

# EUROPA CLIPPER

Mission



Instrument



R&T



Classe de mission

L



M



Mini



Micro



Cosmic Vision  
CV1 CV2



Mission d'Opportunité



Mars



Date de lancement

2020+

## Objectifs Scientifiques

Caractériser l'habitabilité de la Lune Europa, satellite de Jupiter, via une étude détaillée de sa surface (géologie/composition chimique) et de la subsurface (caractéristiques physiques de l'océan profond).

**Contexte de réalisation** (positionnement vis-à-vis d'initiatives similaires aux niveaux national et international)

Projet américain qui fait suite aux recommandations du Decadal Survey.

Suite à l'abandon de la contribution américaine au projet EJSM en 2011, un projet moins ambitieux est à l'étude.

Il est focalisé sur quelques objectifs clés en rapport avec l'habitabilité de la lune. Aucune garantie de sélection pour l'instant.

## Niveau de participation

Inconnu. Il faut anticiper une participation sur les instruments embarqués.

## Risques

- *crédibilité technologique (TRL)*

Les instruments envisagés bénéficient d'un très fort héritage (payload orbiteur assez classique excepté peut-être le radar) sauf pour ce qui concerne les radiations, facteur bloquant clairement identifié depuis Galileo.

L'expérience acquise sur JUICE sera sans nul doute utile.

- *programmation (coopération, date lancement,...)*

Inconnu.

## Moyens disponibles

Non déterminé.

## Compétences

- *technique (héritage)*

Fort héritage via les contributions Cassini et JUICE.

- *scientifique*

La communauté française est extrêmement active dans ce domaine ; L'exploration des lunes de glace via Cassini (en cours) et JUICE (en préparation) implique très fortement la communauté planétologique française dans de nombreux domaines (astrobiologie, géophysique interne, atmosphères/exosphères, plasmas et champs magnétiques,...)

## Enjeux

- *Impact pour la communauté (avancée scientifique)*

Les avancées scientifiques seront majeures pour ce corps planétaire très particulier.

Ce sera de plus extrêmement complémentaire à JUICE, dans la logique du projet ESA-NASA EJSM qui fût annulé en 2011.

L'avancée majeure sera sans doute liée à l'étude de l'accessibilité de la zone habitable pour de futures missions.

- *Innovation technologique*

La mission étant focalisée sur le respect du budget NASA fortement réduit par rapport au projet initial d'orbiteur d'Europe prévu dans le cadre d'EJSM, il ne faut pas attendre de gros enjeux technologiques.

Le challenge des radiations doit toutefois impérativement conduire à des concepts originaux pour les instruments.

## Intérêt du cas scientifique

Europa, après la mission Galileo, est devenue la lune du système externe la plus attractive de par son très fort potentiel d'habitabilité.

C'est donc une cible de choix pour l'astrobiologie, comme l'a souligné le document Cosmic Vision.

## Actions d'accompagnement, de coordination

Inconnu

# EVE

Mission



Instrument



R&T



Classe de mission

L



M



Mini



Micro



Cosmic Vision

CV1



CV2



Mission d'Opportunité



Mars



Date de lancement

2028

## Objectifs Scientifiques

La mission EVE est un ballon dans l'atmosphère de Vénus, flottant vers 55 km, qui a trois objectifs principaux. Le premier thème est la formation et l'évolution comparée des planètes telluriques au travers de l'étude de l'abondance élémentaire et isotopiques de plusieurs atomes dont les gaz rares. Les données pour ces gaz n'existent que de manière très parcellaires alors qu'ils renseignent très précisément sur l'histoire de l'atmosphère et de ses interactions avec la planète solide. Leur mesure permettrait de comprendre l'histoire de l'eau vénusienne et de son destin, soit un échappement dans l'espace, soit un stockage sous forme d'hydrates dans la lithosphère. Le second objectif est l'étude de la dynamique de l'atmosphère vénusienne, en établissant son bilan radiatif, en mesurant in situ les vents pour comprendre le mécanisme d'accélération de la super rotation de l'atmosphère vénusienne qui se produit au niveau des nuages inférieurs, vers 55 km d'altitude. Enfin, le troisième objectif est l'étude de la chimie de l'atmosphère de Vénus. Les nuages vénusiens sont le lieu d'une chimie complexe qui implique le soufre, mais aussi le chlore, le carbone, l'eau et d'autres composés traces. Cette chimie reste mal caractérisée, au point que la nature d'un composé responsable de l'absorption de 50% du flux UV solaire n'est toujours pas déterminée. Les mesures in situ proposées par EVE permettront de grandement améliorer nos connaissances sur la chimie de l'atmosphère vénusienne et d'explorer l'influence potentielle du volcanisme sur cette dernière.

**Contexte de réalisation** (positionnement vis-à-vis d'initiatives similaires aux niveaux national et international)

La mission EVE est une mission qui sera proposée en réponse à l'appel d'offre ESA pour les missions M4. L'étude in situ de l'atmosphère de Vénus est une priorité partagée par les grandes agences (NASA, JAXA, Roskosmos), le NASA planetary Science Decadal survey ayant sélectionné la mission Venus In situ Explorer parmi les 5 finalistes pour la mission New Frontier 4.

## Niveau de participation

Le niveau de participation du CNES devrait être celui d'une mission M dans le programme CosmicVision.

## Risques

- *crédibilité technologique (TRL)*

Le CNES peut s'appuyer sur l'héritage du ballon VEGA. Cette mission avait été un grand succès et ne s'était pas achever à cause d'un défaut du ballon. Le CNES a maintenu une activité technologique suffisante sur les ballons terrestres pour que cet héritage ne se soit pas dissipé. La charge utile présente quelques innovations technologiques, notamment sur le spectromètre de masse. Mais le concept a fait l'objet de suffisamment d'étude en laboratoire pour avoir atteint une crédibilité technologique acceptable pour une soumission en M4.

- *programmation (coopération, date lancement,...)*

Voir contexte de réalisation

## Moyens disponibles

## Compétences

- *technique (héritage)*

Le CNES possède en Europe la plus grande compétence technique sur les ballons, aussi bien dans l'atmosphère de la Terre que pour le seul ballon ayant jamais volé dans une atmosphère autre que celle de la Terre. Au niveau de la charge utile la France possède une compétence sur les spectromètres de masse, les diodes laser TDL ou les capteurs de champ électrique et magnétique.

- *scientifique*

La communauté scientifique française est très impliquée dans l'analyse des données de la mission Vénus Express. Elle a donc développé des compétences de premier plan sur la dynamique et la chimie de l'atmosphère de Vénus. La communauté française cosmochimique a également développé une expertise de premier plan sur l'analyse des rapports élémentaires et isotopiques pour contraindre la formation et l'évolution des objets du système solaire. La communauté planétologique française possède donc beaucoup d'atout pour tenir une place importante dans l'équipe scientifique EVE. La proposition précédente en M2 était d'ailleurs menée par la France.

## Enjeux

- *Impact pour la communauté (avancée scientifique)*

L'impact pour la communauté serait important et ce dans plusieurs domaines. La mesure des rapports élémentaires et

isotopiques impacterait toute la communauté de la formation et de l'évolution des planètes telluriques, donc bien au-delà de la seule communauté vénusienne. L'impact pour l'étude de la chimie de l'atmosphère de Vénus serait aussi grand car il est très difficile d'obtenir des données en télédétection sur cette partie très importante de l'atmosphère de Vénus. L'impact sur notre connaissance de la chimie serait très grand. Pour la dynamique, la mesure des vents dans cette zone est impossible en télédétection, mais devant la complexité du problème de la super-rotation il est difficile d'affirmer que cette mesure permettra de résoudre à elle seule cette question.

- *Innovation technologique*

La mission ne demande d'innovation technologique de premier plan. Le ballon requit est similaire à celui de la mission VEGA. Les instruments de la charge utile sont des instruments type de mesure in situ. Le spectromètre de masse est d'une technologie nouvelle qui n'a pas encore volé, mais qui a été éprouvé en laboratoire dans un environnement similaire. Le néphélomètre fait aussi appelle à une nouvelle méthode de mesure mais éprouvée au sol.

#### **Intérêt du cas scientifique**

L'intérêt du cas scientifique déborde l'étude de la planète Vénus. En effet l'étude de sa formation et de son évolution intéresse l'ensemble de la communauté qui travaille sur la formation des planètes telluriques, dans et hors du système solaire. De même, l'étude de la super rotation de Vénus intéresse également ceux qui étudie une dynamique similaire sur Titan, ou dans toutes les exoplanètes à rotation lente. Enfin, l'étude de la chimie du soufre à haute altitude intéresse aussi la communauté des climatologues terrestres puisque les éruptions volcaniques peuvent jouer un rôle important dans l'évolution du climat terrestre, sans oublier les implications possibles pour les géoingénierie.

#### **Actions d'accompagnement, de coordination**

L'aide du CNES et de la division ballon sera primordiale lors de la réponse à l'appel d'offre M4.

# FARSIDE EXPLORER

Mission



Instrument



R&T



*Classe de mission*

L



M



Mini



Micro



Cosmic Vision

CV1



CV2



Mission d'Opportunité



Mars



Date de lancement

~2022

## Objectifs Scientifiques

La face cachée de la Lune est un lieu unique dans le système solaire pour un large éventail d'applications scientifiques. Étant à l'abri de l'influence terrestre pour les ondes de radio, la face cachée de la Lune est l'environnement radio la plus calme dans l'espace proche de la Terre. Elle a conservé fidèlement la différenciation primaire de la Lune et accueille le plus grand bassin d'impact reconnu dans le système solaire. Et si l'on se place au point de Lagrange L2 Terre-Lune, la face cachée de la Lune est le lieu idéal pour la surveillance continue des impacts de météorites sur la surface lunaire (via des flashes d'impact). Nous proposons donc une mission vers la Lune dans le cadre d'une mission classe M de Cosmic Vision. Elle mettrait un ou deux atterrisseurs sur la face cachée de la Lune et positionnerait un satellite relais instrumenté dans une orbite de halo autour du point de Lagrange L2. Au cours d'une mission nominale de 4 ans, trois grandes thèmes scientifiques seront abordés.

Tout d'abord, du point de vue de la surface lunaire, nous pourrions y faire les premières mesures radioastronomiques dans la région la plus calme de l'espace proche de la Terre. Deuxièmement, cette mission ferait des mesures géophysiques précises de l'intérieur de la Lune et déterminerait la composition de sa surface. Grâce à des mesures sismiques, flux de chaleur, et sondage électromagnétique, ces données permettraient de déterminer la composition de la Lune, l'épaisseur de la croûte, la taille et la composition du noyau, la taille d'un grain solide, et le profil de température. Troisièmement, du point de vue du satellite-relais, cette mission permettrait de quantifier les risques d'impact dans le système Terre-Lune en surveillant continuellement la face cachée de la Lune pour les impacts météoritiques. Les heures et les lieux d'impact mesurés seraient utilisés comme sources sismiques pour l'expérience de sismologie.

Le système spatial Farside Explorer inclut deux atterrisseurs solaires identiques et un satellite relais science/télécommunications qui sera placé sur une orbite de halo autour du point de Lagrange L2 Terre-Lune. Les deux atterrisseurs pourraient contenir un ensemble d'instruments à la pointe de la technologie : un récepteur de radio-astronomie, des sismomètres longue et courte période, une sonde de flux de chaleur, un sondeur électromagnétique, caméras, et une expérience géochimique. Le satellite relais contiendra une caméra pour la détection des flashes d'impact, et un magnétomètre.

Le concept de la mission proposée est innovant, car il utilise une orbite de halo autour du point de Lagrange L2 Terre-Lune pour fournir un relais de communication pour les atterrisseurs, tout en permettant simultanément le programme de suivi des flashes d'impact et les études de sondage électromagnétiques. La trajectoire balistique proposée commence à partir de GTO, va à la point L1 Terre-Soleil, et utilise l'instabilité des variétés du problème à trois corps autour d'EL1 pour revenir au voisinage de la Lune. A l'arrivée lunaire, l'intersection des variétés du problème à trois corps du système Terre-Soleil et Terre-Lune permet l'insertion, à une très faible  $\Delta V$ , des éléments de mission dans une orbite de halo Terre-Lune L2. Cette mission est compatible soit avec un lancement commercial partagé par un seul Ariane 5, soit un Soyuz dédié.

**Contexte de réalisation** (positionnement vis-à-vis d'initiatives similaires aux niveaux national et international)

Farside Explorer est une mission novatrice qui bénéficie de l'instrumentation "state of the art" géophysique et astronomique en Europe. Les objectifs scientifiques de Farside Explorer sont soutenues conjointement par les communautés lunaire et radioastronomie, adressent directement tous les quatre objectifs scientifiques du programme Cosmic Vision de l'ESA, et répondent aux recommandations de la prospective décennale de la NASA. Farside Explorer répond directement à la prospective 2008 du CNES qui a identifié un réseau sismique lunaire comme une mission prioritaire. Ce concept de mission sera proposé au prochain appel M4 de l'ESA. D'autres agences spatiales ont identifié la science depuis la surface lunaire comme des priorités nationales, et cette mission vers la face cachée viendraient compléter d'autres qui pourraient être exploités sur la face visible par la NASA, le Japon, la Chine, la Corée du Sud, l'Inde et la Russie.

**Niveau de participation**

Il serait raisonnable de s'attendre à ce que le CNES pourrait fournir trois aspects clés de la charge utile scientifique: la sismographe large bande, le récepteur de radioastronomie, et une expérience de géochimie comme LIBS.

### Risques

- *crédibilité technologique (TRL)*

Le concept Farside Explorer a été développé sur la base des propositions antérieures à l'ESA, ce qui implique une réutilisation maximale des technologies existantes. Du côté de l'atterrisseur, la plupart des technologies existent, ou ont été en cours de développement dans le cadre du programme de Lunar Lander de l'ESA. A titre d'exemple, la propulsion est ATV, et de l'avionique sont d'autres projets. Les seules technologies qui restent à être développés concernent la stabilité thermique sur la surface lunaire et les sous-systèmes électriques et d'alimentation. Sur le plan de la charge utile, le sismomètre est hérité de la mission InSight de la NASA, et LIBS est héritée de Mars Science Laboratory de la NASA.

- *programmation (coopération, date lancement,...)*

Une mission de l'atterrisseur lunaire dans le context de M4 de l'ESA serait rendu possible dans l'optique de 2022. A cette époque, plusieurs missions potentielles de l'atterrisseur lunaire d'autres agences spatiales pourraient conduire à des mesures synergiques, comme New Frontiers 5 (NASA), Chang'e-5 et 6 (Chine), et SELENE-2 (Japon).

### Moyens disponibles

### Compétences

- *technique (héritage)*

La mission tire partie de l'héritage du Lunar Lander ESA, des missions ATV, et des études Moon Next (ESA) et Lunette (NASA). La charge utile vient d'ExoMars, InSight, MSL, et LEO (orbiteur lunaire allemand, caméra SPOSH).

- *scientifique*

La France possède un groupe de chercheurs, renommée mondiale, qui ont été actifs dans l'analyse des données sismiques d'Apollo, des données de télédétection acquis depuis orbite (optique et rayons gamma) et des données gravimétriques et topographie acquis des missions GRAIL et LRO. La France possède également une expertise importante dans le domaine radioastronomie (LOFAR), et les détections de flashes d'impact.

### Enjeux

- *Impact pour la communauté (avancée scientifique)*

La sélection de cette mission aurait deux effets qui changent la donne sur la communauté scientifique française. Tout d'abord, l'utilisation novatrice des événements d'impact en tant que sources sismiques réunirait les domaines disparates de la sismologie, les détections des flashes d'impacts, et la modélisation du flux d'impact Terre-Lune. Le vol d'une expérience de radioastronomie bénéficierait de l'expertise existante dans les observatoires de basse fréquence sur la Terre, comme LOFAR.

- *Innovation technologique*

Les innovations réside dans l'utilisation des mesures en synergie entre un vaisseau orbital et deux atterrisseurs, et l'utilisation intensive de la mécanique spatiale "moderne" en utilisant à la fois une stratégie de problème à trois corps pour le transfert et pour l'orbite de halo autour du point de Lagrange LL Terre-Lune.

### Intérêt du cas scientifique

Les objectifs scientifiques de Farside Explorer sont soutenue par une large communauté, y compris la géophysique planétaire, astronomie d'observation (flashes d'impact), et radioastronomie de basse fréquence.

### Actions d'accompagnement, de coordination

R et T vaisseau spatial: le contrôle thermique de la Lune, le système EPS dédié à la Lune. R et T de charge utile: utilisation de l'interféromètre laser pour la partie sismomètre de détection.

# INSPIRE (ESA) MARS NETWORK



## Objectifs Scientifiques

Mars Network Science Mission (named INSPIRE) including 3 small landers with a robotic arm to be launched on a Soyuz rocket and using direct-to-Earth communications, to investigate the interior structure of the planet, its rotational parameters and its atmospheric dynamics.

These important science goals have not been fully addressed by Mars exploration so far and can only be achieved with simultaneous measurements from a number of landers located on the surface of the planet such as a Mars Network mission.

In addition, the geology, mineralogy and astrobiological significance of each landing site would be addressed, as new locations on Mars would become available for in-situ study.

**Contexte de réalisation** (positionnement vis-à-vis d'initiatives similaires aux niveaux national et international)

Mission dans le cadre du programme AURORA de l'ESA.

## Niveau de participation

Implication française sur le sismomètre

## Risques

- *crédibilité technologique (TRL)*
- *programmative (coopération, date lancement,...)*

Le futur du programme AURORA (post-ExoMars) est encore incertain tant que le financement d'ExoMars ne sera pas consolidé.

Une lancement dans les années 2020 est possible.

## Moyens disponibles

Non déterminé.

## Compétences

- *technique (héritage)*

Etude de Phase B sur la mission NetLander

- *scientifique*

La communauté française est extrêmement active dans ce domaine;

## Enjeux

- *Impact pour la communauté (avancée scientifique)*

La mission INSPIRE se justifiera après les résultats de la mission InSight (2016)

- *Innovation technologique*

## Intérêt du cas scientifique

## Actions d'accompagnement, de coordination

# MARCO POLO



## Objectifs Scientifiques

Récolter et ramener sur Terre un échantillon d'un astéroïde primitif, non altéré par le processus d'entrée dans l'atmosphère et la contamination terrestre, dont le contexte géologique sera connu grâce aux analyses in-situ de l'astéroïde, pour l'analyser à un niveau de détail impossible in-situ dans les laboratoires terrestres.

**Contexte de réalisation** (positionnement vis-à-vis d'initiatives similaires aux niveaux national et international)

Deux missions seront lancées, une par la JAXA en 2014 (Hayabusa 2), l'autre par la NASA en 2016 (OSIRIS-REx) pour récolter un échantillon de deux astéroïdes primitifs de type spectral différent et avec des mécanismes de récoltes différents (objectif: quelques mg pour Hayabusa 2, de 100 g à 2 kg pour OSIRIS-REx). Marco Polo devra choisir une cible qui permet d'avoir des informations sur une population distincte de corps primitifs, permettant de compléter de façon substantielle notre connaissance du matériau primitif dans le Système Solaire.

## Niveau de participation

L'Europe a les moyens d'effectuer une telle mission sans nécessité de partenaire, si les propriétés dynamiques de la cible permettent une mission courte (< 6 ans) et des contraintes thermiques et de communications simples à gérer, comme c'était le cas pour la cible 2008 EV5 de la mission MarcoPolo-R. Si la cible nécessite une mission plus longue ou difficile, un partenariat pourrait être envisagé. Il faut souligner que la NASA et la JAXA ont manifesté officiellement leur intérêt de participer (jusqu'à 50 Meuros pour la NASA) lors de l'étude de MarcoPolo-R.

## Risques

- *crédibilité technologique (TRL)*

Une telle mission est maintenant mature pour être développée en Europe (voir le rapport de l'étude de MarcoPolo-R).

- *programmation (coopération, date lancement,...)*

Une telle mission pourrait être proposée en réponse à l'appel d'offre de l'ESA pour les missions M4, sous réserve qu'une cible aisément accessible et scientifiquement intéressante soit identifiée, ce qui n'est pas le cas pour l'instant (Mars 2014).

## Moyens disponibles

Ceux des agences nationales pour les programmes envisageables (M4).

## Compétences

- *technique (héritage)*

Les études industrielles et de l'ESA de faisabilité de Marco Polo, MarcoPolo-R, les études des instruments sélectionnés, les tests en 1 g de plusieurs mécanismes de récoltes d'échantillon par les industries européennes.

- *scientifique*

La communauté française est extrêmement active dans la science des petits corps et en cosmochimie. Certains français sont co-I des missions OSIRIS-REx et Hayabusa-2, et de missions de science in-situ tels que Rosetta (ESA) et Dawn (NASA). Une grande partie des analyses des échantillons lunaires et ramenés par les missions précédentes (e.g. Genesis et Stardust de la NASA) a été effectuée par des équipes françaises. A noter que ce sont deux membres d'institutions française qui étaient les porteurs de Marco Polo et MarcoPolo-R.

## Enjeux

- *Impact pour la communauté (avancée scientifique)*

Les avancées scientifiques seront majeures, tant les informations accessibles sur les petits corps depuis le sol sont limitées. Chaque corps visité jusqu'à présent a été à l'origine de révisions de nos connaissances. De plus, les échantillons sont disponibles pendant des décennies, occupant de façon intéressante et riche les futures générations de scientifiques. Les échantillons lunaires continuent d'être analysés, avec des résultats toujours nouveaux grâce à l'avancée technologique des instruments d'analyse et la maturité grandissante des connaissances et des bonnes questions à se poser.

- *Innovation technologique*

Les instruments à bord du satellite sont classiques pour ce genre de missions. Mais ce serait une première pour l'Europe concernant l'utilisation de mécanisme de récolte d'échantillon et d'une capsule de ré-entrée dans l'atmosphère. Ces technologies serviront à se former pour développer plus tard celles plus complexes pour un retour d'échantillon de Mars.

## Intérêt du cas scientifique

Marco Polo est une mission multi-disciplinaire, qui couvre des domaines allant de l'astrophysique (nucléosynthèse,

contexte de formation stellaire avec l'analyse des grains pré-solaires), la planétologie, l'exobiologie aux problèmes de risques d'impact avec la Terre. Elle se place dans le contexte d'une nouvelle ère d'intérêt international pour les retours d'échantillon, comme le démontrent le développement des missions OSIRIS-REx (NASA), Hayabusa-2 (JAXA) et d'une mission chinoise de retour d'échantillon lunaire. La grande diversité de propriétés physiques, compositions et structures des astéroïdes implique que différentes missions, avec leur propre mécanisme et stratégie de récolte, récolteront des échantillons de quantité et type différents ayant leur propre histoire. De plus, les observations in-situ détaillées de l'astéroïde permettront de connaître le contexte géologique de ces échantillons, ce qui manque aux météorites. Marco Polo permettrait à l'Europe de devenir un acteur important à l'échelle internationale dans la science des échantillons, rejoignant ainsi les autres grandes agences spatiales.

**Actions d'accompagnement, de coordination**

Comme pour Marco Polo, et MarcoPolo-R, il sera souhaitable que le CNES aide au montage de la proposition et accompagne les équipes scientifiques qui proposeront des instruments.



# MARS2020

Mission



Instrument



R&T



Classe de mission

L



M



Mini



Micro



Cosmic Vision  
CV1  CV2

Mission d'Opportunité

Mars

Date de lancement

2020

## Objectifs Scientifiques

"Habitabilité de Mars et traces de Vie"

- Caractériser le contexte et l'histoire géologique autour du site d'atterrissage;
- Déterminer son habitabilité dans le passé;
- Etablir sa capacité à avoir préservé des biosignatures et les caractériser;
- Sélectionner des échantillons, les documenter, et les préparer pour un retour ultérieur (= "caching")
- Caractérisation de l'environnement martien; identification de risques pour des missions habitées
- Utilisation de ressources in situ: fabrication d'oxygène.

**Contexte de réalisation** (positionnement vis-à-vis d'initiatives similaires aux niveaux national et international)

Mission prioritaire de la NASA (Flagship-1 du Decadal Survey) faisant suite au succès de MSL/Curiosity. Maitrise d'œuvre JPL. Financée et en cours de développement. AO instruments 15 Oct. 2013 (remise 15 Janv. 2014; résultats Avril 2014). Démarrage Mai 2014.

## Niveau de participation

Nombreuses participations scientifiques

Contributions instrumentales:

- SubEx: sondage radar subsurface (PI LATMOS, V. Ciarletti)
- Marbl: LIDAR atmosphérique (PI LATMOS, F. Montmessin)
- SuperCam: Chimie, minéralogie et imagerie à distance (coPI IRAP, S. Maurice)
- MicrOmega: Minéralogie et imagerie au contact (PI IAS, J.-P. Bibring)

## Risques

- *crédibilité technologique (TRL)*

Niveau élevé de développement pour chacune des contributions instrumentales:

- SubEx, dérivé de WISDOM sur ExoMars
- Marbl, dérivé de R&T CNES et instruments terrestres
- SuperCam, dérivé de ChemCam sur MSL et RLS (Raman) sur ExoMars
- MicrOmega, dérivé de MicrOmega sur ExoMars, Hayabusa-2 et Phobos-Grunt

- *programmation (coopération, date lancement,...)*

Partenaire JPL fiable.

Très bonne collaboration sur les projets martiens (MSL/SAM, MSL/ChemCam, InSight/SEIS)

Lancement 2020. Mission de 2 ans.

## Moyens disponibles

Projets instrumentaux sur la base des développements techniques MSL et ExoMars, ainsi que des équipes mises en place pour ces projets.

## Compétences

- *technique (héritage)*

Héritages MSL et ExoMars. Grande maturité technique.

- *scientifique*

Équipes éprouvées et reconnues.

## Enjeux

- *Impact pour la communauté (avancée scientifique)*

Priorité de la communauté. Fort retour scientifique attendu. Couvre plusieurs thématiques des géosciences à l'astronomie.

- *Innovation technologique*

Instruments issus de la R&T et des filières traditionnelles de la discipline.

## Intérêt du cas scientifique

Le retour d'échantillons martiens est une priorité de la planétologie française depuis de nombreuses années. MARS2020 est la première mission qui prépare concrètement (caching) ce retour.

## Actions d'accompagnement, de coordination

Voir au cas par cas pour accompagnement du CST.



# PHOOTPRINT (ESA) PHOBOS SAMPLE RETURN

Mission



Instrument



R&T



Classe de mission

L



M



Mini



Micro



Cosmic Vision  
CV1 CV2



Mission d'Opportunité



Mars



Date de lancement

2020+

## Objectifs Scientifiques

Understand the formation of the Martian moons Phobos and Deimos and put constraints on the evolution of the solar system

- Constrain the moon formation scenario by analysing returned samples
- Constrain dynamical models of the early solar system by showing how often a large impact occurs

**Contexte de réalisation** (positionnement vis-à-vis d'initiatives similaires aux niveaux national et international)

Phootprint s'inscrit dans le cadre du programme AURORA de l'ESA.

Ce cadre se précisera quand la mission ExoMars verra son financement consolidé.

## Niveau de participation

au minimum sur l'analyse des échantillons ;

souhaité sur les instruments embarquées d'aide à la collecte des échantillons

le CNES peut être intéressé au niveau sou-système voire véhicule de retour / sonde de rentrée atmosphérique.

## Risques

- *crédibilité technologique (TRL)*
- *programmation (coopération, date lancement,...)*

## Moyens disponibles

### Compétences

- *technique (héritage)*
- *scientifique*

Excellente expertise dans l'analyse de la matière extraterrestre.

### Enjeux

- *Impact pour la communauté (avancée scientifique)*
- *Innovation technologique*

- To develop European capabilities to return a sample from a solar system body.
- To prepare critical building block for MSR, including: sampling, sample handling, and Earth reentry technologies.
- To obtain science information on the formation of the Martian moons and better constrain the evolution of the solar system.

### Intérêt du cas scientifique

Fort intérêt de la communauté française pour les missions de retour d'échantillons.

Intérêt d'avoir également accès à des fragments de Mars qui se seraient déposés sur Phobos.

### Actions d'accompagnement, de coordination

# EXPLORATION IN SITU DES PLANETES GEANTES



## Objectifs Scientifiques

En dépit des résultats importants de la mission Cassini qui devrait orbiter autour de Saturne jusqu'en 2017 (Cassini-Huygens Solstice Mission), certains aspects critiques de la composition de son atmosphère et de la connaissance de sa structure interne demeureront toujours méconnus à la fin de la mission Cassini. Saturne, à l'instar de Jupiter, possède une atmosphère qui apparaît enrichie en éléments autres que l'hydrogène et l'hélium en comparaison à la photosphère du Soleil.

Cet enrichissement pourrait être le résultat de l'accrétion de planétésimaux condensés à basse température dans la zone de formation de la planète géante, ou bien le produit d'un enrichissement progressif de la nébuleuse.

Dans ce contexte, Saturne apparaît comme la cible naturelle d'un futur projet de sonde de rentrée atmosphérique. En effet, l'atmosphère de Jupiter a été analysée en 1995 par la sonde de rentrée atmosphérique de la mission Galileo et sa structure interne sera explorée en détail à partir de 2016 par la mission Juno. La mesure in situ de la composition de Saturne est donc très certainement la prochaine étape avant d'envisager les futures missions ambitieuses qui seront dédiées à l'étude d'Uranus et de Neptune.

Chacun des scénarios évoqués plus haut a des implications importantes pour la compréhension des conditions de formation de Saturne, et plus généralement du Système Solaire. Ces scénarios pourraient être différenciés entre eux via la mesure in situ de la composition élémentaire et isotopique de l'atmosphère de Saturne (détermination impossible pour la mission Cassini), avec en particulier la détermination des abondances et des rapports isotopiques des gaz rares et celle concernant les éléments volatils majeurs (H, C, N, S, O). La mesure des gaz rares est particulièrement importante car (1) ceux-ci sont chimiquement inertes et leurs abondances sont déterminées via des processus physiques tels que les transitions de phases et (2) leurs compositions isotopiques présentent des hétérogénéités importantes à grande échelle entre le réservoir originel protosolaire et les différents sous-réservoirs existants dans le système solaire, qui font d'eux de parfaits traceurs isotopiques.

## Contexte de réalisation (positionnement vis-à-vis d'initiatives similaires aux niveaux national et international)

Dans cette proposition, nous souhaitons étudier le concept d'une sonde atmosphérique dédiée à l'analyse chimique et isotopique de l'atmosphère de Saturne de manière cohérente avec l'enveloppe budgétaire prévue par l'Agence Spatiale Européenne pour les missions de classe M.

La motivation provient du fait que la proposition KRONOS n'avait pas été retenue par l'ESA suite à son appel à missions de classe L. La cause majeure de cet échec était certainement liée à la grande ambition de la mission car celle-ci avait eu pour objectif l'envoi simultané de deux sondes d'entrée atmosphérique et d'un orbiteur autour de Saturne. Il est évident que des sondes atmosphériques multiples et atteignant des profondeurs importantes seraient idéales mais nous estimons que l'impact scientifique d'une sonde atmosphérique unique capable de mesurer les rapports isotopiques et les abondances élémentaires, ainsi que les profils de température, pression et de densité depuis le site d'entrée atmosphérique, serait également un apport majeur à notre connaissance post-Cassini de Saturne, et tout particulièrement de sa formation et de son évolution.

Ré-utilise en plus simple le concept de la mission KRONOS explorant le système de Saturne. Mission proposée en tant que mission L mais possibilité de la voir passer en mission M (d'après Mosis) avec l'appui de collaborations internationales (toutefois non évoqué dans la proposition).

## Niveau de participation

Elevé. PI français, nombreux CoIs français, plusieurs contributions instrumentales françaises possibles.

## Risques

- *crédibilité technologique (TRL)*

Assez bonne (~5) pour la mission la plus simple (entrée directe de la sonde sans orbiteur). Panneaux solaires. Seul point dur identifié: bouclier thermique.

- *programmative (coopération, date lancement,...)*

Pas de date de lancement proposé. Mission proposée dans le cadre L2 & L3 puis M4.

### **Moyens disponibles**

N/A

### **Compétences**

- *technique (héritage)*

Véhicule de la sonde : plateforme MEX, VEX, et utilisation de sous-systèmes de JUICE et de la sonde Huygens.

- *scientifique*

Importante grâce à la forte implication de la communauté des atmosphéristes français.

### **Enjeux**

- *Impact pour la communauté (avancée scientifique)*

Important. Niche scientifique mais touchant des questions primordiales sur la formation des planètes géantes

- *Innovation technologique*

Majeure en ce qui concerne le développement du bouclier thermique et importante pour la sonde et son instrumentation (spectro de masse, néphélomètre, etc).

### **Intérêt du cas scientifique**

Important.

Formation du système solaire par l'étude des abondances des éléments (He, Ne, O, C, N, S, P, Ar, Kr, Xe,...) et des rapports isotopiques (D/H,  $3\text{He}/4\text{He}$ ,  $15\text{N}/14\text{N}$ ) + études des processus atmosphériques

### **Actions d'accompagnement, de coordination**

N/A

# EXPLORATION DE TITAN ET D'ENCELADE



## Objectifs Scientifiques

Exploration des satellites Titan et Encelade par :

- (1) plusieurs survols par un satellite,
- (2) par un ballon largué dans l'atmosphère de Titan (intervalle d'altitudes comprises entre 1-10 km) et
- (3) par une mise en orbite par aérofreinage du satellite autour de Titan (orbite circulaire de rayon 1500 km).

**Contexte de réalisation** (positionnement vis-à-vis d'initiatives similaires aux niveaux national et international)

Satellite + ballon pour Titan.

Proposée en tant que mission ESA dans le cadre L2 & L3.

S'appuie scientifiquement et techniquement sur la mission TSSM dont la partie ballon avait été étudiée conjointement par le CNES et le JPL.

## Niveau de participation

Très élevé: PI français, 40 CoIs français,  
sources radioactives demandées à la France,  
ballon CNES,  
nombreuses contributions instrumentales possibles.

## Risques

- *crédibilité technologique (TRL)*

Très faible (TRL<<5) de par la complexité de la mission (satellite + ballon),  
du besoin de RTG/RHU, et  
de la phase de freinage par l'atmosphère de Titan

- *programmation (coopération, date lancement,...)*

Pas de date de lancement proposée.

Croisière de 10 ans.

## Moyens disponibles

N/A

## Compétences

- *technique (héritage)*

Cassini/Huygens, TSSM, ballons CNES pour la mission.

Instruments à bord des missions planétaires passées en cours et en développement pour l'instrumentation.

- *scientifique*

Excellente grâce à la très forte implication de la communauté française

## Enjeux

- *Impact pour la communauté (avancée scientifique)*

Majeur (mission très ambitieuse) !

- *Innovation technologique*

Très élevée. Sort du cadre L sans collaboration internationale

## Intérêt du cas scientifique

Important.

Etude du cycle de méthane sur Titan dans un cadre de planétologie comparée

+ analyse in situ des jets d'Encelade

+ étude de la complexité des processus chimiques sur ces satellites

## Actions d'accompagnement, de coordination

N/A



# TROJANS' ODYSSEY



## Objectifs Scientifiques

The overarching science goal of the proposed Trojans' Odyssey mission to explore the Jupiter Trojans and Hilda asteroids ultimately aims at casting some light on these aspects of the early history of the Solar System. It directly addresses two of the four key scientific questions highlighted in ESA's Cosmic Vision program:

- What are the conditions for planet formation and the emergence of life?
- How does the Solar System work?

This goal translates into a number of specific science objectives, which can only be reached by in-situ space observations:

- Determine the general physical properties, global and spatially resolved photometric and thermo-physical parameters of the target objects;
- Characterize the geology of their surface and their collisional history;
- Characterize their composition (silicates, ices, organics) and variegation across their surface;
- Search for evidences of past and present activity and of surface weathering;
- Probe their internal structure;
- Search for satellites.

## Contexte de réalisation (positionnement vis-à-vis d'initiatives similaires aux niveaux national et international)

The exploration of the Trojan and Hilda asteroids and their diversity, and the reconnaissance aspect of the mission will be best achieved by visiting typically five Trojans and one Hilda. The proposed strategy consists in a direct trajectory to one of the Trojan swarm. By carefully choosing the aphelion of the orbit (typically 5.3 AU), the trajectory will offer a long arc in the swarm thus maximizing the number of flybys. Initial gravity assists from Venus and Earth will help reducing the cruise to ~7 years as well as the  $V$  needed for injection thus offering enough capacity to navigate among Trojans. This solution further opens the unique possibility to flyby a Hilda asteroid when leaving the Trojan swarm. During the cruise phase, a Main Belt Asteroid could be targeted if requiring a modest  $V$ . The choice of the targets will be investigated during the definition phase and will result from a trade-off between launch window opportunities, available spacecraft resources and science return. Total mission duration of typically ~9 years is anticipated.

Fort intérêt exprimé du côté américain (White Paper soumis au Decadal Survey de la NASA), et étude en cours à la JAXA (avec utilisation d'une voile solaire comme mode de propulsion).

Une étude Phase 0 a été effectuée au CNES. Un atelier de travail a été organisé en juin 2013 à Nice pour faire le point sur les différentes actions au niveau international.

## Niveau de participation

La proposition envisage une mission avec une participation au niveau leader, mais une proposition comme mission d'opportunité n'est pas à exclure selon le contexte international (e.g. une proposition US au programme New Frontiers en 2015 est envisagée et la JAXA étudie une mission pour lancement dans les années 2020).

## Risques

- *crédibilité technologique (TRL)*

Les instruments envisagés bénéficient déjà d'un certain héritage en tant qu'instruments classiques pour une mission vers les petits corps (Rosetta, études Marco Polo et MarcoPolo-R, Dawn etc ...). Les TRL vont de 4 à 9. Une attention particulière devra être apportée pour s'assurer que les instruments sont capables de faire les mesures attendues dans ce contexte spécifique (résolution par rapport à la distance et vitesse des survols des astéroïdes cibles).

- *programmation (coopération, date lancement,...)*

Une proposition pourrait en réponse à l'appel d'offre des missions M4 en 2014 est envisagée.

## Moyens disponibles



Non déterminé.

### **Compétences**

- *technique (héritage)*

Voir section "crédibilité technologique". De plus, le CNES a effectué une étude Phase 0.

- *scientifique*

La communauté française est extrêmement active dans ce domaine; certains modèles de l'origine des Troyens ont été développés en France (e.g. modèle de Nice) et les français sont sollicités par les collaborateurs internationaux pour participer à leurs propositions (e.g. le White Paper soumis au Decadal Survey de la NASA).

### **Enjeux**

- *Impact pour la communauté (avancée scientifique)*

Les avancées scientifiques seront majeures, tant les informations accessibles depuis le sol sur cette population sont limitées, du fait de leur distance. Les Troyens font partie des corps les plus primitifs. La connaissance de leurs propriétés physiques apportera des contraintes fortes sur leur origine et sur l'histoire passée du Système Solaire.

- *Innovation technologique*

Les instruments sont classiques pour ce genre de missions, mais ils devront être optimisés pour le cas spécifique du survol d'objets Troyens afin d'obtenir les informations nécessaires pour atteindre les objectifs scientifiques. Par exemple, si certains objectifs sont de vérifier la présence de glace et de matière organique, il faudra vérifier que le type de survol et la résolution des instruments sont propices à détecter ces éléments.

### **Intérêt du cas scientifique**

Une mission vers les Troyens fait partie des étapes naturelles et nécessaires pour explorer le Système Solaire des régions les moins distantes au plus lointaines, et la diversité des populations des petits corps. De plus, l'existence de la population des Troyens nous fournit des indices sur l'histoire passée du Système Solaire distant, notamment les étapes les plus précoces, et leurs propriétés physiques peuvent nous permettre de vérifier ou d'affiner les scénarios proposés de cette histoire.

### **Actions d'accompagnement, de coordination**

Une étude Phase 0 a été effectuée au CNES. Il serait souhaitable que le CNES assiste les porteurs de la proposition si elle est soumise à l'appel d'offre des missions M4 de l'ESA ou si des partenaires internationaux se manifestent pour embarquer des instruments français.

# URANUS



## Objectifs Scientifiques

Uranus est une des deux planètes géantes glacées de notre système solaire, constitué d'une enveloppe gazeuse d'hydrogène moléculaire d'une masse terrestre environ, et d'un cœur constitué de roches et de glaces de 15 masses terrestres environ. Elle possède un système d'annelets et de nombreux satellites glacés.

La proposition URANUS vise à une exploration en profondeur et systématique du système Uranien. Elle comprend donc de nombreux objectifs sur i) l'atmosphère superficielle et la structure interne de la planète, ii) le champ magnétique et la magnétosphère, iii) le système des anneaux et des satellites, iv) l'origine du système. De plus, la longue phase de croisière permet d'aborder d'autres objectifs sur le vent solaire ou de physique fondamentale sur la gravité à l'échelle du système solaire.

Sur l'atmosphère et la structure interne, l'objectif est de comprendre l'absence de source d'énergie interne alors que les trois autres planètes géantes en possède, et dans ce contexte de comprendre quelle source d'énergie (solaire) est à l'origine de la variabilité météorologique observée. Uranus est aussi un cas unique pour la configuration de son champ magnétique et la dynamique de sa magnétosphère. L'inclinaison de l'axe de rotation de la planète à  $\sim 90^\circ$ , l'inclinaison du dipôle magnétique de  $60^\circ$  par rapport à l'axe de rotation, et son décentrage par rapport au centre de masse, impliquent une origine de la dynamo interne radicalement de celle des autres planètes, et pour l'instant toujours incomprises. Cette configuration donne lieu à une dynamique magnétosphérique également très particulière avec des variations importantes à toutes les échelles de temps, de diurne à saisonnière, qui n'ont pas encore été échantillonnées correctement. Le système d'annelets d'Uranus présente des structures dues potentiellement aux résonances de gravitation mais aussi à des processus d'érosion et d'accrétion encore mal contraints. Les satellites glacés présentent des traces d'activité tectonique et de cryovolcanisme récentes et pourraient, comme Encelade, abriter des océans d'eau liquide sous l'influence des mécanismes de résonance. Enfin, la mesure in situ, des abondances élémentaires dans l'atmosphère d'Uranus, les contraintes sur la structure interne, donneraient de nombreux indices sur les mécanismes de formation de cette planète, et plus généralement des objets du système solaire.

La phase de croisière est idéale pour étudier la variation de la turbulence du vent solaire avec la distance héliosphérique et contraindre les processus de cascades et de dissipation énergétique. La phase de croisière serait aussi idéale pour mesurer avec une sensibilité inégalée l'effet Pioneer, donc un écart par rapport à la théorie de la gravitation à l'échelle du système solaire.

**Contexte de réalisation** (positionnement vis-à-vis d'initiatives similaires aux niveaux national et international)

La mission Uranus est clairement une mission de classe L dans le programme Cosmic Vision de l'ESA, ou une flagship dans le programme NASA. Une classe M dans le programme CV ne permettrait au mieux que d'effectuer un fly-by d'Uranus, ou de participer à une flagship ou Discovery de la NASA.

Deux propositions d'exploration d'Uranus et une pour l'exploration de l'autre géante glacée du système solaire, Neptune, ont été déposées en réponse à l'appel à idées de l'ESA pour les objectifs scientifiques des missions L2/L3. Elles ont été jugées très favorablement, mais n'ont pas été retenues. Les proposant proposeront certainement en M4.

Dans le contexte NASA, le planetary sciences decadal survey a placé la mission Uranus comme troisième priorité en flagship. Cette priorité a été confortée par le Solar and Heliosphere Physics Decadal Survey pour les études des magnétosphères planétaires.

## Niveau de participation

Le niveau de participation du CNES devrait être celui d'une participation type à une mission de classe L ou de classe M, si jamais un niveau de participation type existe. Cela impliquerait une expérience en PI et des contributions en fourniture et scientifique à plusieurs autres instruments.

## Risques

- *crédibilité technologique (TRL)*

Au niveau des instruments scientifiques, hors test de la gravité, il n'y a pas d'innovations technologiques, et la charge utile ressemblera à une charge utile type de mission d'exploration déjà en vol. La crédibilité technologique (TRL) des instruments est donc élevée. Ce n'est pas le cas de l'instrument de test de la relativité en phase de croisière, puisque celui-ci impose une architecture satellite qui lui soit plus ou moins adapté en fonction des performances requises.

Au niveau de la mission et de la plateforme, plusieurs points critiques doivent être étudiés plus avant. Au niveau de la

puissance, en extrapolant les performances des panneaux solaires de Rosetta, il faudrait 400 m<sup>2</sup> de panneaux pour donner 300W, tandis que la filière de Radioisotope Power System (RPS) à l'Americium envisagée par l'ESA a un rendement massique médiocre. La phase de croisière est longue, et la proposition d'utiliser des techniques innovantes de propulsion, mais non éprouvées comme E-SAIL, n'est pas encore crédible. La question de la disponibilité d'un lanceur adapté à l'horizon 2025+ est ouverte. La capsule d'entrée dans l'atmosphère d'Uranus est au moins dans la catégorie des capsules de retour d'échantillon, donc soulève des questions technologiques. Enfin, la mission aura des besoins en compression de données impérieux

- *programmatische (coopération, date lancement,...)*

Voir contexte de réalisation

### **Moyens disponibles**

Les moyens disponibles sont les moyens habituels du CNES et des laboratoires pour une mission de classe M ou L

### **Compétences**

- *technique (héritage)*

Les instruments (hors mesure de la gravité) de la charge utile type d'une mission vers Uranus sont directement des héritages des missions actuelles, telles que la mission JUICE. De plus l'environnement radiatif d'Uranus est moins agressif que celui de Jupiter. Au niveau instrumental, la réalisation semble moins délicate.

- *scientifique*

La mission Uranus est une mission de l'ordre de grandeur de la mission Cassini-Huygens. La très importante participation de la communauté scientifique française, et le très important retour scientifique pour la communauté de cette dernière missions, démontre que la France possède actuellement toutes les compétences pour s'investir activement et bénéficier pleinement d'une mission vers Uranus. Mais certainement aucun des scientifiques en poste actuellement, ne sera actif au moment de l'arrivée à Uranus!

### **Enjeux**

- *Impact pour la communauté (avancée scientifique)*

L'impact d'une mission orbitale autour d'Uranus peut être évalué à partir de l'impact de la mission Cassini-Huygens. A cette aune, il serait considérable! L'exploration en profondeur d'un système aussi complexe devrait se révéler plein de surprises et de découvertes sur un très vaste domaine scientifique.

- *Innovation technologique*

En dehors de l'instrument de mesure de la gravité en phase de croisière il n'y a pas d'instrument scientifique prévu qui demande des innovations technologiques particulières. La charge utile est semblable aux charges utiles type d'autres missions spatiales, comme JUICE ou Cassini. Par contre, le recours proposé à l'e-sail pour accélérer la sonde pendant la croisière et diminuer la durée de celle-ci constitue une innovation technologique majeure dont la faisabilité reste à démontrer. Le déploiement d'antennes d'une vingtaine de long, le maintien de forme sont sans référence actuelle. Ce système pose le problème de son bilan de masse, de la stabilité du spacecraft à des manœuvres en espace profond et nécessite un système de freinage actif et puissant lors de l'arrivée et de l'insertion en orbite. Il n'est pas certain que ce système soit concurrentiel par rapport à la propulsion électrique standard. De plus, son développement uniquement pour la mission Uranus limite son intérêt et son amortissement.

### **Intérêt du cas scientifique**

L'intérêt de l'étude d'Uranus dépasse celle de la planète en elle-même. En effet, Uranus et Neptune, les deux géantes glacées, deviennent avec les découvertes de nombreuses exoplanètes de masse similaire, les archétypes d'un type générique de planètes. L'étude in situ d'Uranus apporterait donc des contraintes importantes pour sur la planète elle-même, mais impacterait l'étude de l'ensemble des exoplanètes de masse et densité comparable, soit plusieurs centaines d'objets.

En ce qui concerne l'étude de la formation du système solaire, il est crucial de pouvoir échantillonner la composition élémentaire de plusieurs classes d'objets (petits corps, planètes telluriques, géantes gazeuses et glacées) pour avoir une vision d'ensemble des processus physiques et chimiques qui se sont déroulés dans la nébuleuse protosolaire.

### **Actions d'accompagnement, de coordination**

Le PASO peut continuer l'évaluation des scénarios de mission qui seront proposés dans le cadre des appels d'offre M4.

# DATATION IN SITU

Mission

Instrument

R&T

## Classe de mission

L

M

Mini

Micro

Cosmic Vision  
CV1  
 CV2

Mission d'Opportunité

Mars

Date de lancement

## Objectifs Scientifiques

L'objectif de cette activité est d'étudier la faisabilité d'un instrument spatialisé qui fournira des datations absolues in situ de roches volcaniques martiennes ou autres. La méthode utilisée réutilise les technologies de deux instruments déjà spatialisés et embarqués sur Mars Science Laboratory : CHEMCAM (technique LIBS – observation par spectrométrie optique des raies d'émission d'un plasma induit par laser) et SAM (technique QMS – spectrométrie de masse). La datation absolue in situ des roches des planètes solides reste l'une des dernières données majeures en géologie qui reste inaccessible aux scientifiques.

Pour dater un échantillon, cette expérience se base sur la datation au potassium-argon, plus précisément sur son couple 40K/40Ar. La période radioactive du 40K étant de 1,25 milliard d'années, cette méthode est appropriée pour mesurer les âges de la surface de Mars. Et contrairement à d'autres méthodes de datation absolue, l'utilisation du K, un élément chimique majeur des roches, facilite l'acquisition d'échantillons. Le spectromètre optique détermine les concentrations en éléments majeurs (détermine la minéralogie) des éléments ionisés par ablation laser (LIBS) et en particulier en potassium pour le calcul de l'âge de la roche. Les gaz issus du volume ablaté, en particulier l'Argon, sont purifiés puis analysés par spectrométrie de masse quadropolaire où il est quantifié. Connaissant la concentration en K, la quantité d'Ar, estimant le volume et la densité du matériel ablaté, il est alors possible de calculer l'âge de l'échantillon.

**Contexte de réalisation** (positionnement vis-à-vis d'initiatives similaires aux niveaux national et international)

Des études similaires existent aux USA et au Japon ; leur niveau d'avancement est similaire à celui de la France.

## Niveau de participation

Il s'agit d'une action de R&T.

Au-delà, un laboratoire "spatial" devra développer l'instrument en vu d'un emport sur une mission.

## Risques

- *crédibilité technologique (TRL)*

Le niveau de TRL est 2-3.

- *programmation (coopération, date lancement,...)*

A l'heure actuelle, il n'existe pas de projets de mission devant embarquer cette expérience.

Les perspectives seraient pour un lancement vers les années 2020.

## Moyens disponibles

Un doctorant vient de passer sa thèse (oct. 2013) sur le sujet. Le dispositif analytique existe au laboratoire IDEs à Orsay.

## Compétences

- *technique (héritage)*

Le laboratoire a des compétences sur la datation K/Ar. Ici les techniques de spectrométrie de masse et de LIBS sont mises en œuvre.

- *scientifique*

sans objet

## Enjeux

- *Impact pour la communauté (avancée scientifique)*

L'enjeu scientifique est très important.

La seule datation actuelle est relative et se fait par comptage de cratère. Une grande incertitude existe sur cette datation.

Au-delà, la datation des roches se fera lors d'un retour d'échantillons mais cette mission est encore très lointaine.

- *Innovation technologique*

## Intérêt du cas scientifique

Suite à la thèse soutenue, le jury a convenu qu'il reste encore beaucoup de travail avant de concevoir une expérience embarquée.

## Actions d'accompagnement, de coordination

# ORBITRAP



## Objectifs Scientifiques

L'objectif de l'instrument Orbitrap est de pouvoir déterminer lors de missions in situ, la composition moléculaire d'un matériau en différenciant les différentes espèces isobariques présentes grâce à un pouvoir de résolution supérieur à 50000.

**Contexte de réalisation** (positionnement vis-à-vis d'initiatives similaires aux niveaux national et international)

Le but est de disposer du cœur de l'orbitrap (trappe ionique Thermo-Fisher, préampli et alimentation HT). Celui-ci pourrait alors être utilisé dans des instruments proposés sur des missions d'opportunité en associant différents front-end permettant l'injection des ions dans le cœur.

ILMA (Ionisation Laser Mass Analyzer) : composition des corps dénués d'atmosphère (astéroïdes, comètes, satellites glacés, Lune,...) par ionisation laser (MPS Lindau) et guide d'ion (R&T CNES)

DOTS : Analyse de poussières cosmiques par impact et guide d'ion (R&T CNES)

SALTOINMS : composition de la haute atmosphère et de la surface de Titan par collecte/ionisation douce et trappe ionique (JPL/Caltech)

ORBIMARS : composition du sol de Mars par une chaîne analytique pyrolyse/GC/ionisation douce et trappe ionique (GSFC)

## Niveau de participation

Consorsium de 5 laboratoires : LPC2E/IPAG/LISA/LATMOS/CSNSM

### Risques

- *crédibilité technologique (TRL)*

Le but est d'atteindre un TRL 5 sur le cœur de l'instrument (trappe ionique Thermo-Fisher, préampli et alimentation HT)

- *programmation (coopération, date lancement,...)*

Développement d'un cœur français et coopération internationale pour le front-end

### Moyens disponibles

Consorsium de 5 laboratoires : LPC2E/IPAG/LISA/LATMOS/CSNSM

### Compétences

- *technique (héritage)*

Les spectromètres de masses mis en œuvre sur la plupart des missions spatiales ont des pouvoirs de résolution limités à 500 pour les quadropoles ce qui ne permet pas de différencier les formules chimiques des composés détectés. Les meilleurs spectromètres atteignent 5000 (i.e., Rosina sur Rosetta) ce qui permet de distinguer des espèces isobariques pour des faibles masses inférieures à 100 uma. Les R&T CNES mises en place depuis 5 ans, permettent d'envisager le développement d'un cœur d'Orbitrap (trappe ionique Thermo-Fisher, préampli et alimentation HT) avec un pouvoir résolvant de 50000 à la masse 500 uma

- *scientifique*

Le consorsium est composé de laboratoire disposant de compétences scientifiques reconnues dans les domaines de la caractérisation de la matière notamment organique par des méthodes séparatives dans un contexte planétologique

### Enjeux

- *Impact pour la communauté (avancée scientifique)*

Disposer d'un pouvoir résolvant de 50000 permettrait d'associer une formule chimique à chaque espèce détectée ce qui permet : de différencier les espèces organiques et minérales ainsi que les isotopes, et de faire l'analyse de mélanges complexes sans séparation en amont et cela jusqu'à des masses de 500 uma. Il faut noter aussi la possibilité d'adapter le pouvoir résolvant en adaptant la fréquence d'acquisition, et aussi de mesurer des ions positifs ou négatifs. Ces possibilités ouvrent la porte de la caractérisation de la matière notamment organique dans un contexte exobiologique.

- *Innovation technologique*

La technologie Orbitrap qui met en œuvre la spectrométrie de masse par transformée de Fourier permet un saut quantitatif en terme de résolution des spectres de masses ainsi que la possibilité d'avoir toutes les masses sur une certaine gamme. En laboratoire les pouvoirs de résolution peuvent atteindre 1 000 000 jusqu'à des masses de 400 uma. L'objectif est de développer un instrument spatial pouvant atteindre des pouvoirs résolvant d'au moins 50000 à la masse 500 uma.

### Intérêt du cas scientifique

### **Actions d'accompagnement, de coordination**

Soutien en R&T du développement des instruments associant le cœur et les front-end. Vol ballon pour la qualification d'un model de vol