





# Groupe de Travail Système Solaire

Sylvestre Maurice, IRAP

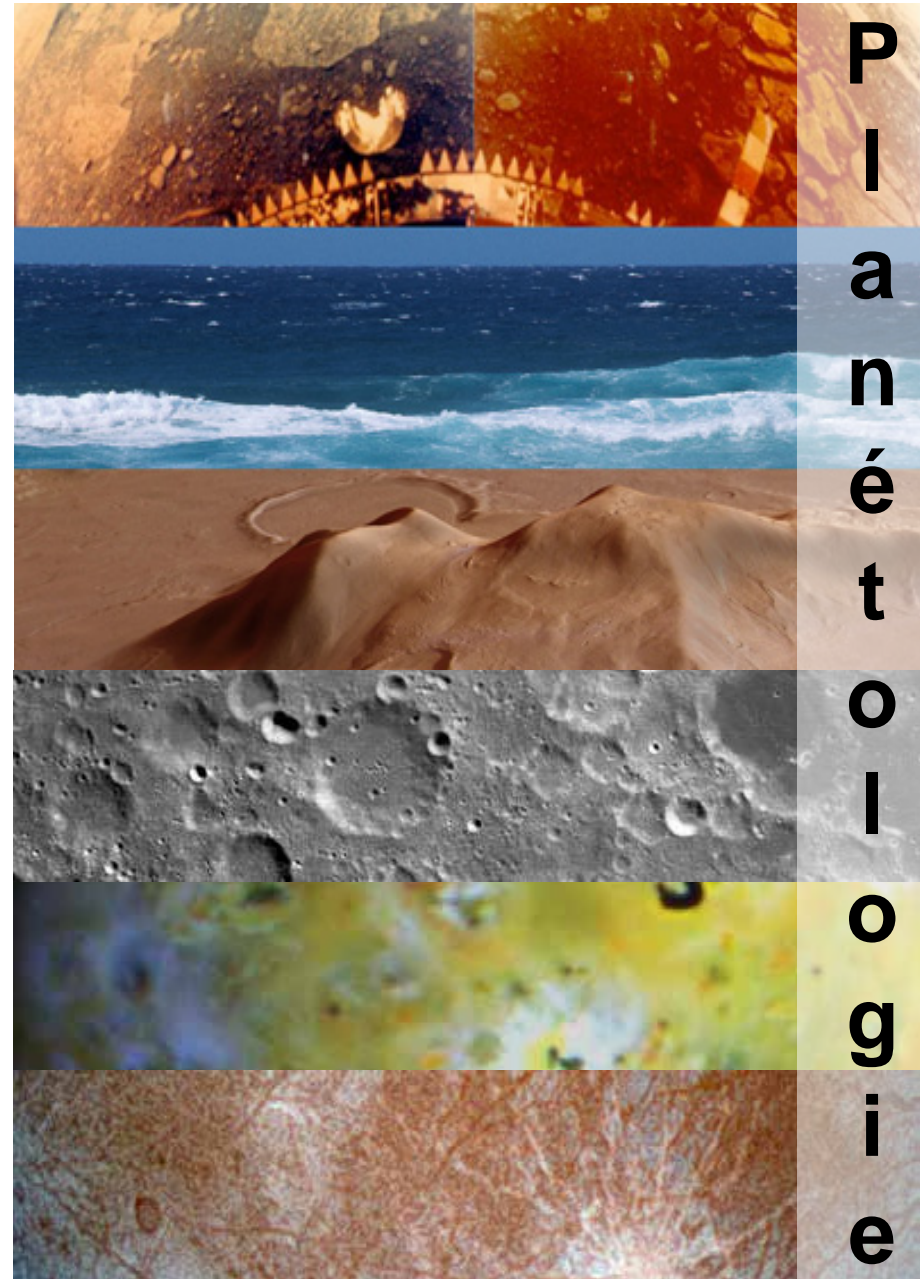
Francis Rocard, CNES

Y. Benilan (LISA), D. Delcourt (LPP), A. Doressoundiram (LESIA), T. Fouchet (LESIA), O. Grasset (LPGN), T. Guillot (Lagrange), S. Maurice (IRAP, président), P. Michel (Lagrange), F. Montmessin (LATMOS), F. Poulet (IAS), V. Sautter (MNHN), M. Toplis (IRAP), M. Wieczorek (IPGP)

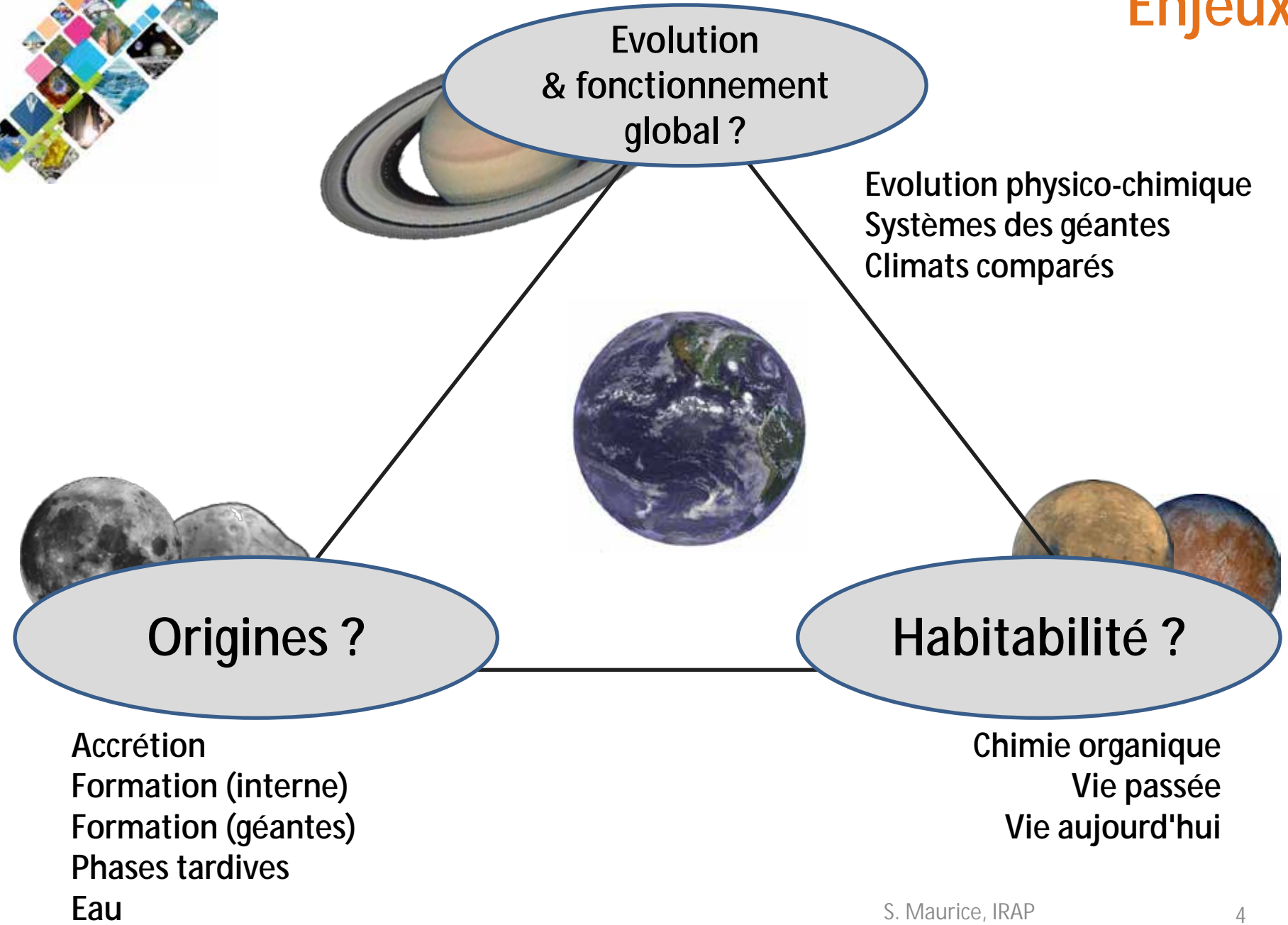


# Contours de la Thématique

- Poids dominant du spatial, mais aussi :
  - + d'observations télescopiques
  - + d'analyses d'échantillons
  - + d'expériences de laboratoire
  - + de modélisations
- Nombreuses interfaces avec l'étude des environnements (**Groupe SHM**) et de la vie (**Groupe Exobio.**)
- Implication croissante dans la science des **Exoplanètes**





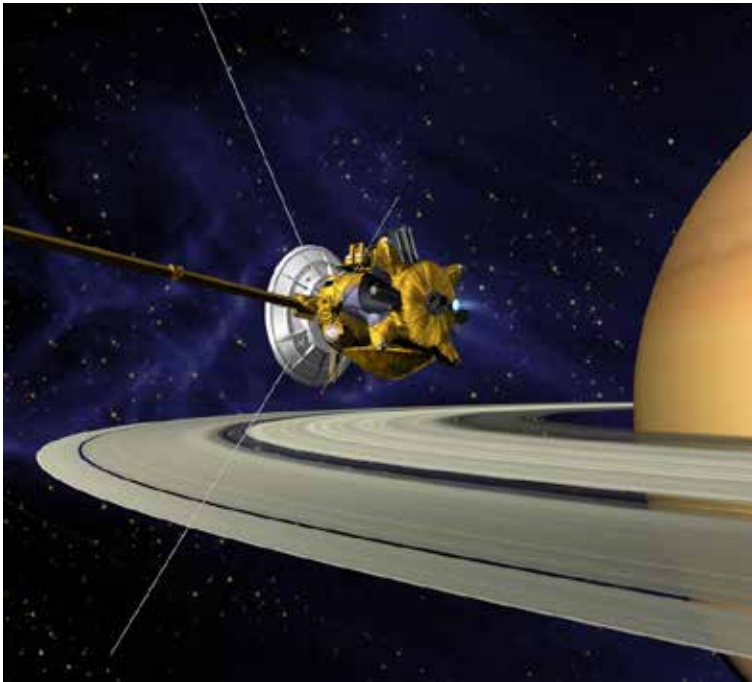




## Période 2009 - 2014

- ◆ Excellent cru!
- ◆ La France conforte sa position de leader européen
- ◆ Deux moteurs exceptionnels :

### Exploration du Système de Saturne



*Mission NASA-ESA Cassini/Huygens*

### Exploration de Mars



*Mission ESA Mars Express*



# Période 2009 – 2014

## Programmatique

<b>Nouvelles missions</b>	JUICE, InSight, Hayabusa-2_MASCOT
<b>Poursuite des Opérations</b>	Cassini, Mars Express, Venus Express, Mars Odyssey, Mars Reconnaissance Orbiter, Mars Exploration Rovers
<b>Lancements</b>	Lunar Reconnaissance Orbiter (2009), JUNO (2011), Mars Science Laboratory (2011), GRAIL (2011), MAVEN (2013)
<b>Nouveaux retours scientifiques</b>	2010 : Rosetta survole Lutetia 2011 : MESSENGER étudie Mercure 2011-2012 : DAWN en orbite autour de VESTA 2012 : GRAIL mesure précise du champ de gravité lunaire 2012 : CURIOSITY en opération : important retour scientifique
<b>Reports</b>	BepiColombo + 2 ans ExoMars + 2 ans pour Pasteur Selene-2 + 5 ans minimum
<b>Echecs / Annulations</b>	Echec Phobos-Grunt Echec de la coopération ESA-NASA sur ExoMars ILN annulé

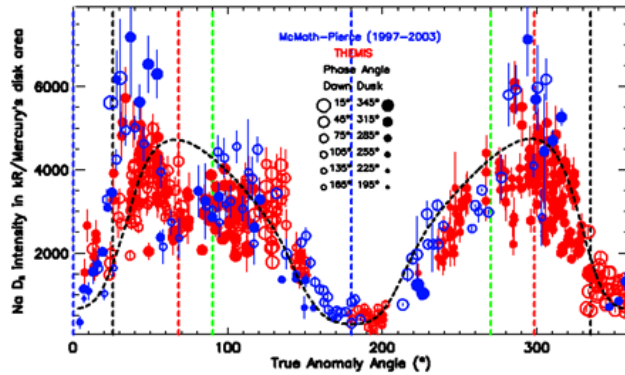


# Période 2009 – 2014

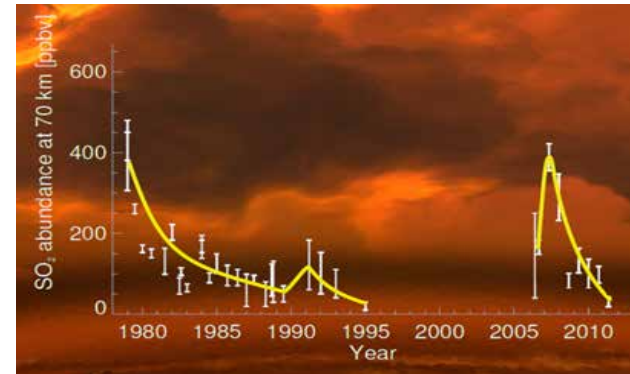
## Résultats scientifiques

### « *Systeme Solaire d'aujourd'hui* »

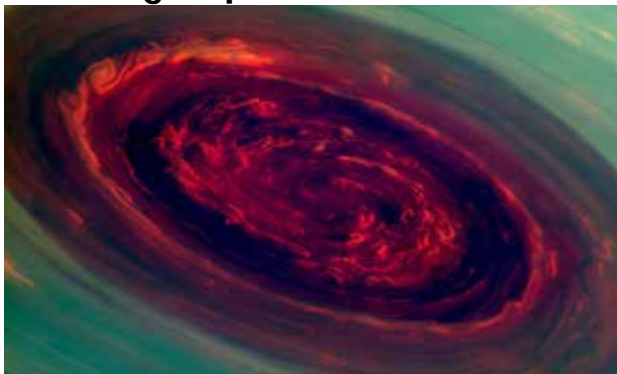
#### Exosphère Mercure



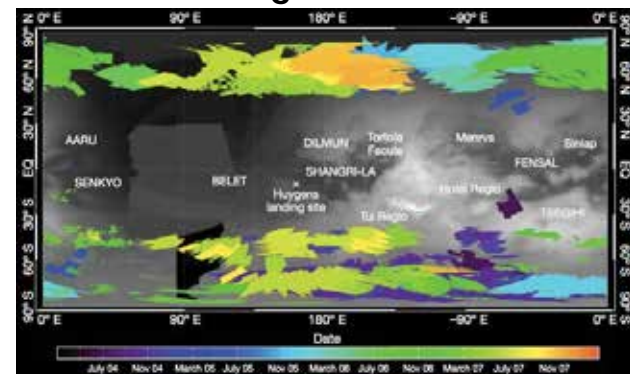
#### Atmosphère de Vénus



#### Ouragan polaire de Saturne



#### Nuages de Titan





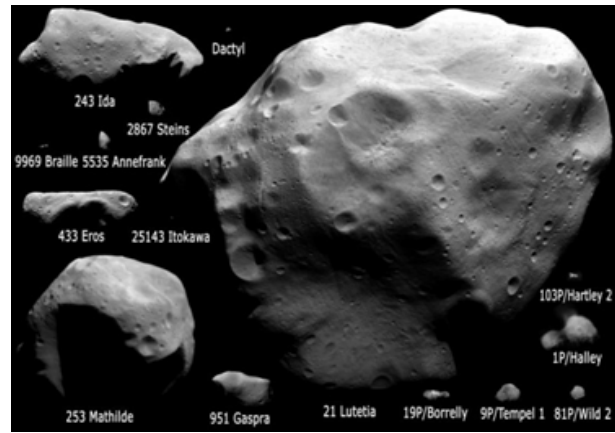


# Période 2009 – 2014

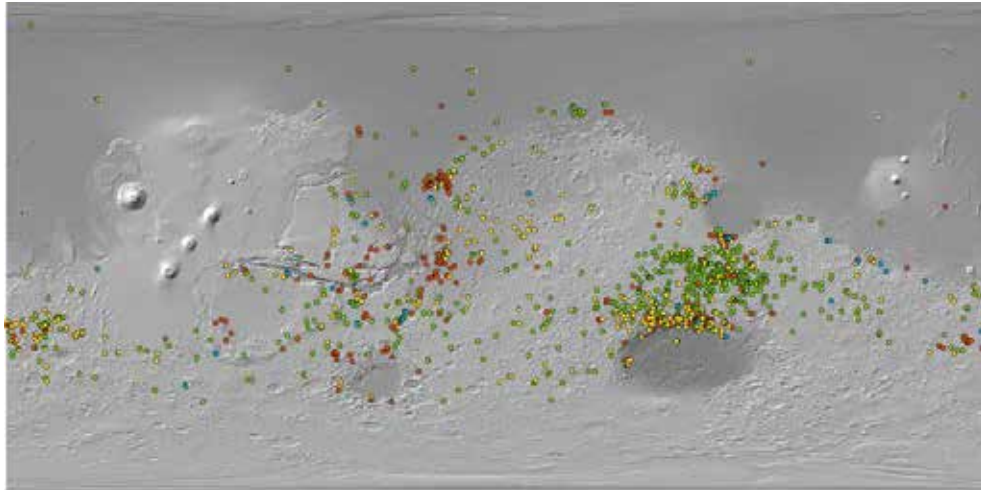
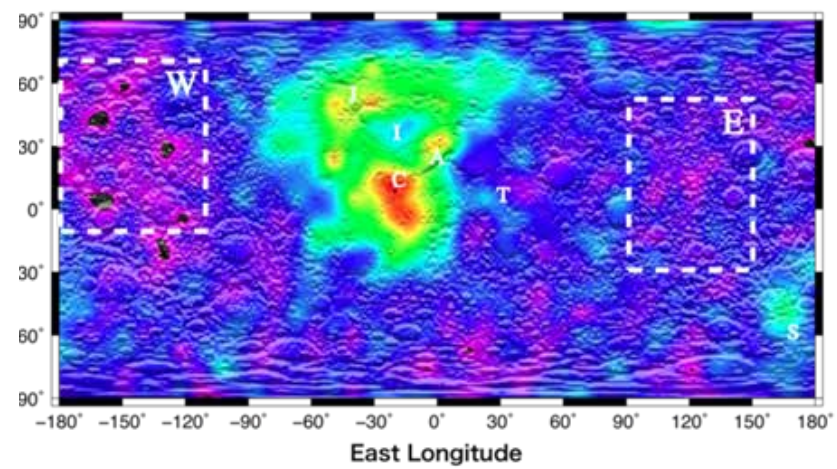
## Résultats scientifiques

### « *Systeme Solaire d'hier* »

Diversité des petits corps



Croûte de la Lune



Distribution des minéraux hydratés sur Mars



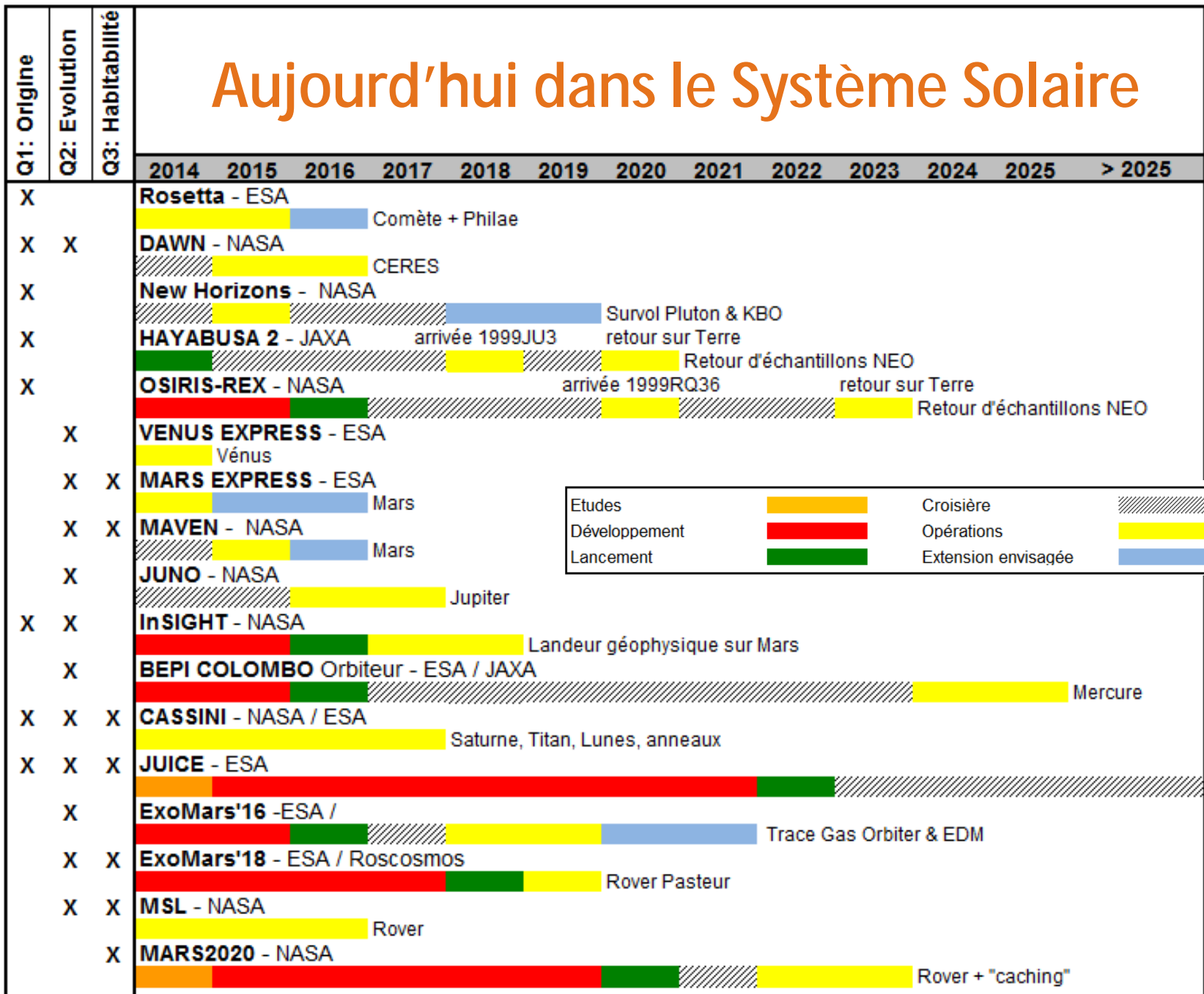


# Période 2009 - 2014

## Recommandations de Biarritz

Recommandation GTSS, Biarritz		Situation en 2014	
<b>Missions décidées</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· BepiColombo</li> <li>· ExoMars</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- BepiColombo est en développement.</li> <li>- ExoMars-2018 est en difficulté.</li> </ul>	
<b>Missions CV (ESA)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mission M / MarcoPolo-R</li> <li>- Mission L / EJSM</li> <li>- Mission Vénus (EVE)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MarcoPolo-R et EVE non sélectionnées.</li> <li>- EJSM devient JUICE, sélectionnée en L1.</li> </ul>	
<b>Sismologie martienne &amp; lunaire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· VBB pour post-ExoMars</li> <li>· Selene-2</li> <li>· ILN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le VBB est sélectionné sur la mission InSight.</li> <li>- Selene-2 est toujours en cours de définition.</li> <li>- ILN est abandonné.</li> </ul>	
<b>Programme d'exploration (ESA)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· MSR avec/sans américains</li> <li>· Déploiement à long terme d'un réseau géophysique et climatique martien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le programme d'exploration de l'ESA est bloqué sur sa première mission, ExoMars.</li> <li>- La NASA s'engage sur le retour d'échantillons avec Mars2020 (caching).</li> </ul>	
<b>Actions de R&amp;T</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Datation</li> <li>· Analyse in situ et miniaturisation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plusieurs actions R&amp;T, dont la faisabilité de la datation in situ.</li> </ul>	

# Aujourd'hui dans le Système Solaire





# Prospective 2014+

## Feuille de route

### ∅ **Méthodologie** (à partir d'ateliers dans la communauté)

Objectifs scientifiques

Grandes questions

Profils de missions

Opportunités programmatiques

Recommandations

} Traçabilité

∅ Découpage par objet

∅ Pilotage équilibré (=pragmatique) entre la science et la programmatique internationale

∅ (possible car très grande convergence des priorités de chacune des communautés scientifiques [Nasa, Esa, Jaxa, ..] de la discipline)





# Prospective 2014+

## Feuille de route

Thèmes prioritaires			Type de mission pour réaliser les objectifs
Objet	Objectifs scientifiques	Questions	
<b>Petits Corps</b>	Géocroiseur primitif	Q1.1 Q1.2	Analyse in situ & retour d'échantillons
	Objet transition comète-astéroïde	Q1.5	
	Troyens / Ceinture principale /NEO	Q1.1 Q1.2	Survol In situ (surface +
	Comète / Centaurs /TNO	Q1.1 Q1.2	Analyse in situ & retour d'échantillons
	Composition, structure	Q1.5 Q3.1	
<b>Lune</b>	Contraindre histoire impactisme	Q1.1 Q1.2	Retour d'échantillons
	Bombardement tardif (LHB)	Q1.4 Q2.1	
	Évolution thermique		
	Composition et structure interne (noyau, manteau, croûte)	Q1.1 Q1.2 Q2.1	Réseau sismique
	Polar regions	Q1.4	Analyse in situ et/ou Retour
Volatils	Q1.5		
	Etude de la face cachée	Q1.4	Landers
	Terrains anciens, Bassins d'impacts	Q2.1 Astro	
<b>Mercure</b>	Structure interne	Q1.2 Q2.1	Landers
<b>Mars</b>	Habitabilité de Mars	Q1.2 Q3.1	Analyse in situ.
	Traces de vie	Q3.2 Q3.3	Préparation retour
	Histoire climatique	Q2.3 Q3.2	Orbiteur
	Caractérisation atmosphère		Station sol?
	Composition et structure interne (noyau, manteau, croûte)	Q1.2 Q2.1	Réseau sismique



# Prospective 2014+

## Feuille de route

Thèmes prioritaires			Type de mission pour réaliser les objectifs
Objet	Objectifs scientifiques	Questions	
<b>Vénus</b>	Sondage atmosphérique profond Evolution climatique Dynamique atmosphérique	Q2.3	Orbiteur & Ballon, sonde
	Evolution surface Couplage avec atmosphère	Q2.3 Q3.2	
<b>Satellites</b>	EUROPE / ENCELADE Structure interne Habitabilité aujourd'hui	Q1.3 Q3.1 Q3.3	Orbiteur
	TITAN Cycle atmosphérique, aérosols Couplage avec surface	Q1.3 Q2.3 Q3.1 Q3.3	
	PHOBOS Exploration surface, intérieur	Q1.1 Q1.4 Q3.2	Analyse in situ Retour d'échantillons
<b>Planètes Géantes &amp; Glacées</b>	SATURNE Composition atmosphérique Origine des géantes	Q1.3 Q2.2	Orbiteur Sonde
	Système de URANUS / NEPTUNE Atmosphère, B, anneaux, satellites	Q1.3 Q2.2	
<b>Exo-planètes</b>	Caractérisation des atmosphères Formation planétaire	Q1.2 Q1.3 Q1.4 Q2.2 Q3.3	Télescope



## Prospective 2014+

# Hors programmatique

- ◆ L'analyse d'échantillons dont la provenance et le contexte sont bien connus permet de traiter de nombreuses questions en planétologie, bien plus précisément et plus largement que lors de mesures *in situ*.  
è **Recommandation** : Priorité à une mission de préparation ou de réalisation d'un retour d'échantillons (1- Mars, 2- Lune ou Petit corps).
- ◆ La référence aux exoplanètes est transverse aux 3 thématiques de la planétologie. La découverte des exoplanètes a changé notre vision de l'origine et de l'évolution du Système Solaire.  
è **Recommandation** d'une mission pluridisciplinaire de caractérisation des atmosphères des exoplanètes.





## Prospective 2014+ ESA / Cosmic Vision

- ◆ Retour scientifique remarquable.
- ◆ A venir :
  - ◆ Rosetta (comète) et BepiColombo (Mercure, 2016/2024).
  - ◆ JUICE (L1/ Jupiter 2022/2030), SOLO (M1), PLATO (M3).

è **Recommandation** : Priorité à la continuité du programme CV

- q Sécurisation de BepiColombo et JUICE
- q Engagement ambitieux sur M4
- q Une exploration des géantes glacées correspond à une L4



## Prospective 2014+

# ESA / Programme d'exploration

- ◆ Programme (technologique) ambitieux, centré sur Mars et la Lune. Un retour d'échantillons comme objectif à terme.
- ◆ Sa réalisation requiert le doublement du budget annuel (~120 M€ en 2013) ; ce n'est pas dans les perspectives du CNES.
- ◆ ExoMars :
  - ◆ la mission 2016 est en voie d'achèvement.
  - ◆ La réalisation de la mission 2018 paraît techniquement risquée

à Quoique scientifiquement intéressant, le programme d'exploration de l'ESA ne nous paraît pas crédible en l'état. Nous rappelons notre attachement à la mission ExoMars et notre volonté de voir son sort résolu de façon satisfaisante.



## Prospective 2014+

# Missions d'opportunité

- ◆ Nombreuses sollicitations : indicateur de performance de la planétologie française !
  - ◆ Programmes NASA/Discovery & New Frontiers, russes (?), indiens et japonais.
- ◆ *Les petites expériences scientifiques* – sans hardware.
  - ◆ Excellent rapport qualité/prix.
- ◆ *Les petites contributions instrumentales* < 3 M€.
  - ◆ Calendriers parfois tendus, prise de risques assumée.
- ◆ *Les grosses opportunités instrumentales* représentent une situation nouvelle – 10/20 M€.
  - ◆ Critères : confiance dans le partenaire ; priorité forte de la thématique ; fourniture centrale de la mission ; visibilité du CNES et ses partenaires.





## Prospective 2014+

# Missions d'opportunité (suite)

è **Recommandation** : Les missions d'opportunité

Le contexte programmatique nous incite à accorder une **très grande priorité** aux opportunités, qui reposent de fait sur les filières instrumentales de la communauté. Nos priorités thématiques pour ces opportunités sont :

- ◆ Sondage *in situ* des atmosphères planétaires
- ◆ Structure interne
- ◆ Composition des surfaces



# Prospective 2014+

## R&T

- ◆ La R&T est indispensable !
  - è **Recommandation** : La R&T doit privilégier la conception d'instruments d'analyse *in situ*.
- ◆ Intérêt réitéré pour une expérience de **datation**. Le travail de R&T doit se poursuivre.
- ◆ Sur la période 2009-2013, plusieurs R&T sur le développement d'un spectromètre de masse à très haute résolution ( $m/Dm > 10\ 000$ , **Orbitrap**).
- è **Recommandation** : L'Orbitrap est une priorité de la thématique. Il devient urgent d'en construire un démonstrateur de laboratoire qui devra confirmer les performances attendues.



# Résumé

## recommandations & priorités

Par ordre de priorité,

- ∅ Programme scientifique,
  - ◆ Recom-1 : **Priorité à la continuité du programme CV**
  - ◆ Recom-2 : **Priorité aux retours d'échantillons**
  - ◆ Recom-3 : **Soutien aux missions d'opportunité**
  - ◆ Recom-4 : **Mission Exoplanètes**
- ∅ R&T,
  - ◆ Recom-1 : **Priorité à l'analyse *in situ***
  - ◆ Recom-2 : **Démonstrateur Orbitrap**