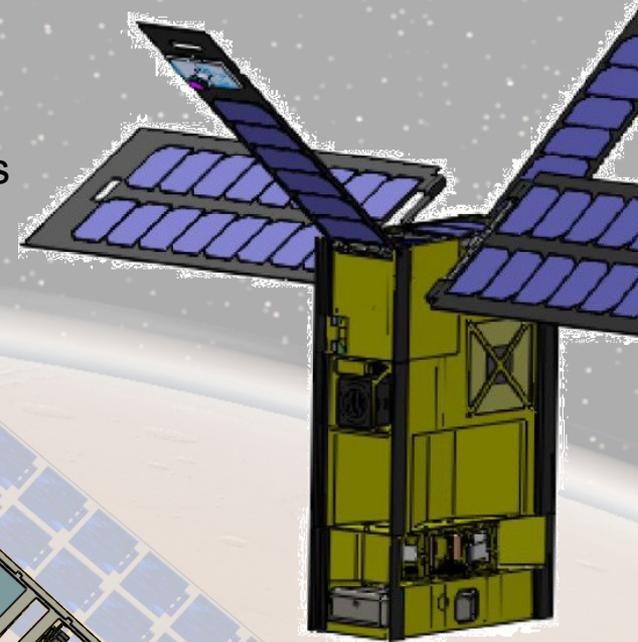
Science en interplanétaire et à Mars à l'échelle 3U:

- Météorologie de l'espace: les spirales Hohmann-Parker
- Propagation de trajectoires dans l'espace profond
- Mesurer le “risque radiation” pour le vol habité vers Mars
  - Charge utile :  $2U \Rightarrow 1U$
  - Delta-V principale par mission hôte :  $2U \Rightarrow 0U$
  - Blackout radio pendant la croisière :  $1U \Rightarrow \frac{1}{2}U$  w.OBC
  - SCAO avec petite propulsion électrique :  $1U \Rightarrow \frac{1}{2}U$

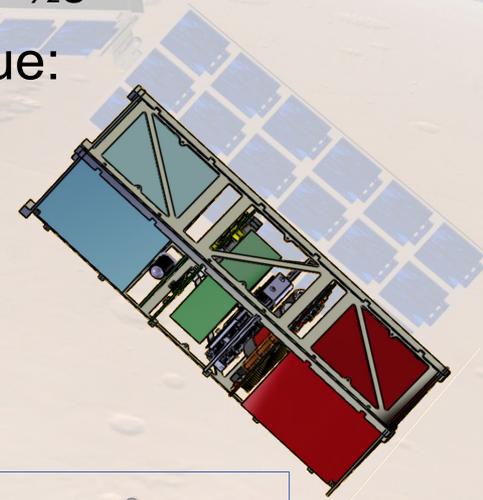
Locomotive pédagogique et technologique:

- Propulsion électrique CubeSat
- Navigation autonome
- Communications intersatellites

“Proto-Flight” modèle en GTO



Staehele et al.  
(JoSS 2013)



Passage en revue =>



ou

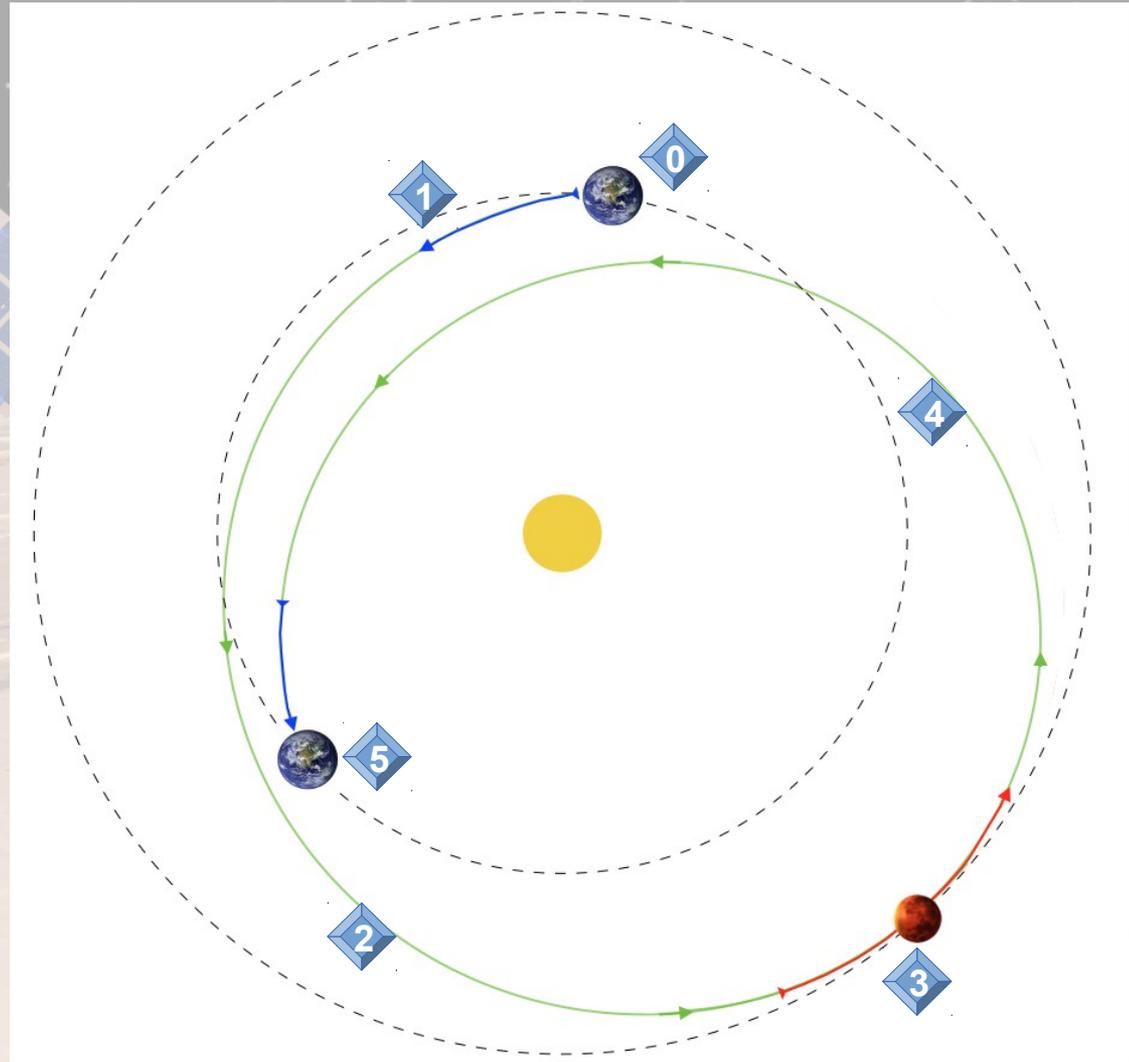


?



## Profile de mission

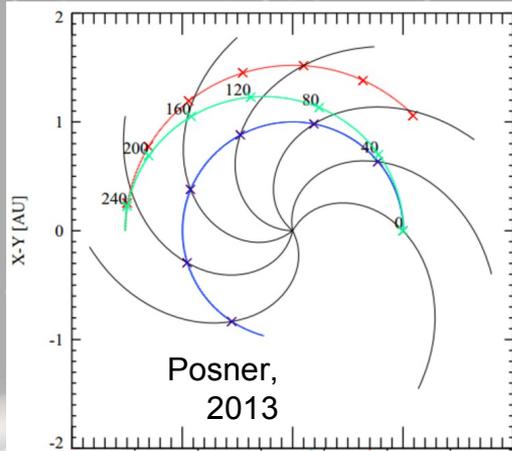
- 0** Préparation de mission (GSE)
  - Fenêtres de lancement
  - Trajectoire de référence
- 1** Déploiement après IOI
  - Delta-V par mission hôte
- 2** Terre → Mars
  - Risque nul sur l'hôte
  - Liberté de rotation
  - Charge utile « on »
  - Telecom « black-out »
  - Navigation autonome
  - Petite Propulsion Elec
- 3** Survol de Mars
  - Plan orbital modifié
  - Data-relais vers la Terre
- 4** Mars → Terre = Terre → Mars
- 5** Fin de mission : Datalink final



(trajectoire inspirée par Dennis Tito pour 2018)



## Science: de nouveaux capteurs émergent



Vent solaire + Rayons cosmiques

- Strategie de spin pour la direction de provenance
- « Vol habité vers Mars » comme priorité

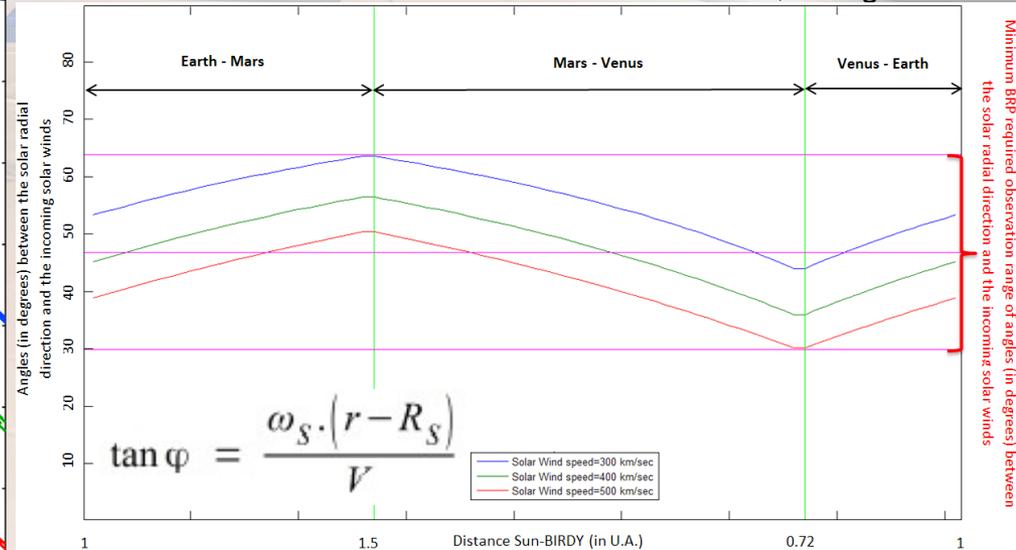
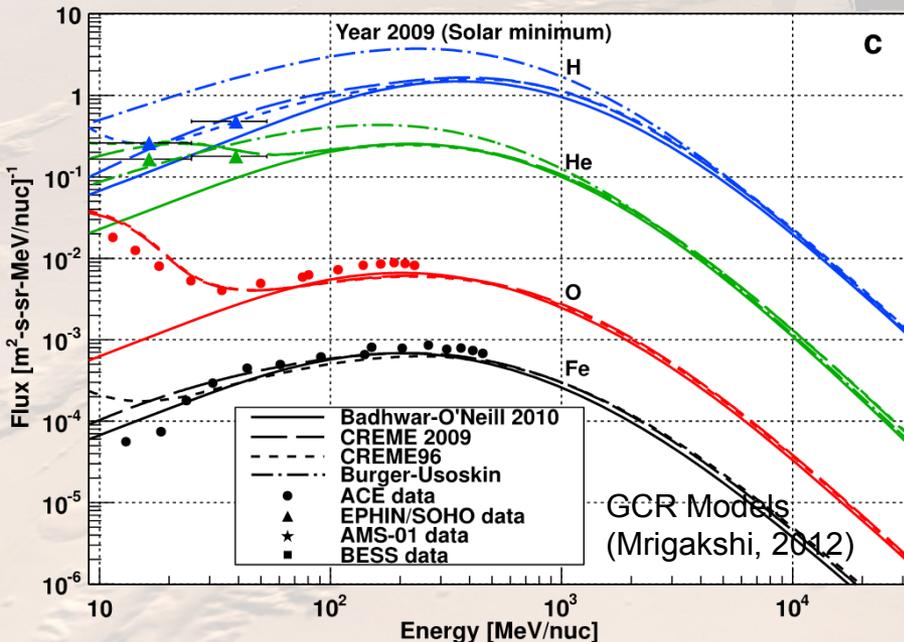
Specification des besoins en cours

Après RAD / MSL :

- REPTile (US, 1.2kg)
- HMRM (UK, 52g)
- SREM (CH, 2.5kg)
- NGRM (CH, 1kg)



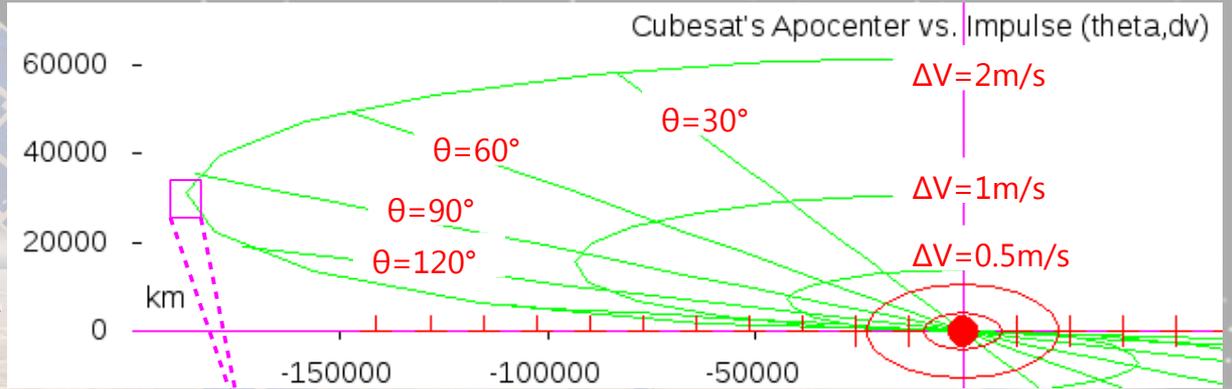
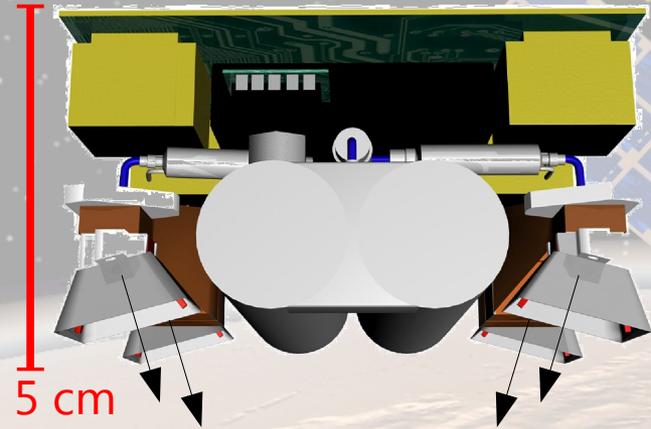
RAD "Radiations Assessment Detector", 1.5Kg © NASA



## Propulsion élec.: $\Delta V$ -Budget (ACS+OCS)

Consortium L- $\mu$ PPT <http://liquidppt.eu>  
(financé EC/FP7 jusqu'à TRL4)

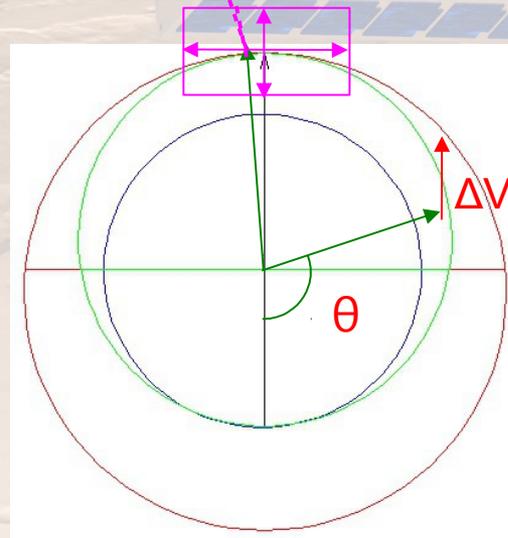
Décalage 175'000 km / 30'000 km avec +2m/s at  $\theta \sim 100^\circ$



Liquid- $\mu$ Pulsed Plasma Thruster configuration à 4 propulseurs pour BIRDY

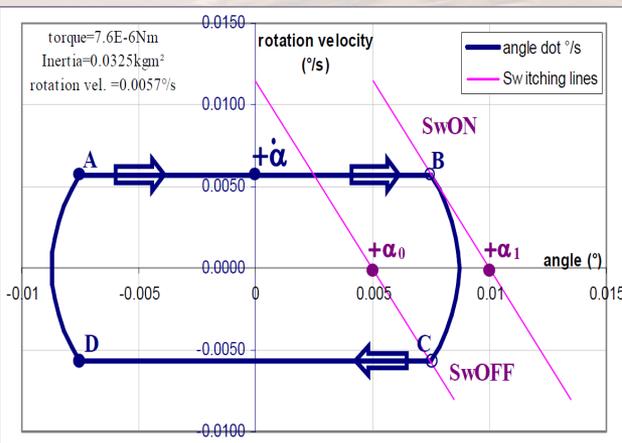
Effect on apocenter of  $\vec{v}' = \vec{v} + \Delta \vec{V}$  at true anomaly  $\theta$

$$\vec{e}' = \frac{\vec{v}' \wedge \vec{L}'}{G \cdot M_{\odot} \cdot m} - \vec{e}'_r = \frac{\vec{v}_a \wedge \vec{L}'}{G \cdot M_{\odot} \cdot m} - \vec{e}'_a$$



### Carburant liquide qualifié "Espace", micro-pulsations:

- Contrôle d'attitude économique pour  $0.04^\circ$  à  $0.01^\circ$  de précision
- Potential cumulé  $\Delta V \approx 100 \text{ m/s}$  (si poussée linéaire seule)
- $\Delta V$  de +2m/s en  $\sim 1$  day





## Télécom: data-relais près de Mars ?

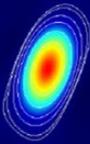
« Porteuse » vers VLBI: état de santé général

Faible Data-volume mais hypothèses trop optimistes ?

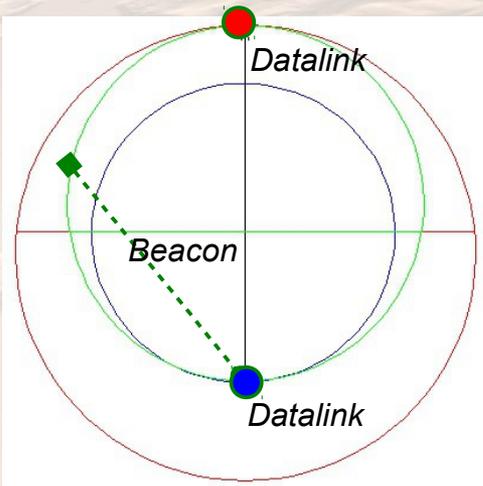
- au voisinage de Mars : relais de communication vers un Orbiter
- Au retour sur Terre : communication directe vers station sol

Beacon

J2211-13, 0.17 Jy

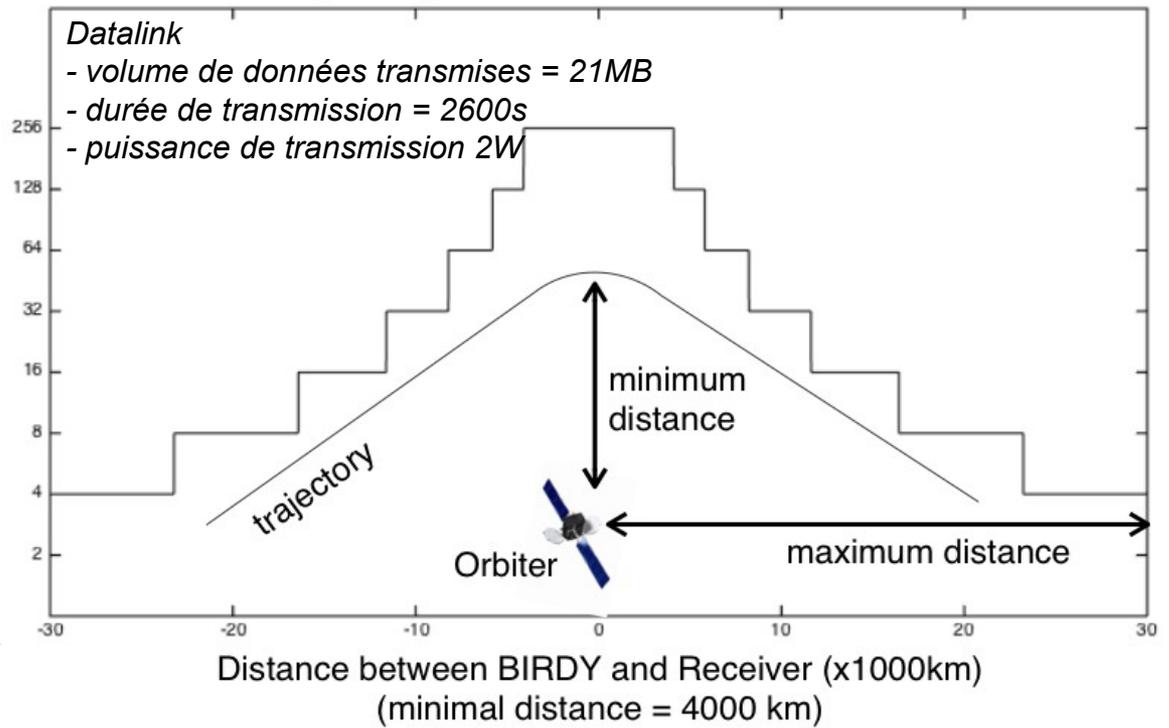


VLBI for ESA's VEX (Dueve & al., 2012)



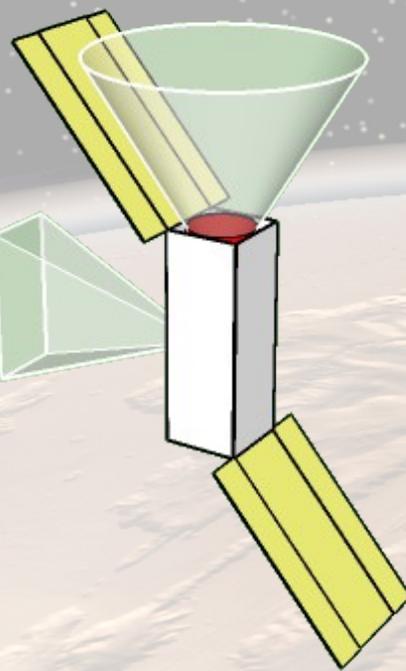
Datarate according to Proximity-1 Space Link Protocol (kbps)

Datarate depending on distance between BIRDY and Receiver



## ✔ Budgets systèmes préliminaires apparaissent faisables

- Budget de masse serré mais nous sommes confiants



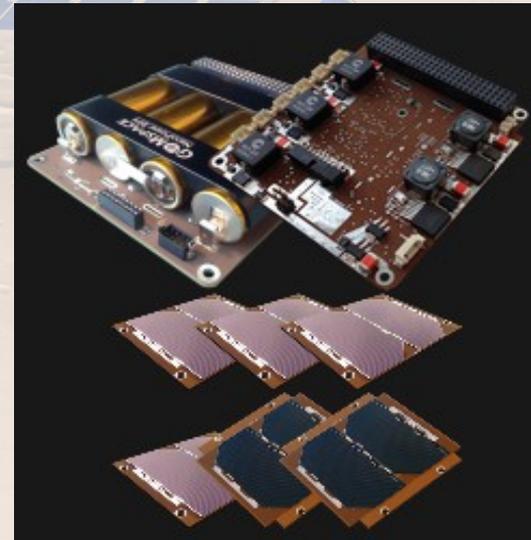
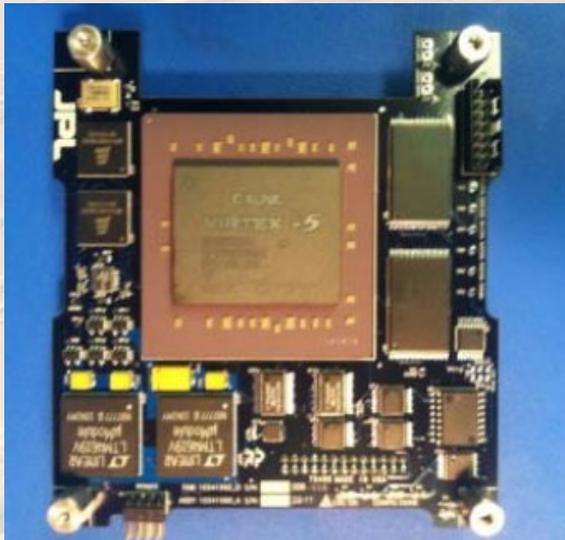
<u>Parameters</u>	<u>Expected Value (kg)</u>	<u>Margin (%)</u>	<u>Marged Value (kg)</u>
<b><u>Payload:</u></b>	1.00	25	1.25
<b><u>AOCS:</u></b>	0.47	16	0.55
<b><u>OBDH:</u></b>	0.15	20	0.18
<b><u>EPS:</u></b>	1.09	8	1.18
<b><u>Communication:</u></b>	0.18	10	0.20
<b><u>Structure:</u></b>	0.30	5	0.32
<b><u>BIRDY Mass</u></b>	<b>3.19</b>	<b>15</b>	<b>3.67</b>
<b><u>Cables, Fasteners, screws...</u></b>	<b>0.16</b>	<b>10</b>	<b>0.18</b>
<b><u>Maximum BIRDY Mass</u></b>	<b>4.00</b>	<b>0</b>	<b>4.00</b>
<b><u>BIRDY Mass Margin</u></b>	<b>0.65</b>	<b>/</b>	<b>0.16</b>

- Budget de puissance

10W disponibles au voisinage de Mars, pour les 7 modes opérationnels avec 6x3U de panneaux solaires (RAD sur MSL fonctionnait avec 4.2W)



- ✓ Budgets systèmes préliminaires apparaissent faisables
- ✓ Architecture Système pour des opérations en totale autonomie
- ✓ **Hardware & Système adaptés à un séjour long dans l'espace profond**
  - Milieu interplanétaire moins agressif que MEO/GTO
  - Architecture LEON sur un FPGA (avec contrainte ITAR)
  - Memoires de type RAID, et stratégie d'horloge et de reboot





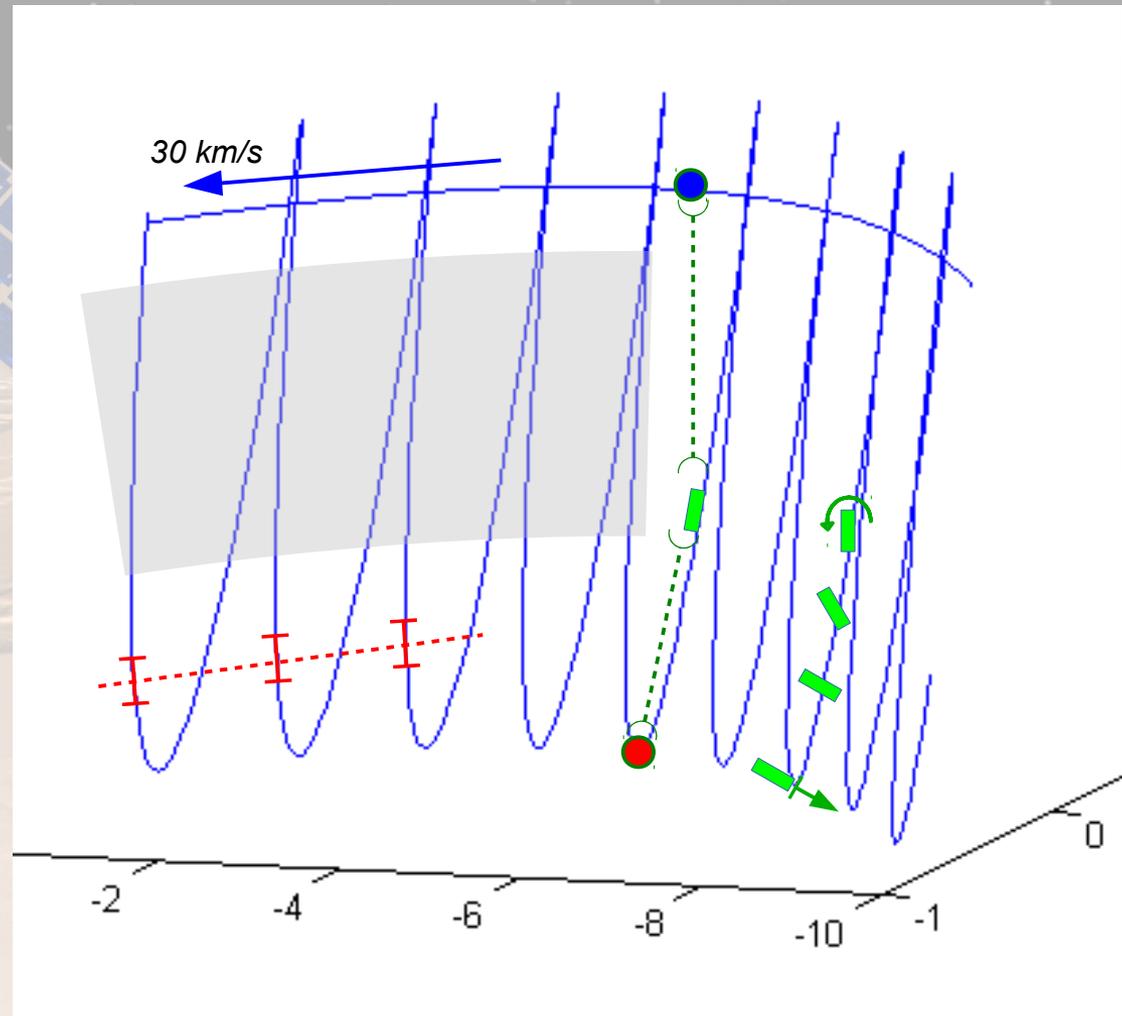
## PFM en GTO → FM1 vers Mars

### Proto-Flight Modèle (PFM) en Geo.Transfer Orbit

- ACS + OCS avec L- $\mu$ PPT
- Datalink vers Sol & GEO
- Ceintures Van Allen en MEO
- Navigation avec pseudo-ref

### Cas *d'étude*:

- => PFM prêt pour vol 2018
- => FM1 en 2020



## Récapitulatif

Contactez le Chef de Projet: [boris.segret@obspm.fr](mailto:boris.segret@obspm.fr)

### Science interplanétaire & martienne à l'échelle 3U :

- ✓ Profile de mission Terre-Mars-Terre en libre retour
- ✓ Science : de nouveaux capteurs émergent
- ✓  $\Delta V$ -Budget pour (Orientation+Position) en propulsion élec.
- ⚠ Navigation autonome: quelle précision ?
- ⚠ Télécom : data-relais au voisinage de Mars ?
- ✓ Ingénierie adaptée à une plateforme pour l'espace profond
- ✓ Proto-Flight Modèle en GTO pour tout tester avant le FM1



*(Involved Institutions)*  
 1.Association Planète Mars, 2.Mars Society Switzerland, 3.Observatoire de Paris, 4.Laboratoire d'Etudes Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique, 5.Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales, 6.Centre National de la Recherche Scientifique, 7.Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides, 8.National Cheng Kung University, 9.LabEx Exploration Spatiale des Environnements Planétaires, 10.Centre Etudiant pour la Recherche et l'Exploration Spatiale, 11.Research University Paris Sciences Lettres, 12.Pierre and Marie Curie University, 13.Université Lille 1 Sciences et Technologies, 14.Institut Polytechnique des Sciences Avancées, 15.École d'Ingénierie des Sciences Aérospatiales, 16.Consortium Liquid Micro Pulsed Plasma Thruster, 17.KopooS Consulting Ind., 18.Ecole Centrale Lille, 19.Joint Institute for VLBI in Europe

*(Involved actors 2014)*  
**Students:** J.Vannitsen(8), A.Ansart(15,8), Q.Tahan(15,8), M.Agnan(10,3,8), J.Velardo(10,3), A.Deligny(10,3), G.Quinsac(10,3,11), A.Porquet(10,3,7), A.Lassissi(10,3), N.Gerbal(15), O.Sleimi(14,8), S.Durand(10,3,4), R.Klajzyngier(18), J.Diby(18), T.Mallet(18), J.Foissaud(18), L.Orsatto(18), E.Colin(18), N.Heim(18), J.Lin(8), A.Tsai(8), A.Chen(8), J.Tsai(8), T.Chang(8), D.Boisseau(15,8), A.Sibue(10,11), J.Evens(10,11), H.Poincelin(10,3), A.Schnitzer(10,3), S.Thibaut(10,3). **Supervisors:** B.Segret(4,9,3,10,1), J.Vannitsen(8), B.Mosser(4,10,11), K.Wang(8), J.C.Juang(8), J.J.Miau(8), J.Daniel(1), Y.Desplanques(18), D.LePicart(18), F.Deleflie(7,3,6,12,13)

