

JOURNÉES DU PNP 2018

LIVRE DES ABSTRACTS

Alboussière Thierry

LGL-TPE

Convection naturelle dans une centrifugeuse

Les effets de la pression hydrostatique sont significatifs dans la convection naturelle des intérieurs planétaires et stellaires. Leur modélisation numérique fait généralement intervenir des approximations, dites anélastiques, dans lesquelles on se débarrasse des ondes acoustiques. Il reste à savoir quelles erreurs sont associées à ces approximations. En laboratoire, il est difficile de reproduire les effets de la compressibilité. Nous avons entrepris de les étudier en utilisant un environnement d'hyper-gravité, dans une centrifugeuse de laboratoire. Jusqu'à présent, les expériences ont fonctionné avec une gravité apparente 8000 fois plus forte que la gravité usuelle. Dans une cellule de xénon de 4 cm de long, nous avons observé la mise en place d'un gradient adiabatique dont l'amplitude est d'une dizaine de degrés Celsius. Cette mise en place consiste à éroder la couche de fluide initialement isotherme (donc stratifiée) ce qui provoque un épaissement de la zone convective jusqu'à ce que l'ensemble du gaz soit mis en mouvement. Le flux de chaleur observé est compatible avec les lois classiques de la convection turbulente si l'on considère la différence de température superadiabatique appliquée entre la paroi chaude et le gaz. Les forces de Coriolis sont un effet secondaire inévitable: nous avons pu montrer que les écoulements convectifs sont géostrophiques sans que le flux de chaleur ne semble affecté.

Les perspectives offertes par un environnement d'hyper-gravité sont nombreuses. Dans une version axisymétrique, nous espérons étudier le développement de jets semblables à ceux qui se développent dans l'atmosphère de Jupiter (avec des effets de compressibilité). Avec des niveaux de pression plus élevés (100 bars) nous pourrions étudier la convection en présence de changement de phase: la pluie dans l'atmosphère, la cristallisation des noyaux planétaires ou d'océans de magma sont des exemples de processus que l'on pourra aborder expérimentalement.

Alcaraz Christian

LCP UMR 8000 CNRS - Univ. Paris-Sud et Univ. Paris-Saclay

Etudes expérimentales de réactions ion-molécule pour la chimie des ionosphères planétaires

"C. Romanzin (1,2), R. Thissen (1), A. Lopes (1), B.K. Cunha de Miranda (1), Jan Žabka (3), M. Polášek (3), I. Zymak (3), J.-C. Guillemin (4), A. Cernuto (5), D. Ascenzi (5), F. Linden (6), W. Geppert (6), V. Vuitton (7) et C. Alcaraz (1,2)

(1) LCP, UMR 8000 CNRS – Univ. Paris Sud & Paris-Saclay; (2) Synchrotron SOLEIL, St Aubin; (3) J. Heyrovsky Inst. of Physical Chemistry, Academy of Sciences of the Czech Republic, Prague; (4) Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Rennes, UMR 6226 CNRS – Univ. de Rennes 1; (5) Dpt of Physics, University of Trento, Italie; (6) Physics Dpt and Stockholm University Astrobiology Centre, Stockholm Univ., Sweden; (7) IPAG, Université Grenoble Alpes. Les résultats de la mission Cassini-Huygens ont démontré l'impact de la chimie des cations et des anions non seulement dans l'ionosphère de Titan mais aussi dans son atmosphère via des interactions entre particules chargées et neutres. Notre travail en collaboration avec des groupes tchèques, italiens ou suédois porte sur des études en laboratoire de réactions ion-molécule pour fournir des valeurs absolues de réactivité [1-6]. Le principal instrument utilisé, CERISES, permet la mesure de sections efficaces absolues de réactions de cations et

d'anions en fonction de l'énergie de collision et, pour les cations, en fonction de l'excitation électronique ou vibrationnelle via des études menées au synchrotron SOLEIL.
Les récents développements expérimentaux ont permis l'étude de réactions d'ions atomiques $O+(4S,2D,2P)$ avec le méthane [1], d'ions isomères CH_3CN^+ et CH_2CNH^+ avec l'éthylène [2], d'ions CH_3^+ vibrationnellement ou électroniquement excités avec une série d'hydrocarbures saturés et insaturés en C1-C4 [5-6] ou oxygénés (acide formique et méthanol) et enfin d'anions C_3N^- avec l'acétylène [3].
Remerciements: PNP, CNES, Région Ile de France (DIM ACAV+, projet SitCOMs), Actions COST TD1308, CM1401 et CM1204, Fondation pour la Science Tchèque, RTRA "Triangle de la Physique" (projet GIN), Dpt de Physique de l'Univ. de Trento
[1] B. K. Cunha de Miranda et al, J.Phys.Chem.A 119(23), 6082 (2015)
[2] M. Polášek et al, J.Phys.Chem.A 120(27), 5041 (2016)
[3] C. F. Lindén et al, J.Phys.Chem.A 120(27), 5337 (2016)
[4] C. Romanzin et al, Icarus 268, 242 (2016)
[5] A. Cernuto et al, J.Chem.Phys. 147(15), 154302 (2017)
[6] A. Lopes, Thèse, Univ. Paris-Saclay (2017)"

Aléon Jérôme

Institut de Minéralogie de Physique des Matériaux et de Cosmochimie (MNHN/CNRS)

Thermal history of igneous CAIs and the record of the O isotopic anomaly

"The oldest rocks of the solar system, the igneous Ca-Al-rich inclusions (CAIs) from chondritic meteorites, are characterized by a large range of O isotopic heterogeneity, sampling the whole range between the solar ^{16}O -rich and planetary ^{16}O -depleted compositions. Understanding how and when these objects acquired this isotopic heterogeneity is necessary to constrain the physico-chemical origin of the O isotopic anomaly in the solar system. Using in-situ analyses of coupled isotopic systems and petrographic information tracing specifically the thermal history of these objects is a powerful approach to understand the O isotopic record in CAIs. This approach can notably disentangle if the O isotopic dichotomy was acquired early in the solar system history during a magmatic phase or much later, for instance by solid-state diffusion during fluid-assisted metamorphism on a chondritic asteroid. Here, I will show how the use of (1) evaporation-condensation tracers such as Mg and Si isotopes in a compound CAI having trapped different generations of CAIs during partial melting and (2) igneous crystallization tracers such as TiO_2 content in clinopyroxene in a classical igneous CAI both indicate that the O isotopic composition of the CAI precursors shifted from solar (^{16}O -rich) to planetary (^{16}O -poor) during partial melting. Eventually, the partial melts became subsequently ^{16}O -enriched again by dissolution of ^{16}O -rich components in the ^{16}O -poor melt. In classical CAIs, mass balance calculations indicate that late dissolution of early-crystallized ^{16}O -rich spinel is a likely candidate for this "reverse" isotopic evolution. These observations imply that igneous CAIs witnessed ^{16}O -rich and ^{16}O -poor gases of solar and planetary composition, respectively, during their high temperature crystallization phase, that is within the first 100,000 years of the solar system. This requires an interstellar inheritance of the O isotopic anomaly or an extremely rapid early chemical process at its origin and casts doubts on the production of ^{16}O -poor oxygen by CO self-shielding."

Aléon-Toppani Alice

Institut d'Astrophysique Spatiale/Université Paris-Sud

Fine-grained CAIs at the nanometer scale: discovery of a pristine aggregate of sub- μm condensates

Based on equilibrium thermodynamic calculations, the first solar system solids are believed to have formed by gas-solid condensation from a gas of solar composition. The refractory Ca-Al-rich inclusions (CAIs) from chondritic meteorites, the oldest rocks formed in the solar system, thus formed from high

temperature condensate precursors having experienced a subsequent complex thermal history including multiple reheating events up to partial melting. In that respect, fine-grained CAIs with aggregate nodular textures, are widely believed to be preserved aggregates of early solar system condensates. However, their fine grain size makes them sensitive to secondary modifications by reheating or late fluid circulations on the parent-body. In order to better understand the nature of the first solar system condensates and to confront natural samples with the predictions of thermodynamics, we initiated a Transmission Electron Microscopy (TEM) study of several fine-grained CAIs from the barely metamorphosed reduced CV3 chondrite Efremovka. Here we report the discovery of an unusual fine-grained CAI composed of three different lithologies: (1) a compact extremely fine-grained core, (2) a mantle enriched in volatiles including Fe, Na and Si and (3) local inclusions of classical core-mantle spinel-melilite nodules. The TEM study of several sections prepared by Focused Ion Beam (FIB) of the compact fine-grained core reveals an extremely complex aggregate of 1 to 2 μm nodules presenting the complete condensation sequence from spinel to melilite to diopside. Mineral sizes range from 10 to 200 nm. The nodules are rimmed by a Mg-Si-rich amorphous nm layer. Anorthite is interstitial between the nodules. Euhedral crystals of olivine are interspersed between the nodules. The composition of pyroxene is extremely heterogeneous and varies from almost pure diopside to Ti-Al-rich fassaite at a sub- μm scale. The nodules appear to be unaltered but contain sometimes Fe-rich spinel within μm of Mg-spinel. This mineralogy cannot be explained by any other process than condensation and indicates that the CAI core is the most pristine condensate assemblage reported to date and can be used to shed light on the conditions of condensation. For instance, the condensation of Fe-spinel suggests that the conditions may have been more oxidizing than expected.

Amit Hagay

LPG Nantes

Relating the South Atlantic Anomaly and geomagnetic flux patches

The South Atlantic Anomaly (SAA) is a region of weak geomagnetic field intensity at the Earth's surface, which is commonly attributed to reversed flux patches (RFPs) on the core-mantle boundary (CMB). While the SAA is clearly affected by the reversed flux region below the South Atlantic, we show that the relation between the intensity minimum at Earth's surface and RFPs is not straightforward. We map a field-dependent intensity kernel (Constable, 2007a) to study the relation between the radial geomagnetic field at the CMB and the field intensity at Earth's surface. Synthetic tests highlight the role of specific patches (reversed and normal) in determining the location of the surface intensity minimum and demonstrate that the SAA can indeed be explained by a few intense patches. We show that the level of axial dipolarity of the field determines the stability of the relation between the SAA minimum and RFPs. The present position of the SAA minimum is determined by the interplay among several robust geomagnetic flux patches at the CMB. The longitude of the SAA minimum appears near the longitude of the Patagonia RFP due to the low-latitude normal flux patches (NFPs) near Africa and mid-Atlantic which diminish the effect of the Africa RFPs. The latitude of the SAA minimum is lower than the Patagonia RFP latitude due to the South Pacific high-latitude NFP and the axial dipole effect. The motion of the SAA minimum is explained by the motions and changes in intensity of these robust geomagnetic flux patches. Simple secular variation (SV) scenarios suggest that while the SAA path can be explained by advection, its intensity decrease requires magnetic diffusion. In addition these SV scenarios provide some speculative predictions for the SAA.

Andrault Denis

Laboratoire Magmas et Volcans, Université Clermont Auvergne, CNRS

On the cooling of the early Earth

The giant Moon forming impact (MFI) occurred within the first ~100 My after the Earth's formation. It likely melted the entire Earth's mantle down to the core-mantle boundary. Cooling of the magma ocean (MO) could have been relatively fast, within a few 10 ky. The final situation after this first period of time could be a mushy, relatively viscous, mantle. The possibilities of having a sustained shallow MO at the Earth's surface and some melt trapped between the deep mantle and the core are still open questions. Other major questions remain: (i) what was the core temperature after the initial period of rapid MO solidification? (ii) How much time elapsed before the final mantle crystallization (i.e. from Mushy to solid) and before the temperature profile eventually resembles to a current mantle adiabat? (iii) How large chemical heterogeneities should we expect from these processes?

My collaborators and I are tackling those questions using basic constraints derived from thermodynamics and geodynamics. Our primary tools are experimental determinations of the melting properties and geodynamical modelling. We dedicate a special care to reproduce faithfully the physical and chemical properties prevailing in the deep primitive Earth, both experimentally and for the modelling.

We find that the Earth's core cannot store a lot of heat after the MFI. This is may be a problem to maintain the geodynamo by thermal convection. We also find that after the early crystallization of some bridgmanite, the MO should crystallize from the bottom to the top without a major compositional difference between the solid and the melt (i.e. a crystallization at pseudo-eutectic). This may have limited the chemical segregation during the solidification. Finally, we propose that the final achievement of an adiabatic temperature profile in the mantle could have taken a couple of Gy, possibly up to the Archean to Proterozoic transition.

Andrault Denis

Laboratoire Magmas et Volcans, Université Clermont Auvergne, CNRS

Large oxygen excess in the primitive mantle could be the source of the Great Oxygenation Event

Before the Archean to Proterozoic Transition (APT) the tectonic regime was dominated by microplates floating on a low viscosity mantle. Such a regime restricted chemical exchange between the shallow and deeper mantle reservoirs. After the APT, a more global convection regime led to deep subduction of slabs. We propose that the improved vertical mixing of the mantle favored the release to the Earth's surface of an oxygen excess initially trapped in the deep mantle. This excess built up when the primordial lower mantle was left with a high $Fe^{3+}/(Fe^{2+}+Fe^{3+})$ ratio ($\#Fe^{3+}$), after metallic iron segregated down into the core. Our synchrotron-based in situ experiments suggest a primordial Fe^{3+} excess of ~20 % for the mantle iron. By comparison with the $\#Fe^{3+}$ of the present mantle, this Fe^{3+} excess would correspond to 500–1000 times the O_2 content in the Earth's atmosphere. The tectonic transition greatly facilitated the ascent of oxidized lower mantle material towards the Earth's surface, inducing a continuous arrival of O_2 at the Earth's surface and into the atmosphere.

Augereau Jean-Charles

IPAG

Modélisation et Simulation des Disques de Débris et Exozodiacaux

Les poussières et petits corps autour des autres étoiles sont des marqueurs particulièrement intéressants de la formation et de l'évolution des systèmes planétaires extrasolaires. Ces poussières

accompagnent les étoiles pendant des centaines de millions à des milliards d'années après la formation des planètes. Elles proviennent de violentes collisions réduisant les exo-astéroïdes à l'état de débris, formant de grands anneaux similaires à la ceinture de Kuiper ou la ceinture d'astéroïdes dans le système solaire. Nos images à haute résolution en lumière diffusée avec des instruments performants comme VLT/SPHERE, le HST, et demain le JWST, ou en émission thermique avec ALMA, révèlent des anneaux constitués de poussières froides dénommés "disques de débris". L'évaporation d'exo-comètes proches de l'étoile peut également contribuer à la formation d'une population de poussières très chaudes, dite exo-zodiacales, s'accumulant près de l'étoile, et que nous détectons par interférométrie proche et moyen-infrarouge (VLTI, CHARA). Au cours de cette présentation, je dresserai un bilan de nos récents travaux de modélisation de ces systèmes, avec une attention plus particulière pour le disque de débris autour d'AU Mic observé avec SPHERE, et sur l'origine cométaire des poussières exozodiacales.

Avdellidou Chrysa

ESTEC/ESA-Lagrange/OCA

Hypervelocity impacts on the Moon and in laboratory, towards a new lunar exploration era.

For the last 20 years the lunar surface has been monitored in order to detect flashes, indicating impacts of near-Earth objects. During an impact event the kinetic energy of the impactor is partitioned to the kinetic energy of ejecta, the luminous energy, the excavation of the crater, the phase transformation of the materials etc. Masses and sizes were calculated by assuming the temperatures of flashes on which the estimation of the luminous energy is based on. In this work, we made a step forward. By using for a first time simultaneous telescopic observations in different wavelengths, we measured directly the temperatures of the flashes. This showed that they do not follow a normal distribution as previously thought and therefore this leads to a more accurate estimation of masses and sizes. An anti-correlation of temperature and mass is observed which may differ for different material densities. Moreover, the study of the flashes with long duration, together with any material density dependence, may reveal currently unknown information for the evolution of the events and the role of speed and material. A new observational survey is starting in France, combining forces of Laboratoire Lagrange and Geazur, using telescope premises of Calern. The latter is the input idea of our laboratory hypervelocity experiments, where we reproduce impacts in small scales. Our study focuses on the difficult problem of energy partitioning during an impact event. Lunar and asteroidal simulants in regolith and solid form are impacted by different projectiles in different speeds. The flash is recorded in ten different wavelengths with very high time resolution. Several stages are revealed showing the complexity of the phenomenon. Our work finds implications, apart from the theoretical study of the impacts per se, to space exploration and protection of our space assets. It is used as an input in the development of the LUMIO cubesat which is going to survey the lunar farside, including the currently observationally unexplored, permanently shadowed regions, hunting for impact flashes. Impacts are hazardous, energetic events and the understanding of their effect on lunar and man-made materials serves the Lunar Situation Awareness, while it is of paramount importance for large space exploration projects (such as ESA's PROSPECT etc).

In collaboration with: M.Price/M.Cole(Kent), E.Sefton-Nash(ESTEC/ESA), C.Ganino/A.Fienga/N.Maurice/M.Wieczorek(OCA), S.Bouley(Paris-Sud11)

Beaulieu Jean-Philippe

IAP

Accurate Mass Measurements for Planetary Microlensing Events Using High Angular Resolution Observations

The microlensing technique is a unique method to hunt for cold planets over a range of mass and separation, orbiting all varieties of host stars in the disk of our galaxy. It provides precise mass-ratio and projected separations in units of the Einstein ring radius. In order to obtain the physical parameters (mass, distance, orbital separation) of the system, it is necessary to combine the result of light curve modeling with lens mass-distance relations and/or perform a Bayesian analysis with a galactic model. A first mass-distance relation could be obtained from a constraint on the Einstein ring radius if the crossing time of the source over the caustic is measured. It could then be supplemented by secondary constraints such as parallax measurements, ideally by using coinciding ground and space-born observations. These are still subject to degeneracies, like the orbital motion of the lens. A third mass-distance relation can be obtained thanks to constraints on the lens luminosity using high angular resolution observations with 8 m class telescopes or the Hubble Space Telescope. The latter route, although quite inexpensive in telescope time is very effective. If we have to rely heavily on Bayesian analysis and limited constraints on mass-distance relations, the physical parameters are determined to 30–40% typically. In a handful of cases, ground-space parallax is a powerful route to get stronger constraint on masses. High angular resolution observations will be able to constrain the luminosity of the lenses in the majority of the cases, and in favorable circumstances it is possible to derive physical parameters to 10% or better. Moreover, these constraints will be obtained in most of the planets to be discovered by the Euclid and WFIRST satellites. We describe here the state-of-the-art approaches to measure lens masses and distances with an emphasis on high angular resolution observations. We will discuss the challenges, recent results and perspectives.

Belgacem Ines

Université Paris Sud / GEOPS

Etude photométrique d'Europe avec le modèle de Hapke

Dans le contexte de la mission future mission JUICE (JUperiter ICy moons Explorer) de l'ESA (Agence Spatiale Européenne) et du système de navigation basée vision de la sonde, nous cherchons à contraindre le modèle de réflectance des lunes glacées de Jupiter. Le travail présenté ici se focalise sur Europe et les données de l'instrument LORRI de la sonde New Horizons que l'on tente de décrire avec le modèle photométrique de Hapke. Avant toute chose, il est essentiel de corriger les métadonnées associées aux images. Nous avons corrigé les données de pointage de l'instrument ainsi que de légères imprécisions sur l'attitude de la lune en comparant les images réelles à des images simulées. Une fois les images corrigées, les paramètres du modèle de Hapke ont été estimés en utilisant une approche bayésienne qui a déjà fait ses preuves à l'occasion d'une étude similaire sur Mars. Aucune connaissance a priori n'a été supposée en dehors du domaine physique de chacun des paramètres. Nous avons utilisé un algorithme de Monte Carlo avec Chaines de Markov (MCMC) pour échantillonner la densité de probabilité (PDF) de la solution a posteriori. Nous avons montré qu'il était possible de contraindre localement les paramètres de Hapke sur des régions d'intérêt d'Europe et qu'ils pouvaient être relativement différents d'une zone à l'autre selon les paramètres. L'albédo de diffusion simple semble assez homogène sur les neuf zones étudiées contrairement aux paramètres d'asymétrie et à la rugosité macroscopique. Nous ne pouvons pas tirer de conclusion concernant l'effet d'opposition car nous ne disposons pas de données en deçà de 20° de phase. Nous avons, cependant, aussi mis en évidence

les limites de notre étude en particulier concernant le manque d'un jeu de données plus fourni. Nous espérons y remédier en incluant dans un futur proche les données d'autres missions passées comme celles des sondes Voyager. Nous voulons aussi tester d'autres modèles de réflectance pour trouver celui qui décrira le mieux les données à notre disposition. \n\nAu terme de cette étude, nous nous focaliserons sur les deux autres lunes glacées de Jupiter Ganymède et Callisto.

Biver Nicolas

LESIA, Observatoire de Paris

Diversité des comètes : des comètes riches en molécules organiques complexes à celles dominées par les super-volatiles CO et N₂

N. Biver, D. Bockelée-Morvan, R. Moreno, G. Paubert, J. Crovisier, P. Colom, J. Boissier et al. + contributions d'astronomes amateurs (cf site web lesia.obspm.fr/comets/)\n\nDe 2015 à 2018, sept nouvelles comètes sont venues compléter notre échantillon de comètes étudiées (essentiellement avec les radiotélescopes de l'IRAM) pour comprendre l'origine et la diversité de composition des comètes. L'apparition de la comète C/2014 Q2 (Lovejoy) en janvier 2015 a permis les premières détections de l'éthanol et du glycoladehyde (Biver et al. Science Adv. 2015) ainsi que la mesure de l'abondance de plus de 20 autres molécules dans une comète. Début 2018 la comète C/2016 R2 (PanSTARRS) est venue nous montrer que l'échantillon des comètes dont nous disposons est encore loin d'être représentatif : celle-ci s'est révélée être beaucoup plus riche en CO et N₂, et appauvrie en HCN et espèces soufrées en comparaison de toutes les autres comètes observées à des distances similaires du Soleil (Biver et al. 2018, soumis à A&A). Nous ferons le point sur notre connaissance de la diversité des compositions moléculaires des comètes et son implication sur leur formation.

Biver Nicolas

LESIA, Observatoire de Paris

L'évolution du dégazage et des abondances moléculaires dans la comète 67P vue par MIRO (Poster?)

Nicolas Biver, G. Beaudin, D.Bockelée-Morvan, J.Crovisier, E.Lellouch, C. Leyrat, P. Encrenaz, T. Encrenaz, M. Hofstader et l'équipe MIRO\n\nDe juillet 2014 à septembre 2016, le radiotélescope submillimétrique MIRO de la sonde Rosetta a suivi l'activité de la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko via huit transitions rotationnelles moléculaires\nautour de 560 GHz (H₂O, H₂18O, H₂17O, CO, NH₃ et trois raies de CH₃OH.L'analyse d'une centaine de cartes de la coma interne obtenues entre 10 et 1000 km de distance a permis de caractériser la géométrie du dégazage,l'évolution locale et globale des abondances moléculaires et la quantité totale de gaz perdue au cours de ce passage au périhélie de la comète.

Blichert-Toft Janne

Laboratoire de Géologie de Lyon, CNRS UMR 5276, Ecole Normale Supérieure de Lyon

The isotopic testimony of komatiites to the origin and residence time of mantle heterogeneities in the early Earth

While the heterogeneous nature of the terrestrial mantle has long been established, its origins and the mixing time scales of the mantle are not well constrained. Some of the chemical heterogeneities may

have been primordial, reflecting accretion and/or magma ocean crystallization processes, while others may have resulted from processes associated with the dynamic regime of the planet, such as crust extraction from the mantle over geological time and the recycling of some of these crustal materials back into the mantle, in some cases followed by prolonged storage at depth. Yet others may be due to secular cooling of the planet affecting the melting process through time. In order to shed new light on the origin and evolution of terrestrial mantle heterogeneities and better understand the geodynamic processes that operated in the early Earth, we collected $^{142}\text{Nd}/^{143}\text{Nd}$ and $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ data on komatiite–basalt systems worldwide ranging in age from 3.6 to 0.09 Ga and combined them with existing ^{182}W data. The data for late Archean and younger komatiite–basalt systems all fall on the terrestrial evolution curve in time-integrated source $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ – $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ space. In contrast, all so-far studied early Archean komatiite–basalt systems plot well above the evolution curve owing to elevated time-integrated Lu/Hf at a given Sm/Nd, also seen as high $\epsilon^{176}\text{Hf}(T)$ relative to the corresponding $\epsilon^{143}\text{Nd}(T)$. This feature most likely is due to derivation of these komatiite systems from the differentiation products of a primordial magma ocean. A striking systematic decrease in the time-integrated Sm/Nd and Lu/Hf ratios of komatiite sources during the Archean and Proterozoic further indicates gradual back-mixing, on a timescale of a couple billion years, into the deep mantle of a putative early enriched reservoir likely formed during the primordial differentiation of the planet. This relatively slow mixing time is consistent with that of ~ 1.8 Ga inferred from the extinct radioactivities ^{142}Nd and ^{182}W in Eoarchean, Archean, and Proterozoic rocks. Additionally, combined Hf–Nd isotopic evidence for the presence of deep-sea pelagic sediments in the presumably deep mantle source of 3.5 Ga komatiites potentially has wide implications for the understanding of plate tectonics and crust–mantle interaction in the early Earth and places a minimum constraint on the timing of onset of plate tectonics.

Boisse Isabelle & Hébrard Guillaume

LAM/IAP

Apport de SOPHIE à l'exoplanétologie : bilan des 4 dernières années et upgrade en cours

SOPHIE est le spectrographe à haute résolution et haute précision installé depuis 2006 au télescope de 1.93m de l'OHP en remplacement d'ELODIE. Spécialisé dans la caractérisation et la découverte de planètes extrasolaires, sa haute couverture spectrale, sa précision en vitesse radiale et sa disponibilité en font un instrument qui a un impact international. Je souhaite résumer les différentes contributions de SOPHIE à l'exoplanétologie de ces 4 dernières années, ainsi que de présenter les améliorations qui sont en cours (SOPHIE-red) : extension de la couverture spectrale vers le rouge, et une meilleure transmission et précision en vitesse radiale pour les étoiles de magnitude plus élevées.

Boisse Isabelle

LAM

HIRES à l'ELT: recherche de biosignatures dans les exoplanètes rocheuses

Les objectifs scientifiques qui ont soutenus la proposition de construction de l'ELT étaient la détection de signatures de vie dans des exoplanètes semblables à la Terre et la détection directe de la ré-accelération cosmique. HIRES est un spectrographe à haute résolution dans le domaine optique et infrarouge pour l'ELT, qui a pour ambition de répondre à ces deux questions. Particulièrement, les exoplanétologues français sont enthousiaste par sa capacité à caractériser l'atmosphère d'exoplanètes rocheuses dans la zone habitable d'étoiles de type solaire. Je souhaite présenter les résultats de l'étude de phase A, qui vient d'être par un consortium de 30 instituts de 12 pays formant une équipe d'environ

200 scientifiques et ingénieurs. Et le plan pour la phase B jusqu'à la construction, en mettant particulièrement en lumière les implications techniques et scientifiques françaises.

Boissinot Alexandre

Laboratoire de Météorologie Dynamique

Modélisation de la dynamique atmosphérique de Jupiter

La dynamique atmosphérique de Jupiter est caractérisée aux grandes échelles par la présence de courant-jets alternativement progrades et rétrogrades dont les vitesses (comptées positivement vers l'est) sont comprises entre -60 et 150 m/s pour les plus rapides mais généralement entre -20 et 50 m/s. De plus, la mission Juno actuellement en cours a permis de montrer que le régime des vents change radicalement au-delà d'une certaine latitude pour devenir turbulent près des pôles. Pour expliquer ces observations, il existe deux principaux types de modèles : les modèles profonds et les modèles de surface. Dans les deux cas les jets sont le résultat d'une cascade inverse due à la rotation rapide de la planète qui transfère l'énergie depuis les tourbillons de petite échelle vers les grandes échelles. La différence réside dans la source des instabilités. Pour les modèles de surface, il s'agit d'instabilités baroclines ou convectives. C'est ce point de vue que nous adoptons. Le modèle que nous utilisons est un modèle global de climat (GCM) développé au LMD pour l'étude de l'atmosphère des géantes gazeuses. Il est composé du cœur dynamique DYNAMICO, qui résout les équations primitives de l'atmosphère, et d'un ensemble de paramétrisations des processus physiques non résolus explicitement. Le cœur dynamique a été choisi pour sa bonne « scalabilité », notamment grâce à sa grille icosaédrique, nécessaire pour simuler en un temps raisonnable et avec une résolution suffisante l'atmosphère de Jupiter. La principale paramétrisation physique est le module de transfert radiatif, basé sur la méthode des k-distributions et prenant en compte la présence de méthane, d'éthane, d'acétylène et les dipôles induits par collision H-H et He-H. Dans les simulations à haute résolution réalisées (0,5 degré en longitude et en latitude), on observe des jets alternativement progrades et rétrogrades dont les vitesses sont du bon ordre de grandeur. Cependant ces jets ne sont pas assez nombreux et il n'y a pas de superrotation équatoriale. Cela peut-être dû à une résolution insuffisante, qui nous prive des plus petits tourbillons alimentant la cascade inverse, ou encore à l'absence de paramétrisation réaliste de la convection. Les simulations et l'étude des points de divergences avec les observations de Jupiter seront discutés en détail pendant la conférence.

Bonnefoy Lea

LESIA/LATMOS

Dioné et Rhéa : similaires en visible, différents aux micro-ondes

"Parmi les satellites glacés de Saturne, Dioné et Rhéa se distinguent par la similarité de leurs surfaces dans le visible. En effet, malgré des tailles (1100 vs 1500 km) et des distances à Saturne différentes (380 000 vs 527 000 km), toutes deux ont une face avant brillante et une face arrière sombre entrecoupées de longues fractures. Dans le domaine micro-onde cette similarité disparaît. Le Radar/radiomètre à bord de la sonde Cassini (opérant à une longueur d'onde de 2.2 cm), d'abord conçu pour ausculter la proche surface de Titan, a observé occasionnellement Dioné et Rhéa. Sondant probablement entre plusieurs dizaines de centimètres et plusieurs mètres sous la surface, il est le seul instrument de Cassini capable de nous renseigner sur la structure et la composition de leur proche sous-sol. La comparaison des observations micro-ondes du Radar avec les résultats obtenus dans le visible (ISS) mais aussi dans l'infrarouge (VIMS) et le sub-millimétrique (CIRS) permet de contraindre la profondeur de certaines anomalies et, ce faisant, aide à reconstruire l'histoire de ces satellites. Sur Dioné, les données

Radar/radiométriques de Cassini s'accordent avec celles du visible : la face avant est plus brillante que la face arrière, ce qui peut s'expliquer soit par le dépôt de particules brillantes de l'anneau E (alimenté par les geysers d'Encelade) sur la face avant, soit par le dépôt de particules sombres de l'anneau de Phoebe sur la face arrière, soit par une activité géologique récente sur la face avant. Sur Rhéa, en revanche, les observations micro-ondes sont à l'inverse de celles optiques ; c'est la face arrière qui est la plus brillante sur les données Radar. De plus, Rhéa est plus brillante en Radar que Dioné, ce qui s'oppose à la tendance générale montrant une décroissance de l'albédo radar avec la distance à l'anneau E. Enfin, le cratère Inktomi, sur Rhéa, montre un albédo radar particulièrement élevé et une émissivité faible, probablement dus à la pureté de la glace d'eau exposée dans ce cratère récent. Pourtant le cratère Creusa sur Dioné, d'un âge comparable, n'est a priori pas corrélé à une anomalie radar ou thermique. Toutes ces contradictions témoignent d'histoires et d'évolutions distinctes entre ces deux lunes de Saturne ; nous discuterons de leurs possibles implications."

Bonnin Mickaël

LPG

Upper-mantle deformation beneath the Pyrenean domain inferred from SKS splitting in northern Spain and southern France

"We performed shear wave splitting analysis on 203 permanent (French RLPB, CEA and Catalonia) and temporary (PYROPE and IberArray experiments) broad-band stations around the Pyrenees. These measurements considerably enhance the spatial resolution and coverage of seismic anisotropy in that region. In particular, we characterize with different shear wave splitting analysis methods the small-scale variations of splitting parameters ϕ and δt along three dense transects crossing the western and central Pyrenees with an interstation spacing of about 7 km. While we find a relatively coherent seismic anisotropy pattern in the Pyrenean domain, we observe abrupt changes of splitting parameters in the Aquitaine Basin and delay times along the Pyrenees. We moreover observe coherent fast directions despite complex lithospheric structures in Iberia and the Massif Central. This suggests that two main sources of anisotropy are required to interpret seismic anisotropy in this region: (i) lithospheric fabrics in the Aquitaine Basin (probably frozen-in Hercynian anisotropy) and in the Pyrenees (early and late Pyrenean dynamics); (ii) asthenospheric mantle flow beneath the entire region (imprint of the western Mediterranean dynamics since the Oligocene)."

Boué Gwenaël

Sorbonne Université / IMCCE

Modélisation de la rotation des satellites de glace et application aux exoplanètes

La dynamique de rotation des Terres et Super-Terres est un élément clef de leur évolution physique. Celle-ci affecte non seulement le climat à leur surface mais aussi la quantité d'énergie produite par effet de marée. En effet, la plupart des exoplanètes rocheuses détectées orbitent très près de leur étoile et sont sujettes à de fortes dissipations. De plus, la majorité d'entre elles se trouvent dans des systèmes multiples où les excentricités et inclinaisons mutuelles non nulles perturbent leur rotation. Jusqu'à récemment, les études des déformations des exoplanètes reposaient sur des modèles de marée très simplifiés. Ces dernières années des modèles de rhéologie plus réalistes ont été introduits mais les planètes sont toujours essentiellement décrites comme des corps homogènes. Or il est raisonnable de

penser que ceux-ci sont stratifiés avec une alternance de couches fluides, élastiques ou viscoélastiques. Ce type de structure interne enrichie la dynamique de rotation mais nécessite un formalisme mathématique adapté et efficace pour espérer explorer un grand volume d'espace de paramètre et ainsi palier notre faible connaissance de l'intérieur des exoplanètes.

Dans notre système solaire, plusieurs corps glacés possèdent un océan sous leur surface séparant un intérieur rigide d'une coquille élastique. Certains d'entre eux ont été étudiés avec précision grâce aux missions spatiales. Cela permet notamment de tester les modèles de rotation avec les observations. Dans le cas de Titan, par exemple, la présence de l'océan est justifiée par son obliquité de 0.3 degrés qui a été mesurée par la mission Cassini. En effet, cette valeur ne peut pas être reproduite sous l'hypothèse d'un corps entièrement rigide. L'étude fine de la rotation et de la déformation des corps stratifiés requière en principe l'utilisation des outils de la mécanique des milieux continus. Mais cela implique la résolution d'équations aux dérivées partielles sollicitant de nombreuses heures de calcul.

Dans ce travail, je présenterai un modèle multi-couche basé sur un formalisme Lagrangien ne possédant qu'un nombre fini de degrés de liberté paramétrisant les déformations de chacune des interfaces entre les couches adjacentes. Ce modèle sera confronté aux observations de Titan et aux résultats de simulations numériques. Enfin, l'application aux exoplanètes sera discutée.

Bouhifd Mohamed Ali

Laboratoire Magmas et Volcans / CNRS UMR 6524

Comportement de l'hydrogène lors de la formation du noyau terrestre : Etude Expérimentale

Notre planète est née il y a environ 4,5 milliards d'années dans la nébuleuse solaire où l'hydrogène était dominant. De plus, la formation d'un noyau riche en fer constitue un événement majeur dans l'évolution de la Terre au cours des 100 premiers millions d'années. Nous avons reproduit en laboratoire les conditions ayant régné lors de la formation du noyau en présence de l'hydrogène. Des échantillons, typiques du manteau et du noyau primitifs ont pu être synthétisés à partir d'un mélange de métal et de silicate, en utilisant les presses multi-enclumes (LMV).

Les concentrations en hydrogène dans le silicate et dans le métal de ces échantillons microscopiques ont été déterminées à l'aide de la microsonde nucléaire (CEA - Saclay). Ces analyses montrent que le partage de l'hydrogène entre le métal et le silicate est deux fois moins important que reporté dans les études précédentes, et est de l'ordre de 2×10^{-1} . En se basant sur les estimations de l'abondance en hydrogène lors de la formation du noyau terrestre, nous avons conclu que la concentration de l'hydrogène dans le noyau terrestre serait inférieure à 60 ppm (partie par million), ce qui ferait de lui un élément léger non important du noyau terrestre.

Dans cette présentation, nous allons discuter nos résultats les plus récents sur le partage métal-silicate de l'hydrogène (Clesi et al. 2018). Nous allons aussi discuter l'influence de H₂O sur le comportement des éléments sidérophiles (Ni, Co, Cr, V, Mn et Fe) lors de la formation du noyau (Clesi et al, 2016). Nous développerons par la suite les contraintes apportées sur les modèles géochimiques.

Références

Clesi V., Bouhifd M.A., Bolfan-Casanova N., Manthilake G., Fabrizio A. and Andraut D. (2016) Effect of water on the metal-silicate partitioning of Ni, Co, Cr, V, Mn and Fe: Implications for the oxidation state of the Earth and Mars. Geochim. Cosmochim. Acta. 192, 97-121.

Clesi V., Bouhifd M.A., Bolfan-Casanova N., Manthilake G., Schiavi F., Raepsaet C., Bureau H., Khodja H. and Andraut D. (2018) Low hydrogen contents in the cores of terrestrial planets. Science Advances 4, e1701876.

Bouley Sylvain

GEOPS

Tharsis, un volcanisme tardif extrême

La planète Mars a basculé de 20 à 25 degrés voici 3 à 3,5 milliards d'années. Et c'est un vaste édifice volcanique, le plus grand du Système solaire, qui en est la cause. Par sa masse hors du commun, le dôme volcanique de Tharsis a entraîné un basculement de Mars par rapport à son axe de rotation. Ce changement radical renouvelle de façon profonde l'histoire primitive de Mars et les liens entre dynamique interne, activité volcanique, tectonique et évolution climatique. Ce dôme a déformé la croûte martienne et a entraîné le basculement de la planète pour s'aligner sur l'équateur. L'histoire du dôme de Tharsis est aujourd'hui mal connue et une grande partie de la communauté scientifique considère qu'il s'est formé très tôt dans l'histoire de Mars (>3.8 Ga). Pourtant, le timing du basculement ainsi que les déformations tectoniques associées à la formation du dôme indiquent que Tharsis s'est développé tardivement durant la période hespérienne (3.7-3.2 Ga) à une époque où un climat froid dominait et où les réseaux de vallées fluviales puis les vallées de débâcle se mettaient en place.

BOUQUETY Axel

GEOPS Université Paris Saclay/Paris sud 11

Morphometrics evidences of glacial landforms in martian highlands: South of Terra Sabaea

La vision du climat chaud et humide au Noachien-Hésérien est aujourd'hui remise en question, en effet depuis quelques années des études de géodynamiques planétaires et des modélisations climatiques tendent vers un nouveau modèle plus froid. C'est pourquoi une étude morphométrique des vallées martiennes anciennes est nécessaire. Il est donc question d'identifier des modèles du cortège glaciaire par une méthodologie novatrice et rigoureuse de comparaison Terre/Mars et Mars/Mars afin d'identifier des héritages morpho-climatiques. Pour y parvenir nous allons répondre à ces questions: (1) déterminer si des réseaux de vallées martiennes anciennes (3.7 Ga) ont des caractéristiques morphométriques similaires aux vallées glaciaires qui témoigneraient d'une activité glaciaire ancienne. (2) Définir le type de glacier à leur origine, à savoir à base froide ou base chaude. (3) Reconstruire le paléo-environnement froid (type de glace, altitude et température de stabilité de la glace, distribution géographique, contexte géologique et climatique...)

Bourgalais Jérémy

LATMOS

First Ion Insights during Titan's Ionosphere Relevant Gas Mixture EUV Irradiation

The arrival of the Cassini-Huygens spacecraft led to the discovery of an unexpected efficient organic chemistry, including very heavy ionic species in the Titan's thermosphere. It showed that large condensable molecules are formed in the upper region of the moon where the flux of photons partly initiate chemical reactions. The photochemistry of CH₄ is one of the dominant chemical processes, but the large amount of N₂ is believed to significantly change the subsequent chemistry. However, even if the chemical growth in the atmosphere is believed to occur through the chemical coupling of radicals and reactive charged species (ionic species and electrons) the complexity of the chemistry is far from

being understood. Numerous laboratory studies investigated the gas phase products in the atmosphere of Titan through irradiation of N₂/CH₄ mixtures by using a variety of energy sources (e.g., laser induced plasma, electrical discharge, UV lamps or synchrotron). However, those sources, despite synchrotron beamline, allow to work only above 110nm. There is only one EUV synchrotron radiation study on N₂/CH₄ gas mixture. They have shown that the presence of the dominant nitrogen species in the gas mixture (ca. 95%) enhances the formation of unsaturated hydrocarbons (e.g., benzene, toluene) at wavelength below 80nm. However, they were not able to look at ions to validate their mechanism assumption. Accordingly, here we present a series of EUV Titan's atmosphere simulation experiments. We irradiated at 73.6nm different gas mixtures (N₂/CH₄ & He/CH₄) in the APSIS (Atmospheric Photochemistry Simulated by Synchrotron) reactor recently developed in the LATMOS laboratory. The wavelength is obtained by using a surfatron-type discharge with a neon gas flow in the mbar pressure range coupled to the photochemical APSIS reactor. This experimental setup designed to carry research on planetary atmospheres allow in situ mass spectrometry analysis of the neutral and ionic species produced in the APSIS reactor. Our work aims at corroborating the major role played by the photoionization of nitrogen in the formation of complex organic molecules by monitoring ion EUV photoproducts. This work constraints the detailed chemical mechanisms by bringing for the first time information about ionic species formed in nitrogen-dominated atmospheres by EUV irradiation. This work is important to reduce the sources of uncertainty and/or bias in the model predictions of Titan's ionosphere.

Bourgeois Olivier

Laboratoire de Planétologie et Géodynamique (CNRS / Université de Nantes)

Cristallisation de sels par sublimation de glace : exemples planétologiques et expérimentations

"Les sels (sulfates, chlorures, nitrates, carbonates,...) sont courants sur les corps planétaires. Ils sont généralement considérés, sur Terre comme ailleurs, comme des témoins de paléoclimats chauds et secs et de la présence d'eau liquide car on considère traditionnellement qu'ils se forment par évaporation (évaporites). Ce processus est effectivement le cas le plus fréquent sur Terre. Cependant, on a observé des accumulations de sels en périphérie immédiate de la calotte nord martienne et de glaciers tropicaux terrestres, dont l'ablation se fait par sublimation, en climat froid et très sec, sans présence d'eau liquide. Même si la formation de sels par sublimation reste un phénomène très rare sur Terre, notre but est de déterminer si elle peut être un processus majeur pour générer des accumulations de sels à la surface des corps planétaires où l'ablation de la glace est dominée par la sublimation : c'est le cas par exemple sur Mars (Massé et al., 2010, 2012), Cérés (Nathues et al., 2016), les lunes glacées de Saturne et Jupiter (Dalton et al., 2010 ; Hand & Carlson, 2015), et les comètes (Keller et al., 2015). Notre démarche consiste à croiser deux approches : la caractérisation fine des minéraux naturels accumulés par sublimation des glaciers terrestres, et la modélisation expérimentale. Nous proposons d'appeler ces sels des "sublimes"."

Boyet Maud

LMV/CNRS/Université Clermont Auvergne

Quels types de matériaux planétaires ont formé la Terre ? Le débat autour du système 146Sm-142Nd

"Les chondrites à enstatite (EC) sont les plus proches de la Terre pour la plupart des abondances isotopiques mais des différences sont détectées en Nd, Mo et Ru (Dauphas, 2017). En 142Nd les EC sont les plus proches de la valeur terrestre mais elles ont un déficit moyen de -10 ppm par rapport aux roches terrestres modernes (Gannoun et al., 2011 ; Bouvier et Boyet 2016 ; Burkhardt et al., 2016). En examinant les résultats plus en détail, il ressort que les échantillons non équilibrés du sous-groupe des EL (EL3) sont similaires aux roches terrestres modernes ($\mu^{142}\text{Nd} = -0.8 \pm 7.0$, 2SD). Ainsi nous proposons que ces objets représentent les briques élémentaires ayant formées la Terre. Sur la base des mesures isotopiques en Mo et Ru, il avait été proposé qu'aucun groupe de chondrites ne puisse correspondre aux briques élémentaires de la Terre. A ce jour aucune analyse de Mo n'existe sur les EL3 et le seul échantillon analysé en Ru a une composition similaire à celle de la Terre alors que les autres montrent un déficit (Fischer-Gödde et Kleine, 2017). Les EC se sont formées dans des conditions très réduites ($f\text{O}_2 = 1\text{W}-4$). Dans ces conditions, les terres rares sont majoritairement concentrées dans les sulfures de calcium (oldhamite). Puisque cette phase est très soluble, il est nécessaire de mesurer des météorites non altérées. Dans la littérature les chondrites à enstatite de type EL mesurées sont en majorité des objets équilibrés (type EL6). Ces chondrites montrent des spectres de REE fractionnés avec un appauvrissement des éléments les plus incompatibles. Les compositions chimiques des chondrites de type EL ne doivent pas être établies sur la base des moyennes des échantillons équilibrés. Ces nouveaux résultats éliminent la nécessité de modifier la composition silicatée de la Terre dans les premiers 30 Ma son histoire (Boyet et Carlson 2005). Un problème persiste néanmoins pour réconcilier ces similarités isotopiques avec la composition en éléments majeurs des EC qui diffère nettement de celle du manteau supérieur terrestre (e.g., Mg/Si, Al/Si). Bouvier, Boyet (2016) Nature 537 ; Boyet, Carlson (2005) Science 309 ; Burkhardt et al. (2016) Nature 537 ; Dauphas (2017) Nature 541 ; Fischer-Gödde, Kleine (2017) Nature 541 ; Gannoun et al. (2011) PNAS 108."

Brunetto Rosario

IAS, CNRS, Orsay

Irradiation of meteorites: decoding space weathering on low albedo asteroids

Space weathering (SpWe) processes such as micrometeorite bombardment or solar wind ion irradiation produce changes on the surface of airless bodies, impeding us to decipher their composition from their spectra. This effect has been widely studied for the case of the Moon and S-type asteroids and is now investigated for primitive asteroids [1]. In order to understand the influence of SpWe on carbonaceous materials and to support current sample return missions (Hayabusa2/JAXA and OSIRIS-REx/NASA), we performed 40 keV He+ and Ar+ ion irradiation of carbonaceous chondrites (CCs) as a simulation of solar wind irradiation of C-complex asteroids. We used reflectance spectroscopy (0.4-16 μm) to probe our samples. We studied several types of CCs [2-4] as they span a wide range of albedos (from 2-5% for CI/CM to 15-18% for CV/CO), initial composition (matrix- or chondrules-rich) and did not suffer the same thermal history (aqueous alteration or metamorphism). We proposed new insights on the effects of SpWe on low albedo asteroids based on these experiments. Micro-reflectance spectra were also acquired (2.5-12 μm) using a spot size of 20 μm and scanning large areas (from mm² to cm²) of the samples (13 mm diameter pellets), both on virgin and irradiated areas [5]. Compositional heterogeneity of the pristine materials and irradiation effects were compared to each other as a function of the

irradiation dose, to determine which spectral features are more sensitive to SpWe. Results were then compared with the IR spectral capabilities of instruments onboard Hayabusa2 and OSIRIS-REx, to provide these missions with spectral criteria on how to distinguish SpWe from compositional heterogeneity effects at the asteroid, and in view of surface selection for sample return.

[1] Brunetto, R., et al., in Asteroids IV, 597-616, 2015. [2] Brunetto, R., et al., Icarus, Vol. 237, 278-292, 2014. [3] Lantz, C., et al., A&A 577, A41, 2015. [4] Lantz, C., et al., Icarus, 285, 43-57, 2017. [5] Brunetto, R., et al., PSS, 2018 in press.

Acknowledgements
We thank teams at IAS, SOLEIL, CSNSM, LESIA and IPAG for valuable support, help and discussion. The micro-spectroscopy activities were supported by grants from Région Ile-de-France (DIM-ACAV) and SOLEIL. The irradiations were performed using the INGMAR setup, a joint IAS-CSNSM (Orsay, France) facility funded by the Programme National de Planétologie (PNP) and by the P2IO LabEx (ANR-10-LABX-0038).

CALVET Marie

IRAP, Université de Toulouse

Shape preferred orientation of iron grains compatible with Earth's uppermost inner core hemisphericity

Constraining the possible patterns of iron fabrics in the Earth's Uppermost Inner Core (UIC) is key to unravel the mechanisms controlling its growth and dynamics. In the framework of crystalline microstructures composed of ellipsoidal, aligned grains, we discuss possible textural models of UIC compatible with observations of P-wave attenuation and velocity dispersion. Using recent results from multiple scattering theory in textured heterogeneous materials, we compute the P-wave phase velocity and scattering attenuation as a function of grain volume, shape, and orientation wrt to the propagation direction of seismic P-waves. Assuming no variations of the grain volume between the Eastern and Western hemisphere, we show that two families of texture are compatible with the degree-one structure of the inner core as revealed by the positive correlation between seismic velocity and attenuation. (1) Strong flattening of grains parallel to the Inner Core Boundary in the Western hemisphere and weak anisotropy in the Eastern hemisphere. (2) Strong radial elongation of grains in the Western hemisphere and again weak anisotropy in the Eastern hemisphere. Both textures can quantitatively explain the seismic data in a limited range of grain volumes. Furthermore, the velocity and attenuation anisotropy locally observed under Africa demands that the grains be locally elongated in the direction of Earth's meridians. Our study demonstrates that the hemispherical seismic structure of UIC can be entirely explained by changes in the shape and orientation of grains, thereby offering an alternative to changes in grain volumes. In the future, our theoretical toolbox could be used to systematically test the compatibility of textures predicted by geodynamical models with seismic observation.

CARPY Sabrina

LPG

Déstabilisation d'un lit de grains par saltation induite par de l'eau métastable sous conditions de pression martienne

Notre récent travail en laboratoire nous a permis de montrer que sous des conditions de pression martienne, l'eau liquide bout tout en s'infiltrant dans les sédiments et que ce processus dure

suffisamment longtemps pour déstabiliser un lit de grain sur une pente, même à faible débit (1.7g/min). Cet état transitoire de l'eau permet de transporter plus de sédiments [1-3] que sans changement de phase à débit comparable à pression terrestre, et ce, grâce au gaz libéré lors du changement de phase. Dans notre projet PNP, nous avons poursuivi le travail initié par Massé et al [1], et exploré les paramètres capables d'influencer ce transport de sédiments par saltation des grains induit par le gaz libéré. Nous avons exploré diverses conditions atmosphériques et différentes tailles de grains, pour étudier quels sont les paramètres qui jouent sur le processus de saltation. Nous avons réalisé des expériences à 6mbar et 9mbar. Nous avons utilisé 3 types de sédiments naturels avec un mélange de taille de grains, dont les tailles moyennes sont ~200, ~375 et >1000 μm . Conformément à nos attentes, nos premiers résultats montrent que la quantité de sédiments transportés dépend de la taille de grains : plus les grains sont petits, plus la saltation est importante. Cela induit la formation de rides et d'avalanches, qui sont d'autant plus visibles que la taille moyenne des grains est petite. Il est intéressant de noter que pour des mélanges granulaires, la taille des plus petits grains semble piloter les formes obtenues, les grains plus gros étant difficiles à mobiliser. Nos résultats indiquent que le processus de saltation est sensible à l'humidité de l'atmosphère, comme on peut s'y attendre pour des processus induit par changement de phase. Comme les conditions sur Mars sont autour du point triple, l'eau liquide s'évapore ou gèle en atteignant la surface. Nous montrons que le processus physique est robuste même lorsque l'eau gèle en surface, car dans ce dernier cas, le taux d'humidité dans l'air reste très faible, ce qui a tendance à favoriser la saltation. Ainsi la saltation peut se produire dans une gamme de température, de pression et d'humidité réalistes pour Mars.

[1] M. Massé et al. (2016) Nat. Geosci., 9, 425–428. [2] J. Raack et al. (2017) Nat. Commun., 8, 1151. [3] C. Herny et al. (2018) Geol. Soc. Lond. Spec. Publ., 467

Carrasco Nathalie

LATMOS / UVSQ

Evolution du brouillard de Titan sous irradiation UV

La mission spatiale ESA/NASA Cassini–Huygens a mis en évidence que les grains nanométriques à l'origine du brouillard de Titan sont initiés dans la haute atmosphère de Titan vers une altitude d'environ 1000km. A ce jour, peu de choses sont connues sur la possible évolution photochimique des aérosols organiques composant le brouillard. Nous avons abordé cette question expérimentalement en simulant l'effet du rayonnement ultra violet lointain sur des analogues de laboratoire des aérosols atmosphériques. Le suivi par spectroscopie infrarouge a montré une évolution de la matière organique tout en préservant sa richesse en azote.

Carry Benoit

OCA

Le système solaire vu par ESA Euclid

"La mission Euclid de l'ESA (lancement 2021) est désignée pour étudier la matière sombre dans l'univers. Néanmoins, son survey visible et proche infrarouge jusqu'à $m_{AB} \sim 24.5$ de 15000 degrés carrés ouvre de nombreuses opportunités pour l'étude des objets du système solaire

Avec la définition du survey actuel, environ 150000 petits corps devraient être observés, depuis les géocroiseurs jusqu'aux transneptuniens. Les observations d'Euclid se faisant par suite de 4 expositions répétées en

visible puis filtre Y, J et H dans le proche infrarouge, une courbe de lumière de 1h sera acquise pour chaque objet, ainsi que ses couleurs. Ainsi, Euclid va contribuer à la détermination des propriétés physiques (période de rotation, spin, forme 3D) en combinant ces courbes de lumières avec la photométrie éparsée de Gaia ou du LSST, et à l'étude de la composition des petits corps en complétant leur distribution spectrale vers l'infrarouge (Gaia et LSST n'opérant que dans le visible).
La résolution angulaire d'Euclid (0.1") va également permettre d'imager directement des systèmes multiples (plusieurs centaines attendues parmi les transneptuniens) et détecter des activités cométaires (autour des Centaures principalement).
Je présenterai la mission Euclid et les opportunités pour le système solaire, ainsi que le status du groupe "système solaire" au sein du consortium Euclid, incluant la simulation d'images en préparation à l'exploitation scientifique de la mission."

Cébron David

ISTerre/CNRS

Precession Driven Instabilities and Dynamos in the Early Moon

The Early Moon magnetic fields are probably due to a strong temporary dynamo, which may be due to lunar precession [1]. However, precession driven dynamos remain badly known, with only few studied cases [2,3,4]. Given the uncertainties of the early Moon precession, wider ranges of parameters need to be explored in order to assess if such lunar dynamos are possible. Using the efficient dynamo code XSHELLS, we have thus performed many simulations of precessing spherical shells, varying the parameters in a systematic way. This allows us to characterize the various excited instabilities, and to propose scaling laws. We also obtain that precession driven dynamos seem scarce and weak in our simulations, which makes difficult and uncertain the extrapolation of these dynamos to the Moon. However, our dynamo simulations, as every other in the literature, neglect the topographic torque effect on instabilities in order to use fast spectral codes [5]. By contrast, the topographic torque is dominant for the lunar core. We thus propose a method to simulate efficiently the flows driven by this pressure coupling effect between the core and the mantle. It turns out that this effect may completely change the results obtained previously in a spherical lunar core. Topography driven precession dynamos seem thus promising to explain the Apollo paleomagnetic data obtained for the Moon.
[1] Dwyer et al. (2011), *Nature*, 479, 212-214.
[2] Tilgner (2005), *Phy. Fluids*, 17, 034104.
[3] Tilgner (2007), *Geo. Astro. Fluid Dyn.*, 101 (1), 1-9.
[4] Lin et al. (2016), *Phys. Fluids*, 28, 066601.
[5] Tian et al., *EPSL*, in revision.

Charnoz Sebastien

IPGP / Université Paris Diderot

Planetesimal formation and water transport in an evolving disk

When, where and how planetesimals form in a protoplanetary disk are highly debated questions. While streaming instability (SI) is considered as the most promising mechanism for forming planetesimals, the conditions for its onset are very stringent. Recent works have shown that SI can be effective close to the water snow-line in a fully turbulent disk. However, it is thought that the planet forming region is not turbulent because of non-ideal MHD processes forming dead-zones (DZ). Here we investigate planetesimal formation in an evolving disk that includes a DZ starting from a power-law disk. We find

that in the presence of a dead-zone, accretion of planetesimals develops over a wide region from the water snow-line, up to the dead-zone outer edge (about 20 AU), with most planetesimals forming close to the snow-line. The ratio of pebble/planetesimals surface density is always < 1 , increasing to 1 at 20 AU. This lack of pebbles opens a viable pathway to slow-down pebble accretion for giant-planet formation below 20AU. In about 1 Myr, the snow-line moves outward because of mass-loading of the dead-zone, leaving water rich planetesimals inward the snow-line in addition to water poor ones. Water vapor abundance increases by a factor 10-100 inward the snow line in about 1Myr due to the inward influx of icy pebbles from the outer Solar System. After a 1 to 10 Myrs water disappears, leaving a mostly dry inner system. If the fragmentation velocity of silicate rich dust is increased up to 10 m/s, then up to $100M_{\oplus}$ of planetesimals can form at the inner edge of the dead-zones. Conclusion: The presence of a dead-zone allows the formation of planetesimals over wide regions, but the regions close to the snow-line, or the inner edge of the dead-zone, are favored. Everywhere, planetesimals are constituted of pebbles coming from much larger distances, that is supported by laboratory data on chondrites. Giant planets may form at about 20 AU, where pebble accretion is more efficient.

CHATAIN Audrey

LATMOS/LPP

Simulation en laboratoire de l'évolution des aérosols dans l'ionosphère de Titan

L'ionosphère de Titan est le siège d'une chimie organique complexe. La mission Cassini-Huygens y a révélé la formation de molécules organiques nanométriques, qui ensuite sédimentent et évoluent pour former la célèbre brume orangée entourant la lune. Plusieurs expériences s'appliquent à reproduire cette chimie en laboratoire. L'analyse des analogues d'aérosols de Titan (appelés 'tholins') indique que ce sont des polymères organiques fortement azotés. Notre projet ici est d'étudier l'étape suivante dans l'évolution atmosphérique de ces particules : leur érosion plasma dans l'ionosphère. En effet, cette partie de l'atmosphère est un milieu particulièrement hostile pour des molécules organiques, qui sont bombardées par des espèces chargées et souvent très réactives.
Nous simulons en laboratoire cet effet par exposition dans un plasma de tholins déjà formés. Les aérosols sont initialement formés en quelques minutes dans le réacteur PAMPRE au LATMOS [T Gautier Icarus 2016], où ils sont exposés à un plasma 'type-Titan' formé d'azote et de méthane. Pour ensuite étudier uniquement les processus d'évolution sous plasma et non plus de formation carbonée, nous retirons le carbone du mélange gazeux (qui devient N_2-H_2). Les tholins sont pressés sous forme de pastilles avec du KBr et sont positionnés au centre d'un réacteur plasma DC de 2 cm de diamètre. Ils sont exposés plusieurs heures au plasma. Le courant est fixé à 20mA et la pression est modifiable de 0,5 à 3mbar.
Des changements morphologiques sont observés à l'œil nu et au microscope électronique à balayage. La surface des échantillons devient plus rugueuse et la matière organique est préférentiellement arrachée par le plasma. L'évolution chimique des tholins est suivie in situ pendant l'exposition par spectroscopie infrarouge en transmission à l'aide d'un FTIR. On observe des modifications chimiques sous exposition plasma : l'environnement des liaisons C-H semble se complexifier et les structures insaturées des nitriles sont modifiées.

Chaufray Jean-Yves

LATMOS

Modélisation de la couronne d'hydrogène martienne

Comme la Terre ou Vénus, Mars est entourée d'une « couronne » d'hydrogène s'étendant sur plusieurs rayons planétaires dont la source principale est la vapeur d'eau atmosphérique. Une partie de l'hydrogène formant cette couronne est suffisamment énergétique pour s'échapper dans le milieu interplanétaire. L'étude de cette couronne est donc importante pour déterminer le taux d'échappement d'eau actuel de Mars. Nous présenterons des simulations 3D obtenues en couplant de façon dynamique le modèle de circulation générale du LMD avec un modèle exosphérique pour mieux décrire la distribution d'hydrogène à l'exobase. La couronne d'hydrogène de Mars a été observée de façon systématique en UV grâce à la raie d'émission (optiquement épaisse) de l'hydrogène à 121.6 nm par la sonde Mars Express et maintenant par la sonde MAVEN. Nous comparerons aussi les observations faites par le spectrographe UV SPICAM à bord de la sonde Mars Express durant deux années martiennes avec les simulations de l'émission Lyman-alpha obtenues à partir de notre modèle 3D de densité d'hydrogène, couplé avec un code de transfert de rayonnement permettant de décrire la diffusion multiple des photons solaires dans l'exosphère de Mars.

Chauvin Gael

IPAG/CNRS

SHINE, SPHERE High-contrast ImagiNg survey for Exoplanets

The SHINE survey for SPHERE High-contrast ImagiNg survey for Exoplanets, is a large near-infrared survey of 400-600 young, nearby stars carried out in the context of the SPHERE consortium Guaranteed Time Observations representing 200 nights spread between 2015 and 2020. The scientific goals are to characterize known planetary systems (architecture, orbit, stability, luminosity, atmosphere), to search for new planetary systems using SPHERE's unprecedented performance, finally to determine the occurrence and orbital and mass function properties of the wide-orbit, giant planet population as a function of the stellar host mass and age. In this talk, after summarizing the SHINE strategy and current performances after almost 3 years of operation, I will review the breakthrough results obtained so far including the discoveries of new exoplanet companions and disks, the study of young planetary system architecture and stability, finally the fine characterization of the physical properties and atmospheres of the lightest and coolest exoplanets imaged to date.

Choblet Gael

LPG - CNRS/Université de Nantes

Mimas, Enceladus, Tethys, Dione: contrasting geological paths for Saturn's inner icy moons

A recent model involving a dissipative porous core within Enceladus (Choblet et al., 2017) succeeds at explaining the main features inferred from the Cassini mission in terms of internal structure (global ocean beneath a very uneven ice shell, porous core) as well as composition (ocean is salty, deep hydrothermal activity occurs at present). In this regard, Enceladus (E) could be in a global steady-state

where internal heat produced deep in the interior is transmitted to the surface leading to the activity observed at present. As the other inner mid-sized moons of Saturn (M, T and D: Mimas, Tethys and Dione) have also all been suggested to harbour/have harboured a subsurface ocean, their interior could have/have had the same structure than that inferred for E. Note that in the case of M, this ocean could exist at present (observed libration, Tajeddine et al. 2014) while for T and D, this possibility is inferred from geological arguments (modelled crater relaxation, White et al., 2017) and thus could correspond to a period in the past. We thus ask the question whether these three other moons present a similar global equilibrium where surface geology reflects present-day interior heat budget. Assuming an internal structure similar to that of E and comparable material properties, we evaluate the tidal dissipation budget of M, T and D for their present-day orbital characteristics. The results are clear:

- case of M, an already known paradox: at present tidal power is huge and should lead to a an activity similar or larger to E - but none is observed at the surface of M... the surface is highly cratered which may or may not imply old age (because the impact history at M could strongly differ from the Moon's cratering chronology),
- case of D: interestingly, the pattern produced by tidal dissipation could resemble the heat flux distribution at the surface (inferred from viscous relaxation of craters) – D would then be a cousin of M, but the tidal heat budget at present falls short of the several tens of $mW.m^{-2}$ reported by White et al. (2017),
- case of T: again very paradoxical because T cannot produce the required heat flux at present to match the several tens of $mW.m^{-2}$ indicated by White et al. (2017) - contrary to D, no apparent spatial pattern...

In this presentation, we will finally elaborate on why so different geological paths have apparently been followed by the four moons and try to unify these in a single dynamic picture.

Colom Pierre

Observatoire de Paris

Observations cométaires au radiotélescope de Nançay

"L'observation des raies à 18 cm du radical OH dans les comètes est un programme clé du radiotélescope de Nançay, dont l'origine remonte à 1973. Le radical OH est un produit de la photodissociation de l'eau et l'observation de ses raies permet de remonter à la production de gaz provenant de la sublimation des glaces du noyau. Ce projet permet ainsi de suivre l'évolution de l'activité des comètes et d'étudier la cinématique et les conditions physiques des atmosphères cométaires. Une grande partie de ces observations ont été faites dans le cadre de campagnes d'observations internationales multi-longueurs d'onde, en soutien de missions spatiales (VEGA, Giotto, Deep Impact, EPOXI), d'observations millimétriques spatiales (Odin, Herschel) ou au sol (IRAM, APEX, ALMA), d'observations infrarouges (Keck telescopes, NASA/IRTF, VLT). De 1973 à 2017, ont été observés 145 passages de comètes pour 125 comètes individuelles (34 comètes à courte période, 91 comètes à longue période). 2416 observations individuelles journalières ont été faites de 1982 à 1999 (avant la rénovation), et 3928 de 2000 à 2017, soit un total de 6344 correspondant environ à autant d'heures d'observation. Les taux de production de OH mesurés s'échelonnent de $4.E27 s^{-1}$ (par exemple, pour 9P/Tempel 1) à $1.E31 s^{-1}$ (pour la comète Hale-Bopp). Les raies de OH ont pu être détectées pour des distances héliocentriques allant de 0.3 au (pour la comète C/2012 S1 (ISON)) à 4.5 au (pour la comète Hale-Bopp). Ces observations servent de base à des études statistiques telles que la corrélation empirique entre magnitude visuelle et taux de production du gaz, et la relation entre la vitesse d'expansion de la coma, distance héliocentrique, et taux de production du gaz. En 2018, les observations sont axées sur la "comète bleue" C/2016 R2 (PanSTARRS) à la composition atypique et les deux comètes de la famille de Jupiter 21P/Giacobini-Zinner et 46P/Wirtanen, objets de campagnes d'observation multi-longueurs

d'onde.\n\nP. Colom, J. Crovisier, N. Biver, D. Bockelée-Morvan\nLÉSIA, CNRS, Observatoire de Paris, Université PSL"

Conway Susan

CNRS UMR6112 Laboratoire de Planétologie et Géodynamique

Glacial and gully erosion on Mars

The mid-to-high latitudes of Mars host assemblages of landforms reminiscent of a receding glacial landscape on Earth. It is hypothesised that these landforms are a result of dramatic changes in climate brought about by swings in Mars' orbital obliquity, which can vary between 15° and 35° on timescales of ~100,000 years. At the highest obliquities it is thought that water ice is driven off the two permanent polar caps and redistributed to lower latitudes, and as the obliquity swings to lower values water ice is transported in the opposite sense. Here, we report on the relationship in time and space of two suites of landforms: gullies and glacial landforms. Gullies are kilometre-scale erosion-deposition systems comprised of a source alcove, a transportation channel and a deposition apron or fan. The glacial landforms we describe here fall into two categories – extant viscous flow features where ice could still be present and relicts of glaciation including arcuate ridges commonly interpreted as moraines. Both gullies and glacial landforms are particularly common at the mid-latitudes. By examining high resolution topographic data derived from HiRISE stereo-images we have calculated the reduction in crater wall slope caused by gullies and glaciers. We find that the magnitude of reduction is similar for gullies and glaciers and further that the glacial erosion rates are commensurate with wet-based glaciers on Earth. Up to this point all glaciers on Mars were believed to be cold-based, hence incapable of significant erosion. This leads to three main conclusions: that widespread melt has occurred within glaciers in the martian mid-latitudes sometime around 5-10 Ma, that this erosion could have easily erased pre-existing gullies, and hence the gullies we see today necessarily postdate the last glacial epoch. That this widespread melting is not predicted by any existing models calls into question our understanding of the functioning of the recent martian hydrosphere.

Cordier Daniel

CNRS / Université de Reims - Champagne -Ardenne

Les mers de Titan : bulles ou pas bulles ?

"A la suite du survol, en novembre 1980, de Titan par Voyager 1, on a rapidement suspecté l'existence\nde mers d'hydrocarbures à la surface du plus important satellite de Saturne.\nLes observations RADAR, menées notamment depuis Arecibo, ont montré ensuite l'absence d'un océan \nglobal, laissant toutefois ouverte la possibilité de mers disséminées à la surface. Il a fallu\nattendre 2006, pour que la sonde Cassini mette en évidence des mers de méthane et d'éthane \nliquides dans les régions polaires de Titan. Ce dernier est donc, avec la Terre, le seul lieu\ndu système solaire, où existe une phase liquide au sol. Outre leur composition, ces mers montrent\nd'autres propriétés totalement exotiques. Par exemple, des ""Magic Islands"", en fait des surbrillances\nRADAR, apparaissent et disparaissent à la surface de certaines d'entre elles. Des flux intermittents\nde bulles peuvent expliquer ce genre de phénomène. Dans ce travail nous discutons les mécanismes\nphysiques qui peuvent mener à l'apparition d'une telle ""effervescence"", ainsi que sa détectabilité\nau RADAR. Sur Terre, des panaches de bulles, de méthane gazeux dans ce contexte, existent dans les\nocéans. Leur

caractérisation est importante car ils alimentent l'atmosphère en un des principaux gaz à effet de serre."

Costard Francois

GEOPS

Dépôts de tsunamis sur Mars: implications paleo-climatiques

Nous avons mis en évidence des mega-tsunamis sur Mars produits par des impacts de météorites dans un océan grâce à une cartographie des dépôts lobés s'étendant à la limite de supposés paléo-rivages d'un ancien océan dans l'Hémisphère Nord de Mars. Avec le modèle numérique développé par K. Kelfoun (VolcFlow, Lab. Magmas et Volcans, Université Clermont, Auvergne), il a été possible de reconstituer précisément les propagations des vagues de tsunami à partir de trois cratères d'impact identifiés comme s'étant formés dans cet océan (Costard et al. JGR, 2017). Nous avons débuté une étude morphométrique du cratère Lomonosov (un des candidats à l'origine du tsunamis dans l'HN de Mars). Parallèlement, nous allons étendre la cartographie des dépôts de tsunamis (dépôts lobés avec runups) à l'ensemble de l'HN de Mars. Les tsunamis identifiés dans la région de Terra Arabia sont-ils uniques ou au contraire relèvent d'évènements multiples comme on pourrait s'y attendre ? En contraignant la géométrie et distribution de ces dépôts, la finalité de projet sera de reconsidérer les implications paléoclimatiques de Mars et sur le problème non résolu de la stabilité d'un océan sur Mars lors de la période inconnue de transition Hespérien/Amazonien. Ce projet est réalisé en collaboration avec JAP. Rodriguez (Univ. Arizona, Tucson) et S. Clifford (LPI, Houston) et K. Kelfoun (Clermont-Ferrand).

Coutelier Maélie

Université de Reims Champagne-Ardenne / GSMA

Récupération des spectres de surface dans la région entourant les lacs polaires de Titan

*"Maélie Coutelier, Daniel Cordier, Pascal Rannou et Thibaud Cours
Groupe de Spectroscopie Moléculaire Atmosphérique, Université de Reims Champagne-Ardenne, CNRS, Reims, France
Titan, la plus grande lune de Saturne, est entouré par une atmosphère très dense composée de gaz, de nuages et d'une épaisse couche de brume. Les pressions et températures permettent la présence de méthane et d'éthane liquide à sa surface. En effet, la mission Cassini/Huygens a découvert des lacs et des mers dans les régions polaires. Cependant, le brouillard autour de Titan diffuse la majeure partie de la lumière visible, et les fortes absorptions de méthane bloquent la plus grande partie de la lumière réfléchiée dans la gamme spectrale infrarouge de l'instrument Visual and Infrared Mapping Spectrometer (VIMS) de la sonde Cassini. En raison de la grande distance de Titan par rapport au Soleil, la lumière reçue est faible, de sorte que le rapport signal/bruit des données VIMS est faible. En outre, VIMS a une résolution spatiale de quelques km à quelques dizaines de km. Malgré ces inconvénients, la géologie de surface peut être étudiée dans certaines fenêtres spectrales de VIMS. Les lacs et les mers ont été détectés sur les régions polaires de Titan par des images RADAR. Une incertitude existe quant à leur composition chimique. Des contraintes thermodynamiques et expérimentales ont été établies pour la composition des lacs de Titan (Luspay-Kuti et al. 2015), mais le pourcentage des espèces chimiques présentes est encore incertain. Il y a des traces d'évaporites sur Titan, en particulier autour des lacs, passés et présents (Barnes et al., 2011 ; MacKenzie et al., 2014 ; Cordier et al., 2016). L'un des*

objectifs est d'étudier l'albédo des évaporites avec un modèle de transfert radiatif. Dans un premier temps, nous récupérons l'albédo de surface autour et sur les lacs afin de calibrer le modèle avec un albédo de surface supposé nul (Griffith et al., 2012). Ensuite, nous identifions les caractéristiques spectrales des évaporites en détectant d'éventuelles différences ou variations dans les spectres. Enfin, nous recherchons des signatures particulières permettant d'identifier les zones autour des lacs."

Danger Gregoire

Aix-Marseille Université

Analyses des composés organiques volatiles et des résidus organiques réfractaires provenant de l'altération de glaces cométaire/interstellaire

En 2013, le PIIM a développé un système novateur permettant d'analyser les composés organique volatils (COV) provenant du réchauffement d'analogues de glaces cométaires. Par rapport aux systèmes existants, l'approche développée est la seule actuellement qui permet de quantifier les espèces présentes au sein de la phase gazeuse. Cette quantification a ainsi été possible en couplant la chambre de simulation à un chromatographe en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse (GC-MS). Ainsi, les données obtenues peuvent être directement comparées aux observations. En parallèle de ces analyses de COV, le PIIM a développé une stratégie analytique innovante permettant de tester les potentialités de la technologie FT-orbitrap qui est un analyseur de masse à très haute résolution, pour l'analyse de la matière organique réfractaire (résidus) formée lors des expérimentations. Cette matière organique étant considérée comme un analogue de la matière organique soluble de météorites, ces expérimentations ont permis de mettre en évidence la pertinence d'utiliser une telle technologie pour l'analyse de la matière organique d'objets astrophysiques. Lors de cette contribution, nous présenterons nos derniers résultats concernant l'analyse des COV et des résidus, et montreront les liens qui peuvent exister entre la glace initiale, les COV détectés en phase gazeuse et l'évolution de la composition du résidu organique formé.

1. The gaseous phase as a probe of the astrophysical solid phase chemistry. N. Abou Mrad, F. Duvernay, R. Isnard, T. Chiavassa and G. Danger. ApJ, 2017, 846, 124.*

2. Cometary materials originating from interstellar ices : clues from laboratory experiments. A. Fresneau, N. Abou Mrad, L. LS d'Hendecourt, F. Duvernay, L. Flandinet, F-R Orthous-Daunay, V. Vuitton, R. Thissen, T. Chiavassa, G. Danger. ApJ, 2017, 837, 168*

3. Photo and thermochemical evolution of astrophysical ice analogs as a source of soluble and insoluble organic materials in Solar System minor bodies. P. de Marcellus, A. Fresneau, R. Brunetto, G. Danger, F. Duvernay, C. Meinert, U. J. Meierhenrich, F. Borondics, T. Chiavassa, L. Le Sergeant d'Hendecourt. MNRAS, 2017, 464, 114-120.*

Debras Florian

ENS de Lyon

Nouveaux modèles de Jupiter dans le contexte de Juno et Galiléo

Jusqu'aux années 1980, les modèles de structure interne de Jupiter ne pouvaient s'appuyer que sur des arguments théoriques. En 1968, Hubbard a ainsi proposé que la planète soit entièrement convective, imposant une structure isentropique pour l'intérieur de Jupiter. Dès 1985, les observations de Voyager et Pioneer ont permis à la communauté d'améliorer sa compréhension de Jupiter pour tenir compte des nouvelles données. Au moins deux régions d'entropie distinctes sont devenues nécessaires, la transition

entre les deux pouvant être due à une transition de phase, une séparation de phase ou de la convection stratifiée (voir notamment Stevenson et Salpeter (1977)). Les données de Galiléo en 2004 ont demandé un raffinement de ces modèles, notamment grâce aux observations directes des couches extérieures lors de la plongée du satellite dans Jupiter. \n\nEn revanche, en 2017 et 2018, les observations de Juno n'ont pas conduit à une légère amélioration de notre compréhension de Jupiter, mais à la nécessité de résoudre une véritable énigme : comment concilier les données de Juno et de Galiléo dans un seul modèle de Jupiter ? En effet, l'abondance très forte de métaux dans les couches externes, entre deux et trois fois l'abondance solaire, est difficilement accordable avec la valeur très faible des moments gravitationnels d'ordres élevés. \n\nDans cet exposé, je présenterai de nouveaux modèles de Jupiter satisfaisant les observations de ces deux satellites. Je montrerai la dégénérescence des structures internes à partir des seules observations du champ gravitationnel, et discuterai de l'impact sur le cœur de Jupiter. J'insisterai notamment sur la façon de construire des modèles physiques de la planète, et sur les liens qu'ont nos nouveaux modèles de Jupiter, en accord avec toutes les observations, avec les transitions de phase de l'Hydrogène et de l'Hélium et avec la rotation différentielle dans la planète.

Delbo Marco

Université Côte d'Azur, Observatoire de la Côte d'Azur, CNRS, Laboratoire Lagrange, Nice, France.

Identification of a primordial asteroid family constrains the original planetesimal population

"Co-authors: K. J. Walsh, B. T. Bolin, C. Avdellidou, and A. Morbidelli\n\nBillions of years of asteroid collisions generated families of fragment asteroids. If all these collisional families could be identified and removed, the remaining asteroids would represent the original population of planetesimals that formed by direct accretion of dust/pebbles in the protoplanetary disk of our Solar System. \n\nHowever, the problem is that the classical family identification methods are typically biased against detection of very old ones, such that there are very few known families older than ~ 2 Gyr (Broz et al. 2013). Therefore, identified families can be subtracted from the known asteroid population, but not all the way back through Solar System history, leaving a large and diffuse background of asteroids of unidentified origin. \n\nWe developed novel asteroid family search algorithm (Bolin et al. 2017) that detects outer boundaries of families that were spread by the Yarkovsky effect for billions of years. \n\nApplication of this method revealed an asteroid family in the inner portion of the Main Belt whose properties suggest that it is over 4 Gyr old and whose members include most low-albedo asteroids previously unlinked to families (Delbo et al. 2017). The dispersion of the distribution of the eccentricities and inclinations of the orbits of the primordial family members suggests that the family formed before the instability of the giant planets (Brasil et al., 2016). The family is also primitive, with very low-albedo objects most of which are also classified in the spectroscopic C-complex. \n\nThe boundary of this primordial family creates a size-dependent line across the Main Belt inward of which there are no small dark asteroids. This void of asteroids clarifies the edge of this very old family, but also highlights a handful of large bodies that can't be part of any known family and do not have observed family of their own. We interpret them to be original asteroid belt objects, which formed from direct accretion from the protoplanetary disk. These bodies are all larger than 35 km in diameter, which is consistent with the paradigm that planetesimals and ""asteroids were born big"" (Klahr et al. 2016; Morbidelli et al. 2010). \n\nThis work was supported by the Programme Nationale de Planologie."

DELEUIL Magali

LAM

CHEOPS: un télescope spatial pour la photométrie de très haute précision des transits d'exoplanètes

CHEOPS (CHaracterising ExOPlanet Satellite) dont le lancement est prévu entre décembre 2018 et mars 2019, est la première mission spatiale de type S (Small) de l'ESA. Développée dans le cadre du programme ESA Cosmic Vision 2015-2025, elle est réalisée à travers un partenariat entre l'ESA et la Suisse avec des contributions importantes de divers pays européens dont la France. CHEOPS est une mission de caractérisation des exoplanètes autour d'étoiles brillantes. En effet, l'instrument effectuera un suivi photométrique à haute précision des étoiles pour lesquelles les grands relevés sol de vitesse radiale ou la nouvelle génération de surveys photométriques auront déjà révélé la présence d'une planète. Capable de pointer presque n'importe où sur le ciel, l'instrument observera une cible à la fois, pour une durée d'observation qui pourra n'être que de quelques heures ou dépasser une quinzaine de jours. La précision photométrique attendue est de 20 ppm en 6 heures de temps d'intégration pour une étoile de magnitude 9. Ceci correspond à un rapport signal sur bruit de 5 pour le transit d'une planète de la taille de la Terre en orbite autour d'une étoile de 0.9 rayon solaire. CHEOPS va donc pouvoir mesurer avec précision les rayons d'un échantillon de quelques dizaines de planètes de la taille de Neptune ou plus petites, et de masse connue. Dans cette gamme de masse (1-30 M_{Earth}), l'échantillon de planètes avec des mesures précises de leur masse et de leur rayon reste aujourd'hui encore très limité et ne permet pas de comprendre l'origine de la diversité que présentent ces planètes. CHEOPS lèvera cette limitation, en permettant de déterminer la structure interne de ces petites planètes et ainsi mieux contraindre leur mécanisme de formation et d'évolution. Il fournira également quelques planètes en transit bien adaptés à la caractérisation spectroscopique de leur atmosphères pour les futurs instruments. Je présenterai rapidement les caractéristiques et profil de la mission, les performances attendues de l'instrument dont 20% du temps sera ouvert à la communauté. Je décrirai ensuite le programme scientifique envisagé par le consortium CHEOPS.

Delfosse Xavier

IPAG

Recherche d'exoplanètes de très faible masse dans le proche voisinage solaire

"Il existe aujourd'hui un intérêt considérable à découvrir les planètes autour des naines M du très proche voisinage solaire. Grâce au contraste plus favorable avec leurs étoiles centrales (en rayon et en luminosité), les planètes telluriques orbitant autour des naines M sont susceptibles de voir leurs atmosphères caractérisées au cours de la prochaine décennie via de la spectroscopie de transit ou en combinant spectroscopie à haute résolution et imagerie à haut contraste sur l'ELT. Je présenterais les travaux de notre équipe qui regroupent des relevés vitesses radiales (SOPHIE et HARPS) de recherche de planètes extra-solaires autour de naines M et des programmes de suivi d'étoiles transitant autour d'étoiles du même type. Ils ont permis de découvrir la majorité des planètes de très faible masses aujourd'hui connues dans le proche voisinage solaire, ainsi que d'en caractériser certaines. Ces programmes seront très prochainement prolongés avec SPIRou/CFHT et NIRPS/ESO. Enfin je présenterais des projet d'activités investiguant comment la photosynthèse pourrait être efficace sur une planète orbitant autour d'une naines M rayonnant essentiellement dans l'infrarouge."

Douté Sylvain

IPAG / Université Grenoble Alpes / CNRS-INSU

Atelier national « Traitement de données multimodales pour l'exploration et l'observation des planètes »

Les capteurs pour l'exploration du Système Solaire ou l'observation de la Terre collectent de grands ensembles de données de télédétection de natures très diverses (images, spectres, images hyperspectrales et/ou multi-angulaires). Ces données couvrent des domaines spectraux complémentaires et sont très hétérogènes en terme de géométrie d'acquisition, de résolutions spatiales et spectrales. Ainsi le traitement multi-modal des collections de données représente un défi nécessaire pour l'analyse et l'interprétation des processus planétaires. Ce type de traitement est encore peu pratiqué parmi les thématiciens car il fait appel à des techniques de traitement d'image et du signal avancées ainsi qu'à de la modélisation physique et des techniques statistiques. Afin de diffuser et de promouvoir cette recherche multi-disciplinaire nous avons organisé en novembre 2017 avec le soutien du PNP un atelier francophone de 3 jours destiné aux chercheurs, ingénieurs et étudiants des communautés Planétologie, Sciences de la Terre, Traitement du Signal et de l'Image, Mathématiques appliquées. Une formation au traitement multi-modal des données planétaires a été assurée par des spécialistes du domaine. De plus les participants ont présenté leurs travaux sous forme de présentations orales.

Douté Sylvain

IPAG / Université Grenoble Alpes / CNRS-INSU

Hautes latitudes sud de Mars: une histoire dynamique de glace et de poussières

Le CO₂ est le composant majeur de l'atmosphère Martienne et la caractérisation de son cycle atmosphérique est fondamentale pour comprendre la météorologie actuelle et récente de Mars. Cette molécule est aussi rencontrée sur Mars à l'état solide sous la forme de glaces permanentes au pôle Sud, sous la forme de condensats saisonniers lors des hivers polaires, et enfin sous la forme de nuage de CO₂ dans la haute atmosphère. Le cycle du dioxyde de carbone est un cycle complexe, dans lequel les condensats saisonniers ont un rôle de premier ordre. Au cours du printemps, on observe une augmentation globale et progressive de la réflectivité apparente des condensats de CO₂. Cette augmentation, pour l'instant inexpliquée, détermine les bilans de masse des dépôts lors de leur sublimation et donc la vitesse de leur récession. La formation et l'évolution spatio-temporelle rapide de couches compactes transparentes (slab) sont suspectées, parfois en relation avec l'activité des geysers. Ce phénomène conduit à l'accumulation d'une couche de poussière sur les glaces qui a elle même une action transformante sur ces dernières provoquant sur certaines pentes des dunes polaires des avalanches ayant un effet d'érosion. Ainsi le CO₂ martien est suspecté d'être un agent géologique significatif à l'heure actuelle. Au printemps, les dépôts saisonniers contrôlent également une forte activité du vent et de la poussière dans l'atmosphère sud-polaire. À leur tour, le dépôt ou l'enlèvement de la poussière liée à la dynamique atmosphérique modifie considérablement la bolométrie albedo de la glace, un paramètre clé pour calculer le bilan énergétique des dépôts glacés, et donc leur évolution. Je présenterai les efforts de recherche que j'ai entrepris avec mes collaborateurs pour mieux comprendre l'interaction complexe entre les dépôts de CO₂, la poussière et l'atmosphère.

Drouard Alexis

Laboratoire d'Astrophysique de Marseille

Spectral analysis of meteorites ablated in a wind tunnel

Determining the source regions of meteorites is one of the major goals of current research in planetary science. Whereas asteroid observations are currently unable to pinpoint the source regions of most meteorite classes, observations of meteors with camera networks and the subsequent recovery of the meteorite may help make progress on this question. The main caveat of such an approach, however, is that the recovery rate of meteorite falls is low (<20%), implying that the meteoritic analogues of at least 80% of the observed falls remain unknown. Spectroscopic observations of incoming bolides may have the potential to mitigate this problem by classifying the incoming meteoritic material. To probe the use of spectroscopy to determine the meteoritic analogues of incoming bolides, we collected emission spectra in the visible range (320–880 nm) of five meteorite types (H, L, LL, CM, and eucrite) acquired in atmospheric entry-like conditions in a plasma wind tunnel at the Institute of Space Systems (IRS) at the University of Stuttgart (Germany). A detailed spectral analysis including a systematic line identification and mass ratio determinations (Mg/Fe, Na/Fe) was subsequently performed on all spectra. It appears that spectroscopy, via a simple line identification, allows us to distinguish the three main meteorite classes (chondrites, achondrites and irons) but it does not have the potential to distinguish for example an H chondrite from a CM chondrite. The source location within the main belt of the different meteorite classes (H, L, LL, CM, CI, etc.) should continue to be investigated via fireball observation networks. Spectroscopy of incoming bolides only marginally helps precisely classify the incoming material (iron meteorites only). To reach a statistically significant sample of recovered meteorites along with accurate orbits (>100) within a reasonable time frame (10–20 years), the optimal solution may be the spatial extension of existing fireball observation networks.

Encrenaz Thérèse

LESIA/Observatoire de Paris

Etude des composants atmosphériques mineurs de Mars et Vénus par spectro-imagerie infrarouge

Etude des composants atmosphériques mineurs de Mars et Vénus par spectro-imagerie infrarouge
T. Encrenaz, T. Fouchet, B. Bézard, T. Widemann (LESIA, Obs. Paris), F. Lefèvre, F. Montmessin, F. Forget, S. Lebonnois, E. Marcq (IPSL), T. Greathouse (SwRI, USA), M. Richter (UC Davis, USA), H. Sagawa (Kyoto-Sangyo University, Japan)
Depuis 2012, nous avons étudié les variations spatio-temporelles de SO₂ et HDO sur Vénus au moyen du spectro-imageur TEXES (IRTF, Maunakea Observatory). L'abondance de SO₂ au niveau des nuages présente de très fortes fluctuations spatiales et sur le long terme (jusqu'à un facteur 10), tandis que l'abondance de H₂O est spatialement homogène et constante dans le temps à un facteur 2 près. Les mesures de SO₂ obtenues par TEXES sont en très bon accord avec les mesures UV de SPICAV/VEx et UVI/Akatsuki. En parallèle, nous avons cartographié le rapport D/H sur Mars avec le spectro-imageur EXES à bord de l'avion stratosphérique SOFIA au cours de trois campagnes (04/2014, 03/2016, 01/2017). Les résultats sont en bon accord avec les prédictions du GCM (Montmessin et al. 2005) avec une valeur moyennée sur le disque de 4.0 à 4.5 x VSMOW (Encrenaz et al. A&A 2016, 2018).

Engrand Cecile

CSNSM CNRS/Univ. Paris Sud, Univ. Paris-Saclay

Origine et formation des micrométéorites cométaires ultracarbonées (UCAMMs) de la collection Concordia

Les missions Stardust et Rosetta ont permis d'analyser des poussières révélant la complexité des surfaces cométaires. Grâce au soutien de l'Institut Polaire (IPEV), nous collectons les micrométéorites dans les neiges des régions centrales antarctiques (station Concordia). Les caractéristiques uniques du site de Concordia et les techniques de collectes utilisées permettent une préservation inégalée des micrométéorites collectées, et ont permis l'identification de micrométéorites, les UCAMMs (UltraCarbonaceous Antarctic MicroMeteorites), dominées par de la matière organique (MO):. Les conditions de formation de la MO des UCAMMs et les interfaces avec les minéraux qu'elle contiennent sont étudiées par une combinaison de techniques analytiques comprenant l'utilisation de microscopie infrarouge à l'échelle micrométrique et sub-micrométrique (ligne synchrotron SOLEIL-SMIS et nanoIR), XANES-STXM (ligne SOLEIL-HERMES), microscopie électronique à balayage et en transmission, et mesure de compositions élémentaires et isotopiques des éléments légers par la microsonde ionique NanoSIMS grâce à un protocole novateur à haute résolution en masse.

Nos résultats montrent qu'au moins 3 phases organiques coexistent dans les UCAMMs, avec des rapports N/C variant entre ~ 0.03 et ~ 0.2 , contenant des teneurs variables en minéraux de taille sub-micrométrique, cristallins ou amorphes. La MO des UCAMMs montre des enrichissements extrêmes en deutérium, atteignant environ 30 fois la valeur terrestre. Les UCAMMs proviennent très vraisemblablement de la surface de petits corps glacés des régions externes du système solaire. La composante riche en azote de la MO des UCAMMs pourrait résulter de l'irradiation de glaces riches en azote par le rayonnement cosmique galactique. Les analyses en laboratoire des UCAMMs permettent de contraindre les conditions de formation et d'évolution de ces matériaux provenant des régions externes du système solaire. Co-auteurs: Jean Duprat, Emmanuel Dartois, Emeline Charon, Hugues Leroux, Eric Quirico, Lydie Bonal, Elena Dobrica, Corentin Le Guillou, Sylvain Bernard, Lucie Delauche, Marie Godard, Georges Slodzian, Ting-Di Wu, Jean-Luc Guerquin-Kern.

Erard Stéphane

LESIA / Observatoire de Paris

Europlanet/VESPA: adapter l'Observatoire Virtuel à la Planétologie

"L'activité VESPA du programme Europlanet2020 consiste à adapter les standards de l'Observatoire Virtuel (OV) à la Planétologie et aux données du Système Solaire. VESPA fournit un accès unifié aux bases de données pour l'étude du Système Solaire, ainsi qu'un système de fouille de ces bases de données et de visualisation performant (protocole d'accès aux données, interfaces utilisateurs, outils connectés) et met en place services de données interopérables. Les domaines pris en compte incluent les surfaces, les atmosphères, les plasmas planétaires, la physique solaire, la dynamique, les exoplanètes, et la spectroscopie en phase solide. Des liens entre OV et GIS ont été développés pour permettre l'utilisation de toutes les données relatives aux surfaces planétaires dans des environnements divers; une méthode pour faciliter les comparaisons entre observations et simulations est en cours de développement. Un appel d'offre annuel est ouvert en fin d'année pour aider les équipes à installer un service de données à domicile.

VESPA fournit donc un environnement propice à la mise en ligne de catalogues et archives de différentes natures :\n- associés à un projet de recherche actif\n- dérivés d'une activité expérimentale, notamment spatiale ; ceci fournit une solution pour maintenir des

services de données dérivés de SO₂ en fin de vie (exemples sur VEx, Cassini ou Rosetta) \n- historiques – c'est notamment le cas des archives solaires, souvent étendues sur de très longues périodes\n\nAu niveau national, le portail VESPA SO₅ est installé à l'Observatoire de Paris, avec le soutien du Centre d'Expertise Régional PADC. Le portail VESPA fournit une interface de recherche intégrée et met en place les services de données Système Solaire de l'Observatoire, actuellement au nombre de 15 à l'Observatoire. Au niveau national, 6 services labellisés en propre sont accessibles. \nLe paradigme OV permet de maintenir les données au plus près des équipes, là où est située l'expertise scientifique. Le système est donc également à la disposition des fournisseurs de données souhaitant l'implémenter sur leurs services, en particulier au niveau national. \n\n\nThe Europlanet 2020 Research Infrastructure project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 654208."

Fabre Sébastien

Université de Toulouse

HARSH OR BALMY WEATHERING CONDITIONS ONTO THE FIRST CONTINENT SURFACE?

Sébastien Fabre¹, Paul Yves Jean Antonio², Yves Goddérés³, Guillaume Le Hir⁴\n¹ IRAP, CNRS-Université Paul Sabatier-IRD, 14 Avenue Edouard Belin 31400 Toulouse, France.\n² Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG), Universidade de São Paulo (USP), Ruado Matão, 1226, 05508-090, São Paulo, SP, Brazil.\n³ GET, Observatoire Midi-Pyrénées. 14 Avenue Edouard Belin 31400 Toulouse\n⁴ IGP-Bureau 130- 1, rue Jussieu -75238 Paris cedex 05\n\nRecent paleomagnetic works provides new constraints to the latitudinal position for the Amazonian craton within Columbia, the first supercontinent in Earth's history. Discrepancy of Paleoproterozoic poles would imply a latitudinal displacement between 69° and 5° at ca. 1.9 Ga (Antonio et al., 2017). Despite the great elapsed time, some residual sedimentary rocks escaped the recycling of the continental crust and remain as witnesses of the weathering conditions prevailing at the surface of that continental surface. Well-dated and preserved sandstones (~1.9 Ga) outcropping in the Roraima State (Brazil), examined in this study, are particularly demonstrative in this respect. Surprisingly, geological (sandstones textures), mineralogical content and chemical features (trace elements, Sr isotopes) exhibited by these rocks are very close of present-day similar rocks. As an example, their Chemical Index of Alteration (Nesbitt and Young, 1982), initially defined to study the extreme weathering of Archean rocks (2.5 – 2.1 Ga), show values at 1.9 Ga tightly clustered around 72±13, the same range as Phanerozoic sedimentary detrital rocks. In order to solve this apparent paradox, we used a global climate model (FOAM, Jacon, 1999) associated with a weathering chemical program (GEOCLIM, Goddérés et al., 2017) to reproduce the presumed conditions (temperature, runoff) onto the Columbia's surface. Differences, similarities and uncertainties between present-day and Archean functioning of the continent surface will be discussed.

Florin Guillaume

CRPG

GERMANIUM ISOTOPES: TRACER OF REDOX CONDITION FOR THE FORMATION OF ORDINARY CHONDRITES.

G. Florin¹, B. Luais¹, T. Rushmer², O. Alard²\n¹CRPG Nancy, France (gflorin@crpg.cnrs-nancy.fr),
²Macquarie University Sydney, Australia \n\n\tWe have investigated formation (condensa-

tion/evaporation) and evolution (partial melting and migration) of metallic, silicates and sulfide phases through ordinary chondrites (OCs) groups by analysing elemental and isotopic change. The goal of this study was to follow compositional evolution of those phases from H, L and LL OCs group at all petrologic types (3 to 6). To study these processes we have used siderophile elements, e.g. germanium that is a key element for the classification of Fe-meteorites trust to be core of destroyed planetesimal. Moreover, Ge isotopes show highly resolvable isotopic fractionation between metal (Fe-meteorites) and silicate phase (mantle reservoirs) [1, 2]. Germanium will then have a high potential to trace elemental and isotopic variations at all stages of metal formation, segregation and migration. We present the first results on selected H, L and LL OCs from all metamorphic types, at various shock stage. We have undertaken Ge isotopic measurements on bulk and separate phases (metal, sulfides and silicates), according to the methodology developed at the CRPG-Nancy, using the MC-ICPMS NeptunePlus [1,2]. $\delta^{74}\text{Ge}$ isotopic composition increase from H to LL groups displaying a mean of $-0.49 \pm 0.15 \text{‰}$ and $-0.23 \pm 0.10 \text{‰}$ respectively. A fractionation also exist between silicates, metal and sulfides with $\Delta_{\text{met/sil}}=0.18\text{‰}$, $\Delta_{\text{met/sulf}}=1.08\text{‰}$. Yet, no significant fractionation exist between metal and bulk. The positive correlation between $\delta^{74}\text{Ge}$ and %Fa, content in olivine, a redox proxy [3], allows to conclude that $\delta^{74}\text{Ge}$ can trace redox process. The same positive correlation between $\delta^{74}\text{Ge}$ and $\Delta^{17}\text{O}$ allows to conclude that the oxidized component accreted by ordinary chondrites [4] has a high $\delta^{74}\text{Ge}$. Finally, $\delta^{74}\text{Ge}$ vs Ge/Ni correlation confirms the existence of a more reduced ordinary chondrite group called HH and confirm the genetic link between IIE iron meteorites and the HH parent body. References: [1] Luais B. (2007) EPSL, 262, 21-36. [2] Luais B. (2012) Chem Geol, 334, 295-311. [3] Reisener R.J. et al. (2006) Meteorit Planet Sci, 41, 1839-1852. [4] Rubin A E. (2005) GCA, 69, 4907-4918.

FOING Bernard

ESA/ESTEC, ILEWG & VU Amsteram

MOONVILLAGE: PLANETOLOGY GOALS AND KNOWLEDGE GAPS

The Moon Village is an open concept proposed with the goal of a sustainable human and robotic presence on the lunar surface as an ensemble where multiple users can carry out multiple activities. Why a Moon Village? Multiple goals of the Moon Village include planetary science, life sciences, astronomy, fundamental research, resources utilisation, human spaceflight, peaceful cooperation, economical development, inspiration, training & capacity building. How did the Moon Village start? ESA director general has revitalized and enhanced the original concept of MoonVillage discussed in the last decade. Space exploration builds on international collaboration. COSPAR and its ILEWG International Lunar Exploration Working Group (created in 1994) have fostered collaboration between lunar missions [4-8]. A flotilla of lunar orbiters has flown in the last international lunar decade (SMART-1, Kaguya, Chang'E 1 & 2, Chandrayaan-1, LCROSS, LRO, GRAIL, LADEE). Chinese Chang'E 3 lander and Yutu rover. Upcoming other landers from 2018 (GLXP, Chang'E 4 & 5, SLIM, Luna, LRP) will constitute a Robotic Village on the Moon. Moon Village Workshops/activities at ESA Centres: Moon Village Workshops were held at ESA centres and at community events in 2015-2018. Perspectives for MoonVillage: A number of MoonVillage activities are planned. The Moon Village will rely both on automatic, robotic and human-tendered structures to achieve sustainable moon surface operations serving multiple purposes on an open-architecture basis. We shall discuss planetology goals and knowledge gaps for upcoming surface missions in the context of lunar robotic village, and in view of preparation of permanent sustainable human bases.

Forget François

LMD, IPSL, CNRS

Pluton révélé par New Horizons et la simulation numérique

F. Forget et T. Bertrand Le 14 juillet 2015, la sonde NASA New Horizons a, pour la première fois, survolé Pluton, sa lune Charon et leur quatre petits satellites. Elle a découvert un monde actif et spectaculaire, au cœur d'un système planétaire complexe, révélateur de la richesse des objets transneptuniens. Trois ans d'études et de modélisation numérique nous permettent à présent de mieux comprendre les mécanismes à l'origine de l'aspect de la surface de Pluton, de la répartition des glaces et de la structure atmosphérique. En pratique, sur la base de notre expérience acquise en modélisant d'autres systèmes climatiques comme celui de Mars, la Terre, Titan, ou Vénus, nous avons développé une hiérarchie de modèles pour simuler le processus à l'œuvre sur Pluton : un modèle de climat global pour représenter la circulation atmosphérique en 3D et l'évolution des glaces en surface (N₂, CH₄, CO) pendant quelques dizaines d'années, complété par un modèle simplifié et bidimensionnel pour simuler la formation et l'évolution des réservoirs de N₂, CH₄ et CO sur des périodes de plusieurs millions d'années. Ces outils sont basés sur des équations universelles, avec, le minimum d'hypothèses ad-hoc. Cependant une de nos premières conclusions est que le système de Pluton modélisé est extrêmement sensible à quelques paramètres comme l'albédo des glaces ou l'inertie thermique du sous-sol profond. Néanmoins, en choisissant des valeurs réalistes pour ces paramètres nous avons pu reproduire de nombreuses caractéristiques de Pluton telle qu'observée par New Horizons en 2015 : la répartition géographique des glaciers et givres d'azote et de méthane, l'évolution de la pression depuis 1988, les particularités des différents secteurs de la calotte glaciaire de Sputnik Planitia, ou encore la structure thermique hétérogène de la basse atmosphère. Dans cette présentation j'exposerai ce que nous avons appris grâce à la modélisation numérique en soulignant les aspects de Pluton qui restent énigmatiques et que nous avons du mal à comprendre et à prédire avec nos modèles.

Fornasier Sonia

LESIA-Obs. de Paris, Univ. Paris Diderot

La composition du noyau de la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko : hétérogénéités et évolutions diurnes et saisonnières

"La mission spatiale Rosetta a observé la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko durant environ 2 ans, permettant d'étudier pour la première fois l'évolution de la surface d'un noyau cométaire et de son activité pendant son orbite autour de Soleil. Les caméras OSIRIS et le spectromètre VIRTIS ont montré que le noyau 67P a un spectre rouge, globalement dominée par des matériaux réfractaires déshydratés et riches en matières organiques (Capaccioni et al. 2015). Le spectre de la comète est similaire à celui des astéroïdes primitifs de type D, comme les Troyens de Jupiter, et à une partie de la population de Transneptuniens (Sierks et al., 2015 ; Capaccioni et al., 2015). Des hétérogénéités de composition et des couleurs de la surface ont été observés durant la mission à différentes échelles spatiales, jusqu'à une résolution de quelque centimètre par pixel. Plusieurs spots brillants et riches en glace d'eau (abondance variable entre quelque percent et 30-40 %) ont été observés sur différents terrains, avec une taille variable du sub-mètre carré jusqu'à 1600 m² (Fornasier et al., 2016, 2017, Deshapryia et al., 2016 ; Barucci et al., 2016 ; Filacchione et al., 2016). Grâce à la résolution spatiale sans précédent, des variations de composition diurnes et saisonnières ont également été observés (De Sanctis et al., 2016 ; Fornasier et al., 2016). Notamment, le noyau est devenu de plus en plus bleu au fur et à mesure

que la comète se rapprochait du Soleil, indiquant une composition de surface enrichie en glace d'eau. Ces variations sont produites par l'intense activité en s'approchant au périhélie qui a progressivement aminci la couche de poussière couvrant le noyau cométaire, laissant affleurer les couches sous-jacentes enrichies en glace d'eau.\nLes résultats obtenus par Rosetta sur les propriétés spectroscopiques du noyau de la comète 67P et sur leurs variations diurnes et saisonnières seront présentés."

Fornasier Sonia

LESIA-Obs. de Paris, Univ. Paris Diderot

La population des géocroiseurs de petite taille : composition et distribution

Auteurs : Fornasier S., Barucci M.A., Perna D., Popescu M., Doressoundiram A., Merlin F., Fulchignoni M., Lantz C.\n\nL'étude des astéroïdes géocroiseurs nous permet d'investiguer à proximité de notre planète des corps qui se sont formés dans des conditions très différentes et donc de contraindre les processus qui ont gouverné la formation et l'évolution du système solaire aux différentes distances héliocentriques. Leurs impacts avec notre planète ont pu enrichir la Terre primitive de composés prébiotiques qui pourraient avoir contribué à l'émergence de la vie. \n\nNous présentons les résultats de la campagne d'observation dédiée aux géocroiseurs de petite taille (< 300m), dont les propriétés physiques et la composition sont peu étudiés alors qu'ils représentent la plupart de la population des géocroiseurs. Dans le cadre du projet Européen NEOSHIELD-2, nous avons obtenu 30 nuits d'observations au télescope ESO-NTT en 2015-2017 pour caractériser la taxonomie, la composition et la minéralogie d'environ 150 objets. Parmi les objets observés, 30 ont une taille < 100m, et 71 sont de taille comprise entre 100m et 300m. Si les astéroïdes silicatés dominent la population, nous trouvons d'une part une surprenante abondance relative, par rapport aux objets plus grand, de géocroiseurs primitifs de type D, riches en matière volatile et organique et avec donc des importantes implications exo-biologiques, et, d'autre part, une abondance relative d'objets de type A, riches en olivine. Ce dernier résultat indique que les objets riches en olivine, qui proviennent du manteau de corps parents différenciés et qui sont relativement rares dans la ceinture principale d'astéroïdes, ont subi une intense fragmentation dans leur histoire collisionnelle.

Fouchet Thierry

Observatoire de Paris / LESIA

Les sources de CO dans l'atmosphère de Saturne

Le CO est une molécule hors équilibre thermochimique dans l'atmosphère superficielle des planètes géantes. Sa présence nécessite donc une source, continue ou sporadique. Grâce à des observations télescopiques à haute résolution spectrale dans le domaine de longueur d'onde de la bande 1-0 du CO (~4.7 µm), obtenues avec les instruments CRIRES/VLT et iSHELL/IRTF, nous montrons que le CO est à la fois présent dans la troposphère vers 2 bars, avec une abondance de l'ordre de 1.2 ppb, et dans la stratosphère. Cette distribution verticale démontre qu'une source interne et une source externe sont présentes simultanément. La source interne est due au mélange vertical (notamment par la convection) et à la présence de CO à l'équilibre thermochimique dans les couches profondes de l'atmosphère (~quelques centaines de bars). Le mélange vertical transporte les masses d'air profondes vers l'atmosphère superficielle plus rapidement que le temps de destruction chimique du CO. L'abondance troposphérique du CO révèle alors l'intensité du mélange. La source externe est plus difficile à identifier.

Mais le spectromètre de masse de Cassini a détecté au moment de la plongée dans Saturne un flux externe à la masse 28 à l'équateur. Nos données et les données de Cassini tendent donc à montrer que du CO tombent dans Saturne dans la région équatoriale, possiblement en provenance des anneaux.

Füri Evelyn

CRPG-CNRS

TRACING THE SOURCE(S) OF LUNAR 'WATER'

Lunar volcanic glasses (LVGs) collected during the Apollo missions are key samples for investigating the isotopic composition and origin of water trapped in the Moon's interior [1-2]. However, the hydrogen (D/H) isotope signature of the LVGs has been modified during their exposure at the lunar surface as a result of solar wind (SW) implantation and cosmic ray induced spallation reactions. Secondary ionization mass spectrometry (SIMS) offers a means for analyzing hydrogen isotopes in the interior of the glass beads, away from the rim that contains implanted SW-derived hydrogen. Nonetheless, the proportion of cosmogenic deuterium needs to be assessed in order to derive the D/H ratio of indigenous lunar water. Therefore, accurate knowledge of the cosmogenic deuterium production rate (PD) at the Moon's surface, as well as of the cosmic ray exposure age of the targeted samples, is critical for assessing the origin of water in the Earth-Moon system. We have recently re-evaluated the lunar PD value through SIMS analyses of hydrogen isotopes in olivines from eight Apollo 12 and 15 mare basalts [3]. The new PD value of $(2.17 \pm 0.11) \times 10^{-12}$ mol(g rock) $^{-1}$ Ma $^{-1}$ is more than twice as high as the previous estimates for the production of D in lunar basalts by galactic cosmic rays. In addition, based on noble gas analyses, we have found that individual LVGs record highly variable irradiation histories due to intense stirring of the regolith by impact gardening [2,4]. Our results indicate that if the D/H ratio is to be used as an indicator for the source(s) of water on inner Solar System bodies, such as the Moon, Mars, Vesta, and the angrite parent body, the appropriate cosmogenic nuclide production rates and CRE ages must be employed for correcting measured D/H ratios for the cosmogenic contribution.

Refs: [1] Saal A.E. et al. (2013) Science, 340, 1317-1320. [2] Füri E. et al. (2014) Icarus, 229, 109-120. [3] Füri E. et al. EPSL, 474, 76-82. [4] Füri E. et al. GPL, under review.

Ganino Clément

Université Côte d'Azur, CNRS, OCA, IRD, Géoazur

A reduced and unstratified parent body for CV chondrites

The most recent models agree to interpret CV chondrites as coming from the unmelted crust of a primitive differentiated body. The disintegration of ^{26}Al would have provided a source of internal heat, and the different degrees of metamorphism and oxidation-reduction recorded by these meteorites would indicate a stratified cooling from above by thermal conduction. Through extensive inventory work on the mineralogy of the secondary phases we demonstrated the presence of minerals that are stable under conditions of very low silica activity. Thermodynamic modeling including the effect of silica activity, allowed us to define the temperature ranges and the oxidation-reduction stability conditions of these minerals. By demonstrating that these phases are all stable under reducing conditions only, we show that the traditional classification between oxidized (CVOxA, CVOxB) and reduced (CVRed) carbon chondrites is no longer necessary. Secondly, we showed that these phases are likely the result of the precipitation from a fluid of low silica activity and reducing ($\text{H}_2/\text{H}_2\text{O}$ ratio, CO/CO_2 high) in

temperature ranges compatible with the preservation of organic matter or of its maturation. These data are in adequacy with the limited presence of serpentine in these meteorites, witness of a weak aqueous alteration of the olivines, principal constituent of the matrix of the carbonaceous chondrites. With these new results, we propose an alternative to the model of thermal stratification of the parent body of carbonaceous chondrites of type CV. Indeed, they show that these secondary phases are the result of the interaction between reducing hydrothermal fluids - which are presumably supercritical - percolating on a small scale (Darcy flow), and a primitive carbonaceous body more or less homogeneous.

GARATE-LOPEZ Itziar

Laboratoire de Météorologie Dynamique

Et si Vénus était icosaédrique ?

L'actuel IPSL Venus GCM utilise un coeur dynamique basé sur une grille classique de longitude et de latitude. Ce type de grille induit des singularités aux pôles et il est nécessaire d'y ajouter un filtre polaire qui filtre les signaux à hautes fréquences, en gardant la même résolution qu'à 60 degrés de latitude, ce qui ne reproduit pas de manière appropriée la région polaire (où un vortex à la forme très variable est présent). \n\nDe plus, il est difficile d'effectuer des simulations à des résolutions spatiales supérieures à 96x96 points de grille (équivalent à 3.75 degrés en longitude x 1.875 degrés en latitude) avec ce coeur dynamique. Nous n'avons donc pas réussi, pour l'instant, à reproduire les structures de petite échelle dans le vortex polaire.\n\nLe nouveau coeur dynamique DYNAMICO développé à l'IPSL et maintenant entièrement implémenté dans le GCM de Venus (Dubos et al. 2015), est basé sur une grille icosaédrique qui évite les singularités aux pôles et permet une haute parallélisation des simulations.\n\nGrâce à ce nouveau coeur, nous pouvons mieux reproduire non seulement l'atmosphère polaire de Vénus, mais aussi les caractéristiques à petite échelle qui apparaissent constamment dans les latitudes moyennes et basses au niveau des nuages inférieurs (45 - 50km d'altitude de la surface) dans les images infrarouges d' Akatsuki (seule mission active autour de la planète actuellement). De plus, nous pouvons étudier l'effet de la résolution verticale dans la simulation des principales caractéristiques atmosphériques de Vénus, comme l'influence du schéma radiatif mieux résolu dans l'origine et le maintien du collier polaire froid (courant d'air plus froid qui entoure de manière permanente le vortex polaire).

Gattacceca Jérôme

CEREGE / CNRS

Two million years of meteorite accumulation in the Atacama desert

The Atacama desert is the hot desert with the highest concentration of meteorites [1,2]. We have estimated the terrestrial age (i.e. the age of the fall on Earth) of 54 meteorites randomly chosen among the ~400 meteorites from the "El Médano dense collection area" [2]. The terrestrial ages were derived from the measurement of the Cl36 content of the metallic fraction of the meteorites at ASTER AMS facility (Aix en Provence). The ages range up to over 2 Myr, with a median age of 570 kyr. About 30% of the meteorites are older than 1 Myr. For comparison, meteorites from other hot deserts and Antarctica have an average terrestrial age of only ~20 kyr and ~50 kyr respectively [3], making the Atacama meteorite collection the oldest one by far. These results are consistent with the old surface

ages of the Atacama desert and the long-standing hyperarid climate [4,5] and offer an explanation for the unusually high number of meteorites that were found in the El Médano area (~160 meteorites per km² [2]). The Atacama meteorite collection offers the unique possibility of studying the meteorite flux to the Earth over the last two million year. For instance, our results suggest that the composition of the meteorite flux has varied over this time scale with H chondrites dominating the flux between the 1400 and 600 kyr and L dominating the flux since then. This result needs to be confirmed by conducting the same type of study in different areas of the Atacama desert. \nReferences: [1] Gattacceca J., Valenzuela M., Uehara M. et al. (2011) M&PS 46:1276-1287. [2] Hutzler A., Gattacceca J., Rochette P. et al. (2016) M&PS 51: 468-482. [3] Jull A.J.T. (2006) Terrestrial Ages of Meteorites, in Meteorites and the Early Solar System, University of Arizona Press. [4] Clarke J. (2005) Geomorphology, 73:101-114. [5] Dunai T.J., Gonzalez-Lopez G.A, Juez-Larré J. (2005) Geology, 33:321-324.

Gautier Thomas

LATMOS / CNRS

Réinterprétation des données de Huygens-GCMS dans la basse atmosphère de Titan

Plus d'une décennie après l'arrivée de la mission Cassini-Huygens dans le système de Saturne, les données obtenues par la sonde Huygens lors de sa descente vers Titan restent l'unique source de mesures in-situ dans la basse atmosphère du satellite. \n\nEn particulier, l'instrument GCMS (Gas Chromatograph Mass Spectrometer) à bord de Huygens a pu effectuer des centaines de spectres de masses à basse résolution en dessous de 150km d'altitude. Ces données ont permis d'obtenir par exemple le profil vertical du méthane, second composant de l'atmosphère, mais également divers ratios isotopiques de l'atmosphère de Titan (Niemann et al. 2005). Cependant ces données n'ont, jusqu'à présent, pas fait l'objet d'une investigation poussée sur l'identification et les abondances de nombreux composés mineurs visibles dans les données. En plus de l'éthane, de nombreux composés organiques volatils traces, prédits par les modèles et mesurés à plus hautes altitudes restent à ce jour non quantifiés dans les données GCMS. Cela est dû en particulier à la résolution relativement faible de l'instrument, et la complexité des spectres de masses obtenus à cause de la fragmentation des molécules détectées par l'instrument par ionisation électronique. \n\nNous présentons une ré-analyse des spectres de masses de GCMS pour identifier et quantifier ces espèces traces en appliquant une décomposition des spectres de masse en utilisant les avancées récentes sur notre connaissance de l'atmosphère de Titan, et sur les méthodes de décomposition spectrale en spectrométrie de masse. Nous présenterons notre approche ainsi que nos premiers résultats sur les profils verticaux des espèces traces rencontrées par Huygens dans la basse atmosphère de Titan. \n\nReferences: \nNiemann et al. 2005, Nature 438 (7069): 779-784

Guerlet Sandrine

Laboratoire de Météorologie Dynamique

La moyenne atmosphère de Saturne : bilan de 13 ans d'exploration avec Cassini/CIRS

"Les observations de l'atmosphère de Saturne effectuées par CIRS, un spectromètre dans l'infrarouge thermique à bord de la sonde Cassini, ont permis un bond en avant dans l'étude de son système atmosphérique. L'analyse de ces spectres a permis de cartographier les champs de température et de composition avec une couverture et résolution spatiale inédites et ce, à différentes saisons. En effet, la

sonde Cassini est restée 13 ans autour de Saturne, soit près d'une demi-année de la planète. Ces résultats apportent des contraintes fortes sur la chimie et dynamique stratosphérique. Nous présenterons les principaux résultats obtenus qui ont permis : 1) la découverte et le suivi d'une oscillation équatoriale périodique, un phénomène de dynamique atmosphérique qui a un analogue sur Terre et Jupiter ; 2) d'étudier la réponse de l'atmosphère au forçage saisonnier, ce qui a permis de révéler des indices de circulation saisonnière à grande échelle et 3) une étude des régions polaires, anormalement chaudes et qui sont le lieu d'une chimie ionique (en lien avec le bombardement auroral) créant des espèces complexes comme du benzène et des aérosols carbonés."

Harel Ludivine

Laboratoire de Plantologie et Géodynamique

Modélisation du transfert de chaleur dans les satellites glacés de Jupiter et Saturne

Dans le système solaire externe, de nombreux corps planétaires sont composés d'une importante quantité d'eau, sous forme solide et liquide. Les missions spatiales vers les satellites de Jupiter (Galileo) et de Saturne (Cassini-Huygens) ont ainsi mis en évidence la présence d'océans liquides salés sous la surface glacée de plusieurs de ces corps, notamment sur Europe, Callisto, Ganymède, Titan ou encore Encelade. L'épaisseur de la couche de glace externe, séparant l'océan des conditions extrêmement froides de la surface, varie d'un satellite à un autre, de quelques kilomètres pour les zones les plus actives d'Encelade, par exemple, jusqu'à plus de 100 km pour les satellites les moins actifs, comme Callisto. L'épaisseur actuelle de ces couches de glace nous renseigne sur le degré d'activité interne du satellite ainsi que sur son évolution passée. Pour mieux contraindre le lien entre la structure actuelle des satellites et leur histoire thermique, il est donc nécessaire de caractériser au mieux le transfert de chaleur à travers la couche de glace et les processus de cristallisation des océans internes. Les buts de cette étude sont (i) de modéliser l'efficacité du transfert de chaleur à travers la couche de glace en utilisant un code de convection thermique et (ii) de dériver des nouvelles paramétrisations du transfert de chaleur pouvant être par la suite intégrées dans des modèles d'évolution globaux. La plupart des études précédentes se sont basées sur des lois rhéologiques simplifiées pour décrire le comportement visqueux de la glace. Dans la présente étude, nous considérons des lois de viscosité plus réalistes, prenant en compte les différents modes de déformation de la glace compatibles avec les données expérimentales existantes. Des campagnes de simulations numériques avec différentes rhéologies ont été réalisées, en utilisant un code de convection thermique en géométrie d'anneau sphérique 2D. L'exploration systématique des différents paramètres (température, taille de grains, contraintes) nous permet de proposer des nouvelles lois d'échelles pour la description du transfert de chaleur dans les intérieurs glacés des lunes de Jupiter et de Saturne.

INGRAO Nathan Joseph

Laboratoire Magmas et Volcans

Etude expérimentale du comportement des lanthanides dans les chondrites à enstatites et les phases vapeurs associées

Pour étudier la mobilité des terres rares dans les conditions de nébuleuse solaire, nous avons réalisé une étude expérimentale sur la volatilité des terres rares et le partage gaz/liquide de ces éléments. Il s'agit de la première étude expérimentale de ce type. Une chondrite naturelle a été broyée et dopée en

terres rares et en sulfures (CaS ou FeS). Les mélanges ont été placés dans des creusets en graphite et chauffés à 1300 ou 1400°C à 10-3 mbar de 1 à 100h dans des tubes en silice évacués. Le résultat est une association de verre silicaté, des sulfures, de métaux et de minéraux silicatés. Sur les parois des tubes, on note la présence de dépôts qui indiquent un transport de matière en phase vapeur. La partie résiduelle contenue dans les creusets a été analysée à la microsonde électronique pour les majeurs et à l'ICP-MS par ablation laser pour les éléments en traces. Les dépôts piégés à différentes températures ont été prélevés en différents endroits des tubes et leurs concentrations en terres rares ont été mesurées par ICP-MS en mode solution. Pour évaluer le fractionnement des terres rares durant l'évaporation les concentrations de terres rares mesurées ont été normalisées au Lu, et le rapport Lanthanide/Lu du dépôt a été normalisé à celui du résidu. Pour toutes les expériences les dépôts piégés dans la partie froide montrent des anomalies positives en Eu et Yb et les dépôts de la partie chaude montrent des anomalies négatives en Eu et Yb. Les spectres d'abondances pour la partie froide montrent une concavité vers le haut à l'inverse des expériences de partage sulfure/liquide. Ces spectres sont proches de ceux observés dans les CaS des chondrites à enstatite de type EH. Ces résultats confirment que les sulfures des EH pourraient s'être formés par condensation. Il semble aussi possible d'identifier l'origine des CaS des chondrites à enstatite d'après leurs spectres de terres rares. Les fractions de terres rares volatilisées ont été obtenues par bilan de masse. Pour les expériences avec FeS elles sont 100 à 1000 fois plus importantes que pour les autres expériences. Nos expériences apportent des éléments pour évaluer la mobilité des terres rares dans une nébuleuse solaire très réductrice riche en S.

Jovanovic Lora

Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales

Etude de la composition chimique d'analogues d'aérosols de Pluton

Au cours de l'orbite de Pluton, les glaces de N₂, CH₄ et CO présentes à sa surface subissent un cycle de sublimation/condensation qui alimente son atmosphère ténue (Stern et al. 2015, Forget et al. 2017). Cette atmosphère composée de N₂, CH₄ et environ 500 ppm de CO (Young et al. 2018, Lellouch et al. 2017) a été suspectée comme étant le siège de la production d'aérosols. Ces aérosols ont finalement été mis en évidence, jusqu'à plus de 350 km d'altitude, lorsque Pluton a été survolée par la sonde New Horizons le 14 juillet 2015 (Young et al. 2018). Afin de mieux comprendre la chimie atmosphérique et le climat de Pluton, mais aussi pourquoi cet objet présente une surface si hétérogène, il est important d'étudier les propriétés physico-chimiques de ces aérosols. Pour ce faire, nous avons synthétisé des analogues d'aérosols de Pluton, aussi appelés tholins, à l'aide de l'expérience PAMPRE (Szopa et al. 2006). Nous présenterons les premières mesures effectuées sur ces tholins par spectrométrie de masse haute résolution (Orbitrap). Ces analyses ont permis de déterminer la composition moléculaire des analogues d'aérosols de Pluton. Nos mesures indiquent que, comparativement aux tholins de Titan, principalement composés d'hydrocarbures et de molécules organiques azotés (Vuitton et al. 2010, Gautier et al. 2011), les tholins de Pluton comportent également des molécules organiques oxygénées en grandes quantités. Les mesures faites en spectroscopie infrarouge par réflectance totale atténuée suggèrent que l'incorporation d'oxygène dans les molécules constitutives des aérosols de Pluton puisse se faire sous la forme de fonctions carbonyle, amide et alcool.

Lagain Anthony

GEOPS / Paris-Saclay University

Martian crater database: Reviewing and adapting to surface ages measurement.

Counting craters on a planetary surface is currently the only way to access to its emplacement age and therefore to reconstruct the geological evolution of a planet. However, this technique requires a laborious mapping and morphological recognition of a large number of impact craters. The using of a crater database is therefore a convenient tool to deduce ages of planetary surfaces. Currently, the most complete database of Martian impact craters has been published by Robbins & Hynes (2012) and contains more than 384 000 impact craters larger than one kilometer of diameter. Nevertheless, a large number of false detections have been highlighted by N. Barlow (LPSC, 2017) and A. Lagain et al. (Planetary Mapping and Virtual Observatory Workshop, 2017). Moreover, craters smaller than 3 kilometers of diameter do not have morphological information. This lack of completeness could bias the using of this database for an age dating due to the inclusion of secondary or palimpsests craters, structures contained in this database but to avoid during a counting.

In this context, we have developed a web interface allowing to 56 participants specialized in planetary sciences to manually review the Robbins and Hynes's catalog and to classify the morphology of all impact structures contained in this database with common guidelines. The classification chosen for this study includes secondary, palimpsests, layered ejecta craters, erroneous entries and craters without morphological specific aspects. This new catalog has been then converted for age-dating measurement and is distributed through different platform (VESPA, USGS, zenodo). Differences of surface ages obtained with our catalog and from the original version have been estimated for all geological units and can reach 1.5 Gyr.

This work is of broad interest to the planetary science community as it provides for the first time a database adapted to martian surface age dating and morphological classification of more than 384.000 impact craters larger than 1km in diameter. This new database open promising perspectives for future studies in martian geochronology and processes connected with impact craters.

Lamy Laurent

LESIA, Observatoire de Paris

Saturn's northern aurorae at solstice from HST observations coordinated with Cassini's Grand Finale

Saturn's northern far-ultraviolet aurorae have been regularly observed throughout 2017 with the Space Telescope Imaging Spectrograph (STIS) of the Hubble Space Telescope (HST), during northern summer solstice (see Figure 1). These conditions provided the best achievable viewing of the northern kronian auroral region for an Earth-based telescope and a maximal solar illumination, expected to maximize the magnetosphere-ionosphere coupling. The HST observations were coordinated with in situ measurements along the path of the Cassini spacecraft across auroral field lines during the Grand Finale. In this study, we analyze 24 STIS images concurrently with quasi-continuous Cassini/RPWS measurements of Saturn's Kilometric Radiation and solar wind parameters derived from numerical MHD models. The observed northern aurorae display highly variable auroral components, with a total power ranging from 7 to 124 ± 11 GW. They include a prominent main oval poleward 72° latitudes which bears clear signatures of the solar wind and planetary rotation control, frequent cusp emissions near noon, with an unusually bright event which radiated 13 ± 1 GW, and a dayside weak secondary oval situated around 70° latitude. On average, the northern aurorae display a strong LT dependence with two maxima at dawn and pre- midnight, the latter being attributed to regular nightside injections possibly associated with solstice conditions, but no obvious rotational dynamics. These results provide

a reference frame to analyze Cassini in situ and/or remote measurements, whether simultaneous or not. The HST processed observations of Saturn are available through the APIS service at <https://apis.obspm.fr>

Langlais Benoit

Laboratoire de Planétologie et Géodynamique, CNRS & Université de Nantes

Vers un nouveau modèle du champ magnétique martien

Auteurs : Benoit Langlais, Erwan Thébault, Aymeric Houliéz
Mars est la seule planète du système solaire (à part la Terre) autour de laquelle plus d'un satellite (embarquant un magnétomètre) a orbité. Deux missions, Mars Global Surveyor (MGS, 1996-2006) et Mars Atmosphere and Volatile Evolution (MAVEN, depuis 2014) ont ainsi effectué des mesures magnétiques précises et distribuées globalement. MGS a fourni des couvertures répétées à 2:00 et 14:00, sur une orbite quasi circulaire à une altitude de 400 km. Cette configuration permet une séparation aisée des composantes statiques (crustales) des composantes variables (externes), avec en plus la possibilité d'estimer le niveau d'activité magnétique externe comme on peut le faire sur Terre grâce aux indices magnétiques. MGS a aussi effectué des mesures à plus basse altitude (jusqu'à 90 km, principalement du côté jour), et embarquait également un réflectomètre d'électrons, donnant accès à des estimations indirectes de l'intensité du champ magnétique à une altitude proche de 185 km. MAVEN est sur une orbite plus elliptique, fournissant des mesures à des heures locales et altitudes variables. Ces deux missions sont très complémentaires : ensemble elles permettent d'améliorer la description et la modélisation du champ magnétique martien, à une très haute résolution spatiale. Ce nouveau modèle est basé sur une représentation en sources dipolaires équivalentes, dans laquelle les sources sont placées de façon homogène sous la surface martienne. Le modèle utilise des données soigneusement sélectionnées et validées, en utilisant entre autres un indice magnétique martien défini localement. Les segments orbitaux sont traités individuellement pour identifier et éliminer les outliers. Le modèle final a une résolution spatiale proche de 100 km. Ce modèle est ensuite converti en harmoniques sphériques jusqu'au degré 140, afin d'estimer à la surface de Mars le champ magnétique crustal. A l'échelle locale les anomalies sont bien mieux définies, avec des contrastes plus importants entre zones aimantées et non aimantées. Ce modèle doit permettre une interprétation plus aisée des aimantations très fortes trouvées sur Mars. Différents exemples seront présentés et discutés.

Langlais Benoit

Laboratoire de Planétologie et Géodynamique, CNRS & Université de Nantes

Le champ magnétique de Mercure : composantes statiques et variables

"Auteurs : Ingo Wardinski, Erwan Thébault, Joana Oliveira et Benoit Langlais
La mission MESSENGER (2011-2015) a survolé Mercure sur une orbite polaire, très elliptique, ne permettant de mesurer le champ magnétique herméen qu'au-dessus d'une partie de l'hémisphère nord. Les modèles du champ magnétique de Mercure doivent donc être construits avec soin, afin d'éviter les biais de corrélation entre les différents coefficients. Nous avons abordé ce problème sous différentes approches. 1/ des sources dipolaires profondes ; 2/ des harmoniques sphériques sur des calottes polaires; 3/ une solution globale en harmoniques sphériques. Les approches 1 et 2 permettent une représentation du champ herméen dans l'hémisphère nord jusqu'à une résolution élevée mais sans contraindre la morphologie

du champ dans l'hémisphère sud. Au contraire, l'approche 3 permet d'estimer le champ dans l'hémisphère sud mais reste très limitée en résolution spatiale. Les trois approches convergent cependant pour les grandes échelles : le champ magnétique herméen est fortement axial, l'équateur magnétique est (à la surface) shifté dans l'hémisphère nord, et le ratio quadrupole/dipole axial est plus important que pour le champ géomagnétique, proche de 0.27. \nQuelle que soit l'approche choisie, les résidus (ou le champ non modélisé) restent importants. Nous avons entrepris une modélisation de ces résidus avec une dépendance temporelle. En considérant les 4 années de mesures, et en n'utilisant que 3 à 5 jours de mesures, nous avons modélisé le champ en harmoniques sphériques jusqu'au degré 3 et 1 pour le champ interne et externe, dans un système planétocentrique fixe sur Mercure (MBF) et dans un système centré sur Mercure mais dont les axes dépendent de la position du Soleil (MSO). Les résultats montrent une forte corrélation entre les termes internes et externes, avec en plus un comportement périodique (période principale autour de 88 jours, ou une année sur Mercure). Ceci confirme une source origine externe, liée à la rotation de Mercure autour du Soleil, avec une contrepartie interne en phase. Les premières analyses montrent que les processus pouvant créer ces forts champs magnétiques résultent d'interactions entre le champ interne et le champ interplanétaire et le vent solaire dans la magnétosphère, et/ou la réponse induite de l'intérieur de Mercure à ces champs variables."

Larre Chloé

H2O behavior in a iron-rich melt : application to basalt on Mars

Main author : Chloé LARRE(1)\nCo-author : Yann MORIZET(1), Philippe NAVARO(1,2), Nicolas MANGOLD(1)\n\n1 Université de Nantes, Faculté des Sciences et Techniques, Laboratoire de Planétologie et Géodynamique (LPG), UMR CNRS 6112, 2 rue de la Houssinière, 44322 Nantes, France\n2 Université de Nantes, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Physique, 2 rue de la Houssinière, 44322 Nantes, France\n\n\n\nThe surface of Mars has been studied by various landed and orbital spatial missions. The Curiosity rover is currently analyzing rocks on Mars using several tools and gives us the chemical compositions of the basalts. Many igneous rocks have been detected on the surface, and basaltic rocks represent the most abundant part. \nMartian basalts are different from Earth basalts since their FeOtot content is about 20 wt % in average, for only 10 wt % for the Earth's basalts. Based on the analyses of Martian meteorites, the Martian mantle is thought to be strongly depleted with respect to H2O (hundreds of ppm) and CO2. However, the volatile budget of the Martian mantle is still debated. Currently, there is no H2O solubility data for a Martian basaltic melt equilibrated at high pressures and temperatures. \nWe have conducted high pressure (0.5 – 1.5 GPa) and high temperature (>1550 °C) experiments on a Martian basalt-like composition (15.5 wt % FeOtot). These experiments were in equilibrium with an H2O fluid phase. Two experiments with earth basalt composition were synthesized. Experiments were analyzed by Raman spectroscopy. \nWhen comparing earth basalt and martian basalt Raman signatures we observed a strong structural modification between the two. Indeed, it seems that increasing FeO content changes drastically the structure of the melt. These new spectral data will be helpful for the future spatial mission Mars 2020. \n\nThe results reveal that H2O solubility is extremely low in a Fe-rich melt. At 1 GPa, 3 wt % H2O initial, the H2O solubility can only reach 1.5 wt %. Compare to literature model based on earth basalts, our results on H2O content for the different pressures tested are very low for martian basalts. This suggests that earth models can not be apply on Mars. \n\nOur first results suggest that the FeO content appears to have a strong control on the structure of the melt and on the H2O dissolution in a Martian basalt anaologue. It also implies that this Fe-rich melt is not a good carrier of H2O from the mantle to the surface.

Le Corvec Nicolas

Laboratoire Magmas et Volcans

Giant dike systems on Venus: flexural deformation and elliptical magma reservoirs

Giant radial and circumferential dike systems surrounding large calderas at the surface of Venus may provide valuable information on the magmato-tectonic processes occurring at depth. In order to evaluate the extent to which magma reservoir geometry dictates the formation of magma intrusions within the Venusian lithosphere and thus the fracture pattern at the surface, we develop axisymmetric elastic finite element models of oblate ellipsoidal reservoirs. In each gravitationally-loaded model subjected to upward flexural deformation, we increase the overpressure within the reservoir until it reaches tensile failure, assess the rupture location and initial magma intrusion geometry produced, and then evaluate if the propagating intrusion will realign when encountering variations in the surrounding host rock stress field. We tested the elastic thickness of the lithosphere, the depth of the reservoir and its oblateness. Our results show that oblate reservoirs fail at their mid-section and favor the generation of sills. However, we show that during lateral propagation away from oblate reservoirs such sills can realign and, depending on the depth of the reservoir, orientation and magnitude of the local stress induce eventual transition to either circumferential or radial dike geometries. The competition between magmatic versus tectonic is therefore a key control on magmatism, however better resolution of the surface is needed to improve quantification of the past tectonic stress of Venus and understanding on underground magma propagation.

Le Gall Alice

LATMOS

Les satellites glacés de Saturne aux micro-ondes

"Pendant plus de 13 ans la sonde Cassini a ausculté le système de Saturne notamment dans le domaine micro-onde grâce au radar à son bord. Le Radar de Cassini, principalement conçu pour l'observation de la surface de Titan à travers le voile de son atmosphère, a aussi observé occasionnellement les surfaces/subsurfaces d'autres lunes de Saturne : Mimas, Encelade, Téthys, Dioné, Rhéa, Phæbé, Hypérion et Japet. Ces observations ont mis en évidence, entre autres, les paysages variés de la surface de Titan, des anomalies thermiques dans le sous-sol du Pôle Sud d'Encelade et des interactions entre les satellites et les anneaux de Saturne. Nous nous proposons de dresser un bilan (non exhaustif) des observations des lunes de Saturne par le Radar de Cassini en soulignant notamment les différences entre satellites qu'elles ont révélées. Ces différences témoignent d'histoires diverses. Nous décrirons également le programme d'observations que nous avons lancé pour poursuivre, depuis la Terre, l'étude des satellites de Saturne dans le domaine micro-onde."

Le Guillou Corentin

CNRS - Université de Lille

WATER CONTENT IN AMORPHOUS SILICATES OF CHONDRITE MATRICES DETERMINED BY ADVANCED TEM ANALYSIS

"In carbonaceous chondrites, hydroxyl groups in silicates are the result of the hydrothermal interaction between the accreted water ice and anhydrous materials. Amorphous silicates have now been identified as the most abundant phase in the matrices of all weakly altered chondrites. Quantifying their water content in different chondrite groups is crucial to understand hydrothermal episodes as well as the nature of dust in the early solar system.

To determine the water content of submicrometric amorphous particles, we developed an original method using TEM-EDS. Thanks to the new generation of EDS detectors, we are able to precisely quantify the O/Si ratio, and, in turn, the water content. Using a set of references, we calibrated the TEM and developed a python program correcting for absorption (low energy X-rays such as O-K lines are absorbed by the sample itself which biases the O/Si ratio) and calculating the water content assuming material electroneutrality. Water content can be obtained with a precision better than 1 wt. %. We then measured amorphous silicates on FIB sections from various pristine chondrites. X-ray microscopy at the Fe-L edge was first performed to determine the Fe³⁺ content of the amorphous silicate, required to calculate the water content (Fe³⁺/ΣFe values range from 60 to 75%).

In Renazzo, the amorphous silicate domains have a mean Fe/(Fe+Mg) ratio of 0.44, a stoichiometry close to serpentine ((Fe+Mg)/(Si+Al) ~ 1.4), and contain 9.5 wt.% H₂O. In ALH 77307, oxide, enstatite, CaMg-pyroxene, Fe-olivine (Fa₄₀ with Ni/Si up to 0.04 at.%), Fe-sulfides, Fe-Mg sulfate and organics were found in addition to amorphous silicate. The latter is more Fe-rich (Fe/(Fe+Mg) ~ 0.6) than in Renazzo. Its stoichiometry is also close to serpentine ((Fe+Mg)/(Si+Al) ~ 1.3 – 1.7) but it is more heterogeneous. Some regions show high Ni and S contents (Ni/Si = 0.2; S/Si = 0.15) and the water content varies between 7 and 12 wt. %.

These analyses demonstrate the presence of a significant amount of water in the amorphous silicate of CR chondrites and CO chondrites. The enhanced measurement accuracy also enables to show that the water content is heterogeneous at the sub-micrometer scale, possibly due to heterogeneous water distribution in the matrix.

The more complex assemblages and higher Fe, Ni and S contents in ALH 77307 might reflect alteration at higher temperature, but from a similar precursor."

Le Guillou Corentin

CNRS - Université de Lille

FUNCTIONAL GROUPS QUANTIFICATION OF CHONDRITIC ORGANICS BY XANES SPECTROSCOPY

"Scanning transmission X-ray microscopy (STXM) at the Carbon K-edge allows to study the origin and evolution of organic matter (OM) in chondrites by revealing its molecular composition at a spatial resolution of 30 nm. Functional groups such as aromatics, ketones, or aliphatics can be identified, but so far, it has only been used to detect the functional groups and to qualitatively compare their relative abundances. Here, we developed a calibration based on reference materials and a data analysis strategy that allow to quantify the functional group concentration. It is then applied to chondritic organics measured in situ within FIB sections extracted from the matrices of carbonaceous chondrites.

Reference polymers and natural OM covering a range of aromatic and aliphatic carbon concentrations were measured at different synchrotrons. Power law background subtraction and normalization to the total amount of carbon is applied to the spectra, which are then fitted using

Gaussians placed at given energies. We also wrote a python program which automatically performs this data treatments. We obtained good calibration curves between the known functional group concentration and related Gaussian heights: aromatic-olefinic carbon ($R^2 = 0.98$); ketones-phenol-nitrile groups ($R^2 = 0.94$); aliphatics ($R^2 = 0.9$); and carboxylics ($R^2 = 0.77$). Altogether, we demonstrate that it is possible to determine the absolute molecular composition of complex OM. So far, only Nuclear Magnetic Resonance could provide this quantification, but it requires OM separation and can't be applied in situ. Insoluble organic matter (IOM) in Murchison and Paris contains 40 % of aromatic-olefinic groups, 14% of ketone/phenol/nitrile, 35% of aliphatics and 5% of carboxylic groups. In situ analysis reveals two types of OM: i) sub-micrometric particles, and ii) diffuse OM intimately embedded within phyllosilicates at the nanometer scale, which is less aromatic (~20-30% vs. 45%) and more carboxylic-rich (7-10% vs. 4%). These different occurrences and chemistry can be explained by the selective association of smaller and more soluble molecules with phyllosilicates. With increasing alteration (CR2 to CR1), increasing aromatization is also observed. Altogether, this work offers an alternative approach to quantify the molecular composition of complex organic material, and thus allows to refine our understanding of organics evolution in carbonaceous chondrites."

Léard Pierre

IRPHE

Ondes internes de gravité générées par turbulence et interactions non-linéaires

Nous nous intéressons aux écoulements induits par la présence d'une couche de fluide stratifié située au-dessus d'une couche convective turbulente. On retrouve ce type de configuration dans les atmosphères planétaires ainsi que dans la plupart des étoiles et certaines preuves récentes suggèrent une couche stratifiée dans le noyau terrestre. L'étude de la dynamique de la couche stratifiée dans ce type de configuration a longtemps été négligée. Elle nécessite pourtant une étude approfondie : la convection excite des ondes internes de gravité. Ces ondes peuvent interagir entre elles et générer des écoulements grandes échelles (ex : Oscillation Quasi-Biennale (QBO) dans l'atmosphère terrestre, Oscillation Quasi-Quadriennale pour l'atmosphère de Jupiter, ...). Cette thèse propose une approche expérimentale de ce problème, ainsi qu'une modélisation théorique. Deux dispositifs expérimentaux complémentaires sont utilisés pour étudier la génération d'ondes internes par turbulence. Dans le premier, on utilise une propriété particulière de l'eau : son maximum de densité est atteint à 4°C. Ainsi, en refroidissant une colonne d'eau par-dessous à 0°C et en le réchauffant à une température donnée (supérieure à 4°C) par le dessus, on obtient spontanément la configuration voulue, avec une couche turbulente convective située en dessous d'une couche stratifiée stable. Dans la seconde expérience, des jets génèrent un écoulement turbulent impactant la couche stratifiée. La stratification est contrôlée par différents types de sels dissous dans l'eau, permettant de recréer différentes fréquences de flottabilité. Je présenterai dans un premier temps les caractéristiques statistiques des ondes internes de gravité générées. Dans un second temps, je présenterai le phénomène de QBO et je montrerai, avec un modèle théorique et des simulations numériques, comment les interactions non linéaires entre ondes peuvent générer un écoulement moyen, avec présence d'un renversement ou non. A plus long terme, l'influence de la rotation sera étudiée en plaçant les bancs expérimentaux sur table tournante.

Leblanc François

LATMOS/CNRS

L'argon exosphérique vue par NGIMS/MAVEN comme signature des mécanismes d'échappement atmosphérique martien

"La mission de la NASA MAVEN est en orbite autour de Mars depuis fin 2014. Cette mission, grâce à un ensemble d'instruments dédiés, a permis d'observer pour la première fois plusieurs signatures de l'échappement atmosphérique martien. Récemment, nous avons démontré la possibilité de reconstituer la densité exosphérique de l'argon sur une large gamme d'altitude. Le profil de densité observé montre très clairement l'existence de deux populations, une population thermique provenant de l'atmosphère et une population supra-thermique produite par les mécanismes que l'on soupçonne être à l'origine de l'érosion de l'atmosphère. Ces observations ouvrent donc la possibilité de contraindre indirectement ces mécanismes, notamment l'effet des particules énergétiques précipitant dans l'atmosphère martienne, un mécanisme connu sous le nom de "sputtering"."

LEBONNOIS Sébastien

Laboratoire de Météorologie Dynamique, CNRS

Dynamique de l'atmosphère de Vénus

Dynamique de l'atmosphère de Vénus
Sébastien Lebonnois, François Forget, Itziar Garate-Lopez, Maxence Lefèvre, Arthur LeSaux, Aymeric Spiga (LMD/IPSL), Anni Määttänen, Franck Lefèvre (LATMOS/IPSL), Gerald Schubert, Thomas Navarro (UCLA, USA)
Le modèle de climat (GCM) de l'atmosphère de Vénus a atteint ces dernières années un degré de maturité permettant une analyse en profondeur de nombre de questions d'actualité sur les mécanismes qui contrôlent le climat vénusien.
Le rôle de diverses ondes de grande échelle dans le mécanisme de la superrotation est analysé: dans et au-dessus des nuages pour les marées thermiques, à différents niveaux dans le nuage pour les ondes baroclines et barotropes, dans l'atmosphère profonde pour des ondes d'inertio-gravité.
La prise en compte d'un modèle récent de nuage dépendant de la latitude a permis une représentation réaliste du collier froid dans les régions polaires.
La structure de l'atmosphère profonde et de la couche limite a fait l'objet d'une étude particulière, montrant le cycle diurne de la convection proche de la surface et l'influence des vents de pente sur l'extension verticale de cette couche limite convective.
Le GCM inclut désormais un module de photochimie et un module de microphysique ouvrant la possibilité d'explorer le cycle du soufre. Il s'étend aussi verticalement vers la thermosphère.
La paramétrisation des petites échelles est un enjeu important pour contrôler la sensibilité du GCM. Nous développons une hiérarchie de modèles s'appuyant sur la même physique pour permettre d'explorer les différentes échelles : résolution de la turbulence (local), méso-échelle (régional) et GCM (global). La région convective du nuage et les ondes de gravité qu'elle génère ont été analysées. Les ondes stationnaires générées par le relief et récemment observées par la sonde japonaise Akatsuki ont également pu être reproduites, à la fois par des simulations régionales et par une paramétrisation spécifique dans le GCM.
La mise en place d'une base de données pour faciliter l'accès de la communauté à nos simulations permettra de répondre aux nombreuses sollicitations internationales reçues par notre équipe.

Leleu Adrien

NCCR-PlanetS (Université de Berne - Suisse).

Evolution of trojan exoplanets in protoplanetary discs

Despite the existence of co-orbital bodies in the solar system, and the prediction of the formation of co-orbital planets by planetary system formation models, no co-orbital exoplanets (also called trojans) have been detected so far. We investigate how a pair of trojan exoplanets would fare during their migration in a protoplanetary disc. To this end, we start with an analytical study of the evolution of two planets near the Lagrangian equilibria L4 and L5, identifying for which values of the disc parameters and planet masses these equilibria are either attractive or repulsive. We then compare these results to hydrodynamical simulations, where both type-1 and type-2 migration are studied. Finally, we study the evolution of co-orbital configurations using a planetary system formation model that simulates the orbital evolution of the planet over the disc lifetime. Depending on the parameters of the disc, and the orbital parameters and masses of the planets, the system can either evolve toward the Lagrangian equilibrium, or tend to increase its amplitude of libration, possibly all the way to horseshoe orbits or even exiting the resonance. The stability in the direction of the eccentricities and the inclinations is also studied.

LEROUX Hugues

Unité Matériaux et Transformations - Université de Lille

Matériaux à grains fins des matrices de chondrites carbonées primitives

Les chondrites sont constituées de chondres, d'inclusions réfractaires et d'un ciment inter-chondre (appelée matrice). L'étude de ces composants apporte des informations essentielles sur les processus qui ont transformé la matière du disque protoplanétaire, avant l'accrétion des planétésimaux. L'étude présentée concerne la matière à grains fins de la matrice d'une chondrite primitive carbonée (Acfer 094). Nos travaux ont été réalisés par microscopie électronique en transmission analytique (META). La matrice est constituée de grains de taille sub-micrométrique, qui sont essentiellement du silicate amorphe, mais aussi des grains cristallins d'olivine, de pyroxène et de sulfure de fer. La phase amorphe a une composition moyenne proche de la composition solaire, avec néanmoins un enrichissement en fer. Localement, cet amorphe est transformé en phyllosilicate. Ces caractéristiques montrent que l'objet a été exposé à une altération aqueuse d'intensité modérée. La phase amorphe enferme de nombreux silicates cristallins en forme de grappes de petits grains. Ces agrégats cristallins sont particulièrement intéressants car ils témoignent d'un processus de haute température. La matrice est donc constituée d'un assemblage non équilibré de phases de basse et de haute température. Cela vient renforcer les modèles de dynamique des disques protoplanétaire qui suggèrent un mélange radial important avant l'accrétion des planétésimaux. Enfin, nous avons étudié des interfaces matrice/fragment de chondre (olivine). Dans la majeure partie des cas, nous n'avons détecté aucun indice d'interaction entre ces deux composants. Nous avons découvert toutefois que certains de ces fragments présentaient des profils de composition Fe-Mg au contact des silicates amorphes. La diversité des profils montre qu'ils ont une origine préaccrétionnelle. Ils ne peuvent s'expliquer que par un événement thermique dans la nébuleuse protosolaire, avant l'accrétion sur le corps parent.

Lesage Elodie

GEOPS, Paris-Saclay, Univ. Paris-Sud

Remontée de cryomagma sur Europe

La surface glacée d'Europe présente des structures morphologiques, associées à une faible densité de cratères, ce qui montre une activité interne récente. En particulier, la morphologie lobée de plaines lisses couvrant des terrains plus anciens ainsi que leur relation avec les structures alentour suggère qu'elles résultent d'écoulements liquides. De plus, la littérature récente explique l'emplacement de nombreux modelés tels que les doubles rides, lenticulae et chaos par la présence de réservoirs d'eau liquide en sub-surface. Nous estimons le temps nécessaire pour geler suffisamment un réservoir sous-terrain afin de générer une éruption. Nous modélisons aussi la remontée d'eau liquide depuis le réservoir vers la surface d'Europe à travers un dike. Nous obtenons l'échelle de temps de l'éruption ainsi que le volume de cryomagma émis en surface lors d'une éruption en fonction de la profondeur et du volume du réservoir. Compte tenu des données disponibles concernant la densité et la température eutectique des solutions aqueuses proposées pour la composition d'Europe, nous discutons les effets de la composition du cryomagma sur les résultats du modèle.

LEVY Dan

IMPMC

Origine des phases d'altération contenues dans les xénolithes d'une inclusion réfractaire

Les inclusions réfractaires des météorites chondritiques, riches en calcium et aluminium (CAIs), sont les plus anciennes roches formées dans le système solaire. Elles se sont formées à haute température dans les régions internes et témoignent de conditions de formation réductrices. Ces inclusions comportent aussi des phases d'altération généralement attribuées au passage d'un fluide sur le corps parent de la météorite. Cependant, l'étude d'une CAI provenant de la météorite CV3 réduite Efremovka étudiée par El Goresy et al (2002) et Aléon et al (2018), nommée E101.1, pourrait contenir des phases d'altération formées lorsque la CAI était encore un objet libre dans le gaz de la nébuleuse protosolaire. Pour déterminer si les inclusions réfractaires ont été mises en présence de gaz oxydant dans la nébuleuse protosolaire, nous avons entrepris une étude détaillée des phases d'altération de cette CAI. Ce projet fait l'objet d'une thèse commencée fin 2016. \nUne caractérisation minéralogique a été effectuée par microsonde électronique, par microspectroscopie Raman et infrarouge et par microscopie électronique à transmission. Les premiers résultats obtenus montrent un assemblage minéral exotique incluant Fe-akermanite, kirschsteinite et wollastonite, la présence de verre et une incorporation précoce d'éléments volatils. \nEn parallèle de l'étude pétrographique de E101.1, l'imagerie du D/H dans les minéraux faiblement hydratés (<2 wt% H2O) sur section FIB a été développée par NanoSIMS pour déterminer la composition isotopique de H du fluide oxydant responsable de la formation des phases d'altération. En effet, la présence ou l'absence d'anomalie isotopique pourra permettre de comprendre le contexte de formation nébulaire ou astéroïdal de ces phases.

LEYRAT Cedric

LESIA

Cartographie des propriétés thermiques de la comète Churyumov-Gerasimenko (67/P C-G) avec VIRTIS/Rosetta

La mission Rosetta (ESA), qui a exploré la comète Churyumov-Gerasimenko (67/P C-G) a permis de mieux comprendre les processus d'évolution d'une comète au cours de son orbite autour du Soleil. Parmi les mécanismes prépondérants façonnant l'évolution à long terme de la comète, l'érosion de la surface par éjection de poussière et des volatiles piégés sous la surface lorsqu'ils sont chauffés par le Soleil, joue un rôle majeur. L'orbite elliptique couplée à un axe de rotation très incliné produisent des forts contrastes de chauffage entre les deux hémisphères produisant un transfert de masse de l'hémisphère Sud vers l'hémisphère Nord. Les propriétés thermiques du sous-sol proche (et notamment l'inertie thermique) contrôlent les fluctuations diurnes et saisonnières des températures et donc l'érosion de la surface.

Le spectromètre VIRTIS (Visible and InfraRed Thermal Imaging Spectrometer) embarqué sur la sonde Rosetta a observé la surface entre 1 et 5 microns, permettant de mesurer la température de surface de la comète. A partir de ces mesures, et en utilisant un modèle thermique dans le proche sous-sol, prenant en compte les effets de rugosité de terrain à petite échelle mais aussi les effets associés à la forme complexe de la comète (ombres mutuelles, chauffage mutuel), il est possible d'estimer les propriétés thermiques en chaque région géomorphologique de la comète. Ces propriétés thermiques peuvent ensuite être comparées aux signatures géomorphologiques et aux champs de gravité local afin de mieux contraindre les processus évolutifs (éboulements, cohésion, transferts balistiques des poussières...). Nous présenterons une carte complète des propriétés thermiques et nous les interpréterons afin de mettre en avant les processus évolutifs de la surface d'une comète.

LOGNONNE Philippe

Institut de Physique du Globe de Paris

InSight : Objectifs Scientifiques de SEIS et de la mission

L'atterrissage de la mission InSight ouvrira, 130 ans après les premières observations de télé-séismes terrestres et 50 ans après les débuts de la sismologie Lunaire d'Apollo une nouvelle page de la planétologie comparée, en permettant l'imagerie sismique de deux planètes telluriques différentes du système solaire. L'objectif scientifique de SEIS est donc tout naturellement de déterminer le rayon de Mars, de confirmer son état liquide, de déterminer l'épaisseur crustale et d'identifier et de caractériser dans le manteau les discontinuités de ce dernier.

Un seul instrument sera cependant déployé sur la planète. Contrairement à des approches de réseaux, qui peuvent se satisfaire de la détection des ondes de volumes P et S, l'instrument devra détecter la totalité des phases sismiques (y compris celles réfléchies sur le noyau) et en particulier, pour les plus gros séismes, les ondes de surface directe (R1), indirecte (R2) et celles ayant fait un tour de planète supplémentaire (R3 & R4). Nous rappellerons dans cette présentation, sur la base de tests faits sur Terre avec une station ou de tests synthétiques, comment ces détections multiples permettent alors d'inverser avec succès la structure interne, au moins pour ce qui est d'un modèle moyen à symétrie sphérique, et pourquoi l'installation et les performances de l'instrument SEIS sont alors critiques pour le succès de la mission.

SEIS sera également couplé à des instruments météorologiques, en particulier des capteurs de vent, de pression et de température. L'environnement Martien produira en effet, d'une façon comparable à la Terre qui est en permanence agitée d'un bruit micro-sismique, des déformations de la subsurface et des ondes

infra-soniques et sismiques qui permettront tout autant de caractériser la subsurface et la croûte que de contraindre la turbulence dans la couche limite planétaire et autres processus atmosphériques.
\nNous concluons par le calendrier de diffusion des données et les moyens d'y accéder.

Luais Béatrice

CRPG-CNRS / Université de Lorraine

Germanium isotopic fractionation in Main Group and Eagle Station Pallasites

Pallasites are unique meteorites that are composed of about 65% cm-scale silicates (olivine \pm pyroxene) and 30% Fe-Ni metal, with 5% of chromite, troilite (FeS), phosphur (schreibersite (FeNi)₃P), phosphate. They have longer been interpreted as the result of mixing between Fe-Ni metal liquid and mantle at the core-mantle interface of early differentiated planetesimals (<10 Ma), implying metal-silicate equilibrium at high pressure [1]. Recent studies based on chemical disequilibrium in olivine (e.g. Cr, [2]), slower cooling rate of metal phase than in the IIIAB Fe-meteorite parent body [3]), remnant magnetization in μ -size Fe-Ni inclusions in olivine [4], argue that olivine and metal are not in equilibrium, and require impact processes. Germanium, a moderately siderophile and volatile element which fractionates upon high-temperature impact processes [5], can be a potential isotopic tool for testing these hypotheses.
\nSamples have been selected from the Main-Group Pallasites (MGP: Imilac, Esquel, Brahin, Seymchan, Fukang), and the Eagle Station Pallasite group (ESP: Eagle Station). Metal and olivine separates have been highly purified by hand-picking. These fractions been analyzed for Ge and trace element contents, and chemically processed for Ge isotopic measurements [5,6] using the NeptunePlus MC-ICPMS coupled to an hydride generator system (CRPG-Nancy), with $\delta^{74/70}\text{Ge}$ NIST3120a $\pm 2\sigma$ SD ($\leq 0.1\%$).
\nGermanium concentrations in metal range from 45-65 ppm. Those in olivine are extremely low, from 27-63 ppb, compared to the Earth silicate reservoirs (0.8-1.5ppm). Germanium isotopic compositions allow to calculate a positive isotopic fractionation $\Delta^{74/70}\text{Ge}$ metal-olivine of +0.8 to +0.96‰ that is in the same direction than the Earth system [6]. Whereas $\delta^{74/70}\text{Ge}$ values in metal and olivine of MGP are lower than Fe-meteorites and Earth silicate reservoirs, respectively, $\delta^{74/70}\text{Ge}$ values for Eagle Station are strongly fractionated towards high positive values, then inversely mirror oxygen isotopes [7]. Impact processes versus differentiation of distinct parent bodies will be examined to discuss pallasite formation.
\nReferences: [1] Scott E.R.D. & Taylor G.J. (1990) 21st LPSC 1119. [2] Hsu W. (2003) MAPS 38, 1217-1241. [3] Yang J. & Goldstein J.I. (2006) CGA 70, 3197-3215. [4] Tarduno J.A. et al. (2012) Science 338, 939-942. [5] Luais B. (2007) EPSL 262, 21-36. [6] Luais B. (2012) Chem Geol 334, 295-311. [7] Clayton R.N & Mayeda T.K (1996) GCA 60, 199-2017.

MAATTANEN Anni

LATMOS/IPSL, UVSQ Université Paris-Saclay, Sorbonne université, CNRS, Guyancourt, France

Observations et modélisation des atmosphères de Mars et Vénus

"Les missions de l'ESA Mars Express (MEx) et Venus Express (VEx) ont permis de mettre la communauté européenne des planétologues au cœur de l'exploration de planètes telluriques voisines de la Terre. Le LATMOS a été impliqué dans ces deux missions à travers les deux instruments SPICAM et SPICAV dont il a assuré la responsabilité scientifique. Ces activités s'insèrent dans la dynamique internationale soutenue par les programmes d'exploration spatiale de la NASA et de l'ESA. Mars Express est toujours opérationnelle ; l'ESA a validé le principe de son extension jusqu'en 2020. L'exploration martienne se

poursuit aussi avec MAVEN/IUVS et ExoMars/ACS qui constituent un nouveau point d'ancrage pour notre équipe. Venus Express a quant à elle cessé ses opérations faute de carburant en décembre 2014, mais le LATMOS est impliqué dans la proposition M5/EnVision et NASA Discovery/VERITAS tant sur le plan scientifique qu'en développement instrumental. Par ailleurs, le LATMOS participe depuis plus de 10 ans au développement de modèles théoriques simulant les processus photochimiques et microphysiques de ces atmosphères, en partenariat étroit avec le Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD) où sont développés des modèles de climat global (MCG) pour ces deux planètes. Nous présenterons les résultats issus du travail mené par notre équipe au LATMOS soutenue chaque année par le PNP depuis 2010, avec comme objectif l'amélioration de nos connaissances sur la composition, la chimie, la microphysique ainsi que la dynamique des atmosphères de Mars et Vénus. Notre approche repose sur l'analyse de données conjointement au développement de MCG 3D. Ces travaux ont abouti récemment à la climatologie de SO₂ et O₃ au-dessus des nuages vénusiens, la découverte de corrélations entre la dynamique atmosphérique de Vénus et sa topographie, la découverte d'une couche d'ozone dans la nuit polaire martienne, ainsi que la publication des climatologies recueillies depuis plus de 10 ans par SPICAM. D'un point de vue de la modélisation, ces dernières années ont été marquées par l'implémentation de la photochimie et de la microphysique des nuages au sein du MCG vénusien développé au LMD en partenariat avec le LATMOS. Co-auteurs: F. Lefèvre, E. Marcq, F. Montmessin, J.-L. Bertaux, J. Audouard, D. Evdokimova, S. Guilbon, A. Piccialli, A. Pottier, L. Rossi, A. Stolzenbach

Marrocchi Yves

CRPG

OXYGEN ISOTOPIC DIVERSITY OF CHONDRULE PRECURSORS AND THE NEBULAR ORIGIN OF CHONDRULES.

Chondrules (millimeter-sized igneous spheroids containing silicates, metal, sulfides, and glass) are the major high-temperature components of primitive meteorites (chondrites), suggesting that most inner solar system materials were affected by their formation. However, the underlying mechanism(s) of their formation remains a mystery and diverse scenarios are debated in contemporaneous literature. Here we report a method combining high-resolution X-ray maps, electron microprobe analyses, and SIMS oxygen isotope measurements to quantitatively assess for the first time the nature of relict olivine grains in type I chondrules. High-resolution X-ray element distribution maps were performed at the Institut des Sciences de la Terre (ISTerre, Grenoble, France) with an acceleration voltage of 20 kV, beam current of 500 nA, 1.5- μ m step size, and dwell time of 500 ms. Al, Ca, Cr, Mn and Ti were measured by WDS while Fe, Si and Mg were measured by EDS. Quantitative analyses of all olivine grains large enough to be isotopically characterized by SIMS were then performed with the following conditions: accelerating voltage 20 kV, probe current 900 nA, beam diameter 1 μ m, and 320 s total peak/background counting time. Such a high current and long counting time allow very low detection limits estimated to be 10 ppm for Al, Ca, Ti, Cr and Mn. Our high-resolution titanium X-ray maps of porphyritic chondrules reveal different populations of olivine grains characterized by variable titanium contents. Ti-poor olivine grains are mainly located in the center of chondrule but also occur as the center of olivine crystals dispersed throughout the chondrules. The oxygen isotopic compositions of Ti-poor olivine grains differ markedly from those of their hosts (olivine grains with higher Ti concentrations). Our results thus demonstrate that olivine Ti concentrations allow the relict and host olivine grains to be distinguished. Our results show that large mass-independent O-isotope variations occur within chondrules showing triple junctions. This does not support a planetary origin of granoblastic olivine aggregates as crystallization from a magma ocean would result in very limited and mass-dependent O-isotopic fractionation. We propose that porphyritic chondrules formed during gas-assisted melting of

nebular condensates comprising relict olivine grains with varying $\Delta^{17}O$ values and Ca-Al-Ti-rich minerals such as those observed within amoeboid olivine aggregates.

MARTINEZ ANTOINE

LATMOS

Variability of the precipitating fluxes during September 2017 event

Although atmospheric sputtering is a minor component of atmospheric escape today, it is thought to have been much more important four billion years ago. Heavy ion precipitating is the primary driver of atmospheric sputtering and September 2017 solar event provides a unique opportunity to study the role of several solar potential drivers of heavy ion precipitation. We focus on the fluxes of precipitating heavy ion towards Mars' atmosphere as seen by MAVEN: SWIA (cs product), an energy and angular ion spectrometer and by STATIC (d1 product), an energy, mass and angular ion spectrometer. After a careful reconstruction of the background induced by the SEPs event on SWIA spectrometer and the use of solar parameter data derived from the magnetosheath by Ma Yingjuan, we are able to investigate the precipitating flux responses to the solar energetic event of September 2017. In this presentation, we will present how the precipitating flux changed all along September 2017 solar event compared to the quiet solar conditions period and will discuss what can be derived on the dependency of this precipitation with respect to our Sun.

Massol Hélène

Lab. GEOPS, Université Paris-Sud

The relative influence of H₂O and CO₂ on the primitive surface conditions of Venus

How the volatile content influences the primordial surface conditions of terrestrial planets and, thus, their future geodynamic evolution is an important question to answer. We simulate the secular convective cooling of a 1-D magma ocean (MO) in interaction with its outgassed atmosphere. A first rapid cooling stage, where efficient MO cooling and degassing take place, producing the atmosphere, is followed by a second quasi steady state where the heat flux balance is dominated by the solar flux. The end of the rapid cooling stage (ERCS) is reached when the mantle heat flux becomes negligible compared to the absorbed solar flux. Varying the initial CO₂ and H₂O contents and the solar distance, we showed that the resulting surface conditions at ERCS strongly depend on these parameters and that water ocean's formation obeys simple scaling laws. Although today's Venus is located beyond the inner edge of the habitable zone due to its high albedo, its high CO₂/H₂O ratio prevents any water ocean formation. We already showed that depending on the formation time of its cloud cover and resulting albedo, only 0.3 Earth ocean mass might be sufficient to form a water ocean on nearly Venus. Here we investigate more precisely these results by taking into account the effect of shortwave radiation on the radiative budget by computing the feedbacks between atmospheric composition and incident stellar flux instead of using a prescribed albedo value.

Mathé Christophe

LESIA

Étude des changements saisonniers dans la moyenne atmosphère de Titan à partir des observations de Cassini/CIRS de 2004 à 2017.

En raison de l'obliquité de 26.7° de Saturne, Titan subit de fortes variations saisonnières qui ont été observées par la mission Cassini sur presque deux saisons, de l'hiver nord en 2004 jusqu'au solstice d'été en 2017. La circulation globale pôle-à-pôle de la moyenne atmosphère qui présentait une descente d'air au-dessus du pôle d'hiver nord, s'est inversée en deux années après l'équinoxe de printemps nord qui a eu lieu en août 2009 (Vinatier et al., 2015). La subsidence dans la région polaire sud est ainsi, depuis 2012, à l'origine de forts enrichissements moléculaires observés au sein du vortex polaire (Coustenis et al., 2016, Teanby et al. 2017, Vinatier et al., 2015).

Nous présentons une étude préliminaire des changements saisonniers des profils de température et d'abondance des molécules dans la moyenne atmosphère de Titan de 2004 à 2017, à partir des données du spectromètre Cassini/CIRS acquises aux limbes de Titan à une résolution spectrale de 0.5 cm⁻¹ (soit une cinquantaine de jeux de données acquis tout au long de la mission). Ces données nous permettent d'extraire les profils de température et d'abondance de C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆, C₃H₈, CH₃C₂H, C₄H₂, C₆H₆, HCN, HC₃N et CO₂, entre 120 et 500 km d'altitude en utilisant un code de transfert radiatif raie-par-raie couplé à un algorithme d'inversion linéaire contraint.

Références :

Coustenis et al., "Titan's temporal evolution in stratospheric trace gases near the poles", Icarus, 2016, vol. 270, 409-420

Teanby et al., "The formation and evolution of Titan's winter polar vortex", Nature Communications, 2017, vol. 8: 1586

Vinatier et al., "Seasonal variations in Titan's middle atmosphere during the northern spring derived from Cassini/CIRS observations", Icarus, 2015, vol. 250, 95-115

Maupin Romain

Institut d'Astrophysique Spatiale, Orsay (IAS)

Mesures Vis-NIR de poussières interplanétaires

Il a été récemment proposé que les poussières interplanétaires chondritiques de type poreuses (CP-IDPs pour Chondritic Porous Interplanetary Dust Particles), de taille typique autour de 20 µm, permettaient d'échantillonner des corps formés dans la région externe du Système solaire (> 5 UA), leurs spectres de réflectance, simulés à l'aide d'un modèle de transfert radiatif entre 0,4 et 2,5 µm étant similaires à ceux obtenus à partir des mesures de télédétection d'astéroïdes glacés de faibles densité de type C, P et D (Vernazza et al., 2015).

Nous avons développé en laboratoire des mesures de micro-spectroscopie dans le domaine visible-proche infrarouge (Vis-NIR, 0,4-1,1 µm) afin d'acquérir des spectres de différents IDPs in-situ directement sur leur support (envoyés par la NASA) pour i / avoir une première caractérisation des IDPs avant de les transférer sur d'autres substrats pour des analyses complémentaires ii / fournir des données dans la gamme Vis-NIR des IDPs à comparer avec les données de télédétection des surfaces astéroïdales. iii / compléter avec des mesures IR et Raman pour une meilleure compréhension et interprétation des spectres Vis-NIR et donc des données d'observation.

Actuellement, peu d'analyses d'IDPs ont été réalisées dans ce domaine spectral, Bradley et al. (1996) ont comparé dans la gamme visible (0,4-0,8 µm), les spectres de certains CP-IDP et CS-IDPs (Chondritic Smooth), mais davantage de données sont nécessaires pour mieux comprendre la comparaison avec les spectres astéroïdaux. Les résultats préliminaires obtenus sont encourageants, ils indiquent qu'il est possible de classer nos IDPs en fonction de leur niveau de réflectance dans la gamme 400-800 nm. Nous allons prochainement étendre ces mesures aux 20 IDPs dont nous disposons et chercherons des tendances possibles.

MERKEL Sébastien

Université de Lille

La transformation perovskite / post-perovskite dans la couche D'': cinétique et microstructures

Grâce au soutien du PNP, nous avons étudié la cinétique de la transformation perovskite (Pv) / post-perovskite (pPv) aux conditions de la couche D'', à 2700 km de profondeur dans la terre. Nous avons complété ces travaux par des études du mécanisme de transformation entre ces deux phases à l'aide d'une technique de caractérisation complètement nouvelle: la diffraction multigrains en cellules à enclumes de diamant.

Nos travaux démontrent qu'à l'échelle des temps géologiques la transformation Pv / pPv est extrêmement rapide. En revanche, en fonction des tailles de grains et des conditions de température, elle peut affecter les coefficients de réflexion d'ondes sismiques sur plusieurs ordres de grandeur. Nous proposons donc qu'une mesure de ces coefficients permettraient de contraindre la taille de grains et la température dans cette région.

En travaillant sur l'analogue NaCF₃, nous avons été en mesure de suivre des centaines de cristallites lors des transformations Pv vers pPv et pPv vers Pv, leurs orientations individuelles, et les distributions de tailles de grains associées. Nous avons ainsi identifié que le mécanisme de transformation de Pv vers pPv est de type martensitique et qu'il permet donc de conserver une mémoire de la microstructure lors de la transformation. A l'inverse, le mécanisme de transformation de pPv vers Pv n'est pas martensitique. La mémoire de la microstructure est perdue. De plus, cette transformation entraîne une croissance de grains importante.

Ces résultats sont importants pour notre compréhension des processus dans la couche D''. Le type de mécanisme de transformation et ses propriétés permettent d'interpréter les observations de réflexion d'ondes dans cette région et de les lier à sa dynamique. Nous proposons, aussi, que le changement de taille de grains induit par la transformation Pv/pPv aura des conséquences sur la dynamique de la région.

Michel Patrick

Université Côte d'Azur, Observatoire de la Côte d'Azur, CNRS, Laboratoire Lagrange

Composante Européenne Hera de la mission AIDA: test de déviation et exploration d'un astéroïde double

"Hera est actuellement la seule mission vers un petit corps à l'étude à l'ESA. Elle fait partie du projet AIDA (Asteroid Impact & Deflection Assessment), fruit d'une collaboration entre l'ESA, la NASA, l'Observatoire de la Côte d'Azur, le DLR et l'Université John Hopkins. Cette mission est constituée du satellite européen d'observation Hera (Michel et al. 2018) et du projectile américain DART (Cheng et al. 2018). Hera doit caractériser pour la première fois un petit astéroïde binaire, effectuer plusieurs démonstrations technologiques, et tester avec DART notre aptitude à dévier de sa trajectoire un petit astéroïde.

Hera est avant tout une démonstration technologique dédiée à la défense planétaire, mais elle répond aussi à des grandes questions scientifiques. Ses instruments vont permettre:

- de caractériser la masse, la taille, la morphologie et la densité du satellite d'un astéroïde double;*
- de déterminer les propriétés dynamiques du système binaire en déterminant avec précision les variations orbitales et de rotation des deux composantes;*
- de déterminer les propriétés de surface du satellite du système binaire;*
- d'observer pour la première fois le résultat d'un impact à haute vitesse (taille, morphologie du cratère) sur un astéroïde à une échelle inaccessible en laboratoire, correspondant à*

celle mise en jeu dans les collisions lors des différents stades de formation et d'évolution du Système Solaire;\n- de fournir la première expérience d'impact à haute vitesse documentée sur un petit corps du Système Solaire et de quantifier le transfert de moment d'un projectile pour dévier un astéroïde;\n- de vérifier ou réviser les codes numériques d'impact qui pourront ainsi être appliqués avec une plus grande fiabilité à la défense planétaire et aux nombreux problèmes liés à la formation et à l'évolution du Système Solaire.\n\nL'Europe contribuera ainsi à la première mission d'exploration d'un système binaire et à une expérience d'impact documentée à grande échelle avec un grand retour technologique, scientifique et de défense planétaire, ainsi qu'un engouement certain du public et des médias, comme l'a démontré Rosetta. Aucune autre mission vers les petits corps ne sera lancée dans les prochains dix ans par l'Europe.\n\nRef.: Michel et al. 2018, Adv. Space Research, sous press; Cheng et al. (2018), PSS, 157"

Millot Cédric

laboratoire de Géologie de Lyon

Propriétés thermiques des RSL dans Coprates Chasma, Valles Marineris

"Les Recurring Slope Lineae (RSL) sont des structures allongées à faible albédo qui apparaissent chaque année sur certaines pentes ensoleillées de la surface de Mars. Leurs dimensions augmentent de façon incrémentale lors des périodes les plus chaudes et diminuent jusqu'à leur disparition pendant les périodes les plus froides (McEwen et al., 2011). Cette périodicité annuelle de l'activité des RSL interroge quant à la nature de ces structures : s'agit-il d'un mécanisme impliquant de l'eau liquide (e.g. McEwen et al., 2014 ; Stillman et al., 2014), ce qui aurait de grandes répercussions sur l'habitabilité martienne actuelle, ou plutôt d'un mécanisme sec (e.g. Schmidt et al., 2017 ; Dundas et al., 2017) ? Ainsi, les températures de surface et proche sous-surface et leurs variations semblent être des paramètres déterminants dans la compréhension de ces processus. Toutefois, peu d'études ont été réalisées sur ces paramètres aux échelles spatiales des RSL (quelques dizaines de mètres). Dans notre étude, nous présentons des simulations de calcul de températures de surface et de sous-surface aux meilleures résolutions possibles (1 m/pixel) grâce aux données de la caméra haute résolution HiRISE. Le modèle thermique repose sur deux composantes : une partie qui permet le calcul du flux solaire sur chacun des pixels d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) ; une seconde qui résout l'équation de la chaleur en 1D en utilisant une méthode aux différences finies. A partir de couples d'images stéréoscopiques, nous avons calculé des MNT à 1 m/pixel dans Coprates Chasma (Valles Marineris) qui est une des régions de Mars qui présente les RSL les plus grands. Les cycles de température sont ainsi calculés pour chaque zone à RSL. Nous montrons que la température des zones à RSL n'est pas le seul paramètre qui contrôle l'activité de ces derniers. Si globalement les RSL se développent quand les températures augmentent, leur activité maximum n'est pas corrélée avec les maximums de température."

Millour Ehouarn

LMD/IPSL/SU/CNRS

The Mars Climate Database (v5.3)

"E. Millour, F. Forget, A. Spiga, M. Vals, V. Zakharov, Laboratoire de Météorologie Dynamique, IPSL, Paris, France\nL. Montabone, Space Science Institute, Boulder, USA\nF. Lefèvre, F. Montmessin, J.-Y. Chaufray, Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales, IPSL, Paris, France\nM.A. López-

Valverde, F. González-Galindo, Instituto de Astrofísica de Andalucía, Granada, Spain\nS.R. Lewis, Department of Physics and Astronomy, The Open University, Milton Keynes, UK\nP.L. Read, Atmospheric, Oceanic & Planetary Physics, University of Oxford, UK\nF. Cipriani, European Space Research and Technology Centre, European Space Agency, Noordwijk, Netherlands\nM.-C. Desjean, Centre National d'Etudes Spatiales, Toulouse, France\nand The MCD/GCM Development Team\n\nNotre base de données climatique martienne ("Mars Climate Database", MCD) est générée à l'aide de sorties du modèle de circulation générale (MCG) élaboré conjointement par le LMD (Paris), le LATMOS (Paris), l'IAA (Grenade) et l'Open University (Milton Keynes), avec le soutien du CNES et de l'ESA.\nLa MCD (version actuelle: 5.3) est un outil en libre accès (c.f. www-mars.lmd.jussieu.fr) et utilisable pour toute activité d'ingénierie ou de recherche scientifique nécessitant de connaître l'état de l'atmosphère de Mars, ainsi que sa variabilité et son évolution."

Monteux Julien

Laboratoire Magmas et Volcans

On the cooling of a deep mushy mantle

In its early evolution, the Earth mantle likely experienced several episodes of complete melting enhanced by giant impact heating, short-lived radionuclides heating and viscous dissipation during the metal/silicate separation. After a first stage of rapid and significant crystallization (Magma Ocean stage), the mantle cooling is slowed down because of the rheological transition that occurs at a critical melt fraction of 40-50%. From this transition, the early mantle follows up its cooling from the bottom up to the surface while 10-100 km thick thermal boundary layers form above and below this reservoir (Mushy stage). Once the mantle becomes fully solidified, large-scale geodynamical coupling may eventually arise resulting in global convection and modern tectonics.\nWe have developed numerical models to monitor the thermo-chemical evolution of a cooling and crystallizing mushy mantle from an initially partially molten mantle. For this purpose, we use a 1D approach accounting for turbulent convective heat transfer. Our numerical model benchmarked with analytical solutions solves the heat equation in spherical geometry. This model also integrates recent and strong experimental constraints from mineral physics such as adiabatic temperature profiles and liquidus/solidus up 140 GPa for different mantle compositions. \nOur preliminary results show that the mushy mantle cooling is strongly dependent on the thermal boundary layer thickness. Thick thermal boundary layers favor slow mantle cooling, inefficient heat exchanges at the core-mantle boundary and persistent molten reservoirs located below the thick shallow conductive layer. Thin thermal boundary layers enhance rapid core and mantle cooling but prevent molten layers from remaining in the upper mantle during geological time-scales. In this presentation, we will illustrate these processes and discuss the global deep consequences of this early cooling event.

MOUZAY Julie

Aix-Marseille Université/UMR 7345

Simulation expérimentale du vieillissement photochimique des aérosols dans la basse atmosphère de Titan

Titan, la plus grande lune de Saturne, est le seul satellite du système solaire à posséder une atmosphère dense (avec une pression en surface de 1,5 bars) principalement composée de diazote et de quelques

pourcents de méthane. Du fait de la variation de la température avec l'altitude, il existe différentes couches atmosphériques permettant une chimie très variée. Dès la haute atmosphère (au-dessus de 1000 km) (Horst et al., 2017), les photons UV, les photoélectrons, les ions énergétiques et les électrons, provenant de la magnétosphère de Saturne, induisent la dissociation et l'ionisation du diazote et du méthane. Ces réactions conduisent à la formation de molécules organiques complexes (nitriles, hydrocarbures) et d'aérosols (brume organique opaque responsable de la couleur orangée de Titan) qui sont soumis à différents types de rayonnements UV en fonction de l'altitude. Une fois formés, ces aérosols continuent à évoluer durant leur sédimentation vers les couches atmosphériques inférieures pouvant adsorber à leur surface des molécules telles que C₆H₆ ou HCN (Anderson, 2016) qui peuvent également se condenser pour former des aérosols par l'intermédiaire de processus encore mal connus. La mission spatiale Cassini-Huygens permet d'apporter de nombreuses informations relatives à son atmosphère et plus particulièrement sur la composition chimique de cette brume organique à partir des spectres infrarouges in situ (CIRS et VIMS). Cependant, de nombreuses données restent encore sans interprétation, comme la nature du nuage de glace observé au-dessus du pôle sud. Détecté, au-dessus de 160 km, il pourrait provenir selon Anderson et al. (2017) de la co-condensation de benzène et de HCN. Ainsi, nous avons étudié, par spectroscopie infrarouge, la photochimie des glaces de C₆H₆ et de HCN isolées, co-condensées ou adsorbées sur des analogues d'aérosols de la haute atmosphère de Titan. Ces expériences ont été réalisées afin de déterminer par comparaison avec les données de la mission Cassini, la composition du nuage de glace observé au-dessus du pôle sud et de simuler par la suite son évolution photochimique. Anderson, C.M. et al., 2017. AAS Division for Planetary Sciences Meeting Abstracts. Anderson, C.M. et al., Geophys. Res. Lett. 43, 3088. Hörst, S.M., 2017. J. Geophys. Res.: Planets 122, 432.

Perrin Mireille

CEREGE

Variation séculaire du champ magnétique terrestre à l'Holocène

"Une connaissance détaillée de la variation séculaire au cours des temps historiques et géologiques est indispensable pour décrire le champ géomagnétique dans toute sa complexité. A l'inverse, lorsque la courbe de variation séculaire est connue, l'archéomagnétisme est un outil puissant pour dater des structures archéologiques chauffées. Au delà des périodes où le champ magnétique a été enregistré directement, seuls les artefacts archéologiques chauffés et les roches volcaniques permettent d'obtenir des paléointensités absolues. Le champ magnétique étant un phénomène global, une bonne répartition spatiale et temporelle des données est requise autour du globe, ce qui est loin d'être le cas. En particulier, la distribution spatiale est très inégale avec ~90% des données provenant d'Eurasie, et 1% en Afrique (hors Egypte et pays du Maghreb). Si la variation séculaire est bien définie en Europe de l'Ouest pour le dernier millénaire, il n'en est pas de même pour les périodes plus anciennes. Plusieurs sites ont été étudiés en collaboration avec des collègues de la MMSH d'Aix en Provence : i) sole de foyer de l'habitat néolithique final de Ponteau (Bouches du Rhône) où l'âge archéomagnétique (2750±150BCE) est en parfait accord avec l'âge C14 (2750±125 BCE); ii) ancien four daté autour de 4000-3500 BCE du site archéologique de Rousset (Bouches du Rhône) qui n'a pas donné de résultats probants du fait de la minéralogie des échantillons; iii) four à poteries du Moulin de Mérindol (Vaucluse) avec des âges paléomagnétiques soit au Haut-Empire (5-150 CE) ou à 450-550 CE. Le deuxième volet de nos études a porté sur le Kenya avec l'étude de bas-fourneaux métallurgiques (XIe-XIVe siècles CE; collaboration D. Williamson, IRD et F. Nkirote, National Museum of Kenya). Cette étude nous a permis de définir les premières directions et intensités du champ pour le Kenya à cette époque. En Septembre 2018, des coulées volcaniques récentes seront prélevées (collaboration D. Olago, Univ. Nairobi et Karen Fontjin, ULB) pour compléter ces données. En plus d'obtenir de nouvelles données situées au niveau de

l'équateur, cette étude permettra de mieux comprendre la variation passée de l'anomalie de l'Atlantique Sud, qui se caractérise par de faibles intensités au large du Brésil, avec semble-t-il une migration WSW de l'anomalie et un minimum centré sur l'Angola."

Petit Antoine

Observatoire de Paris, IMCCE

Hill stability in the AMD framework

In a two-planet system, due to Sundman (1912) inequality, a topological boundary can forbid close encounters between the two planets for infinite time. A system is said Hill stable if it verifies this topological condition.
Hill stability is widely used in the study of extra solar planets dynamics. However people often use the coplanar and circular orbits approximation (e.g. Gladman, 1993).
In this work, we explain how the Hill stability can be understood in the framework of Angular Momentum Deficit (AMD) (Laskar, 1997, 2000).
In the secular approximation, the AMD allows to discriminate between a priori stable systems and systems for which a more in depth dynamical analysis is required (Laskar and Petit, 2017, Petit et al. 2017).
We show that the general Hill stability criterion can be expressed as a function of only the semi major axes, the masses and the total AMD of the system.
The proposed criterion is only expanded in the planets-to-star mass ratio ϵ and not in the semi-major axis ratio, in eccentricities nor in the mutual inclination. Moreover the development in ϵ remains excellent up to values of about 10^{-3} even for two planets with very different mass values.
We performed numerical simulations in order to highlight the sharp change of behaviour between Hill-stable and Hill-unstable systems. We show that Hill-stable systems tend to be very regular whereas Hill-unstable ones often lead to rapid planet collisions. We also remind that Hill-stability does not protect from the ejection of the outer planet.
In collaboration with: J. Laskar, G. Boué
References:
Laskar, Petit, AMD-stability and the classification of planetary systems, 2017, A&A
Petit, Laskar, Boué, AMD-stability in the presence of first-order MMR, 2017, A&A
Petit, Laskar, Boué, Hill stability in the AMD framework, 2018 submitted.

Petit Jean-Marc

UTINAM

Bilan du grand relevé OSSOS, premiers résultats

"Le grand relevé du système solaire externe OSSOS est un grand programme du CFHT qui s'est déroulé de février 2013 à début 2018 (en incluant une extension). Son but était de détecter un grand nombre d'objets du système solaire externe, avec une emphase sur les population en résonance de moyen mouvement avec Neptune, de caractériser nos détections, et de les suivre pour déterminer l'orbite de ces corps. Ce travail a permis de détecter et suivre environ 850 objets dont les conditions de détections sont parfaitement connues (efficacité de détection en fonction de la magnitude, du mouvement apparent, de la direction de pointage, non-détection dans certains champs, ...), et d'obtenir des orbites parmi les plus précises de celles enregistrées au Minor Planet Center (MPC). La qualité des orbites est due au cadencement des observations sur 2 ans et à l'utilisation du Data Release 1 de Gaia (GDR1). En ajoutant les corps détectés par lors de nos précédents relevés, eux aussi avec une caractérisation complète et des orbites d'excellente qualité, nous disposons maintenant d'un échantillon de plus de 1100 objets du système solaire externe que nous pouvons comparer avec des modèles cosmogoniques

numériques ou théoriques, grâce au simulateur de relevé fourni par notre groupe en plus de l'échantillon d'orbites. OSSOS nous permet d'échantillonner la distribution en taille jusqu'à une magnitude moins brillante que les relevés caractérisés précédents. Nous pouvons ainsi confirmer la présence d'un 'divot' ou d'une rupture de pente dans la distribution de taille des objets résonants et des objets 'scattering'. Nous avons aussi mis en évidence l'existence d'une grande population d'objets en résonance $n:1$ jusqu'à de grandes distances du soleil, ce qui impose des contraintes fortes sur les modèles de formation du système solaire."

Philippot Pascal

CNRS, Géosciences Montpellier

Arsenic bio-geochemical cycle during the Precambrian: constraints on the origin and evolution of life

Given the widespread volcanic and geothermal activity of the Archean (3.9 to 2.5 Ga) Earth, high concentrations of As were likely in the primitive oceans. The progressively more oxic and sulfidic Proterozoic (2.5 to 0.5 Ga) oceans are also expected to be As-rich, whereby aerobic bacterial sulfide oxidation of continental surfaces would have solubilized large amounts of As from a previously stable crustal sulfide reservoir. Hence, it is likely that during the Precambrian era, considerable amounts of arsenic accumulated in the oceans, thereby posing a biochemical challenge for early emergent life. This is supported by biomolecular studies which showed that the arsenite oxidase enzyme Aro has a deeply-rooted origin that predates the divergence of Archaea and Bacteria. The report in 2.7 Ga old microbial stromatolites of fossilized microorganisms containing high concentrations of As attributed to photosynthetic activity [1], provided further support for an arsenic cycle on the early Earth.

To constrain the prominent role of As on primitive Earth and its impact on evolutionary processes we studied a variety of stromatolites and microfossils from the Precambrian, as well as living microbial mats from High Altitude Andean Lakes (Atacama Desert, Chile and Lago Diamante, Argentina [2]). These later environments represent potential living analogue of the ancient Earth. Our study focused on identifying geochemical proxies of the As-based metabolisms. We combined scanning X-ray micro-fluorescence with X-ray Absorption Near Edge Structure imaging analyses to study the relationship between trace metal(loid) concentrations, distribution and speciation and organic matter/carbonate precipitates at different scale (cm down to 200 nm, [2, 3, 4]).

[1] Sforza, M.C. et al., (2014), Nature Geoscience 7, 811–815, [2] Sancho-Tomás et al., (2018), Geobiology 490, 13–21. [3] Somogyi, A. et al., (2015) J. Synchrotron Rad., 22, 1–12. [4] Sforza, M.C. et al., (2017), Geobiology 15, 259–279.

QADDAH BARAA

The breakup of liquid iron diapirs within a magma ocean.

The latest stages of planetary accretion probably involved large impacts between differentiated bodies and large scale melting events. The energy brought by giant impacts could be added to the energy associated with the accretionary energy and to the radioactive heating caused by the decay of short-lived radio-elements (^{26}Al and ^{60}Fe). These early heat sources may have caused the formation of deep magma oceans where the iron brought by the impactors can sink and eventually fragment. A subsequent metal/silicate separation can occur via negative diapirism and contributes to core formation. Yet the process of liquid iron segregation within a

magma ocean remains poorly known. We perform numerical simulations using COMSOL Multiphysics to model the sinking dynamics of an initially spherical iron liquid diapir within a molten silicate phase. We use a 2D cylindrical axisymmetric computational domain. We vary the viscosity of the silicates in the range of 0.05 Pa.s to 100 Pa.s and the initial radius of iron diapir in the range of 1mm to 100mm. Our numerical models constrain the morphology of the iron flow, the characteristic sinking time, the iron fragmentation modes that depend on the dimensionless Weber number and the potential exchange surface between the iron and the silicate phases. Our models show that the fragmentation of the liquid iron occurs at a falling distance equal to 4-8 times its initial radius. We also present a regime diagram of fragmentation modes in terms of Reynolds and Weber numbers. We show that increasing the viscosity of the silicate phase relative to the iron viscosity prevents oscillations of the iron phase and limits the exchange surface between the iron and the silicate phases. Oppositely, increasing the initial radius of the iron diapir enhances its deformation and increases its exchange surface with the silicates.

Quesnel Yoann

CEREGE, Aix-Marseille Université

Subsurface geophysics at the Rochechouart impact structure

Following a drilling campaign in 2017 which allowed the recovery of 500 m of core samples from all lithologies found nearby the Rochechouart impact structure, our team performed in 2018 a subsurface geophysical survey around the drilling site. The main goal was to extend in 2D and 3D the geological layers found by drilling, while we also wanted to investigate deeper layers (between 50 and 500 m depth). Since the remains of the Rochechouart impact event are supposed to represent the crater floor, our study also deals with the transition zone between target rocks and impact breccia that is rarely accessible for terrestrial and planetary craters. Rochechouart is also unique in the sense that the all impact lithologies known in other impact craters on Earth can be found here. Therefore studying their physical properties via geophysics may help to better characterize these formations when they are buried.

RANNOU Pascal

GSMA/Université de Reims Champagne Ardenne

Etude photométrique de l'atmosphère de Titan

L'atmosphère de Titan est opaque à cause des aérosols et des gaz. De ce fait, toute étude, qui se base sur les observations de la lumière ne peut se faire que grâce à une bonne connaissance des propriétés atmosphériques. L'objet de cette présentation va être de montrer comment on caractérise les opacités dans l'atmosphère de Titan et quelles informations nous pouvons en retirer. Trois travaux différents autour de ce sujet vont être abordés :
(1) Nous allons d'abord montrer comment les observations de VIMS en réflexion et en absorption au limbe permettent de retrouver l'extinction des aérosols, puis d'en déduire une information les indices de réfraction des aérosols. Cette étape est cruciale pour obtenir les propriétés des aérosols dans les modèles.
(2) Ensuite, le spectre de Titan permet aussi de caractériser les albédos de surface, mais avant cela il est nécessaire de caractériser les opacités des gaz. La fenêtre à 2 micromètres a une forme particulière que nous avons étudié en combinant des observations au limbe et au nadir. Nous montrons que c'est une absorption résiduelle, probablement

causée par l'éthane, qui la produit et étudions l'impact sur l'albédo de surface à deux microns. \n\t3) Enfin, les observations d'ISS au limbe ont permis de suivre l'évolution de la brume entre 2004 et 2017, et en particulier la couche détachée. Le modèle utilisé est analogue à celui utilisé pour les études au limbe avec VIMS. En inversant le signal d'ISS nous pouvons, moyennant des hypothèses sur les propriétés des aérosols, suivre l'évolution saisonnière de la brume et la comparer aux prédictions des modèles de climat de Titan.

Raymond Sean

Laboratoire d'Astrophysique de Bordeaux

Interstellar object 'Oumuamua as an extinct fragment of an ejected cometary planetesimal

'Oumuamua was discovered passing through our Solar System on a hyperbolic orbit. It presents an apparent contradiction, with colors similar to those of volatile-rich Solar System bodies but with no visible outgassing nor activity during its close approach to the Sun. Here we show that this contradiction can be explained by the dynamics of planetesimal ejection by giant planets. We propose that 'Oumuamua is an extinct fragment of a comet-like planetesimal born in a planet-forming disk that also formed Neptune- to Jupiter-mass giant planets. On its pathway to ejection 'Oumuamua's parent body underwent a close encounter with a giant planet and was tidally disrupted into small pieces, similar to comet Shoemaker-Levy 9's disruption after passing close to Jupiter. We use dynamical simulations to show that 0.1-1% of cometary planetesimals undergo disruptive encounters prior to ejection. Rocky asteroidal planetesimals are unlikely to disrupt due to their higher densities. After disruption, the bulk of fragments undergo enough close passages to their host stars to lose their surface volatiles and become extinct. Planetesimal fragments such as 'Oumuamua contain little of the mass in the population of interstellar objects but dominate by number. Our model makes predictions that will be tested in the coming decade by LSST.

Remusat Laurent

IMPMC-UMR CNRS 7590/MNHN

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF HYDROTHERMALISM ON THE ORGANIC MATTER DIVERSITY IN CARBONACEOUS CHONDRITES

"The organic molecules detected in primitive carbonaceous chondrites (e.g. amino acids, nucleobases or the insoluble macromolecule) are more complex than the molecules observed in the interstellar medium (ISM). Although large isotopic enrichments in deuterium may sign a connection between ISM chemistry and organic matter in carbonaceous chondrites, the hypothesis that organics in meteorites could derive from molecules of the ISM is still debated. We have developed an experimental investigation of the chemical evolution of interstellar organic matter submitted to hydrothermal conditions mimicking asteroidal alteration. Hexamethylenetetramine (HMT) was chosen as an interstellar organic precursor; this organic compound rich in C-N bonds represents about 50 wt% of the typical organic residues recovered in interstellar ice analog experiments. Hydrothermal experiments were conducted at 150°C for various durations up to 31 days with and without clay minerals. We observe that HMT totally decomposes in less than 20 days, which may explain why HMT has never been detected in meteorites. Organic products consist in (1) a very diverse suite of soluble compounds dominated by N-bearing aromatic compounds, including for instance formamide, pyridine, pyrrole and

their polymers (2) an aromatic and N-rich insoluble material that forms after only 7 days of experiment and then remains stable through time. When minerals are present, we detect less soluble molecules. Furthermore, X-ray diffraction and thermogravimetry reveal that clay minerals have trapped organic matter. Our study reveals that simple organic compounds undergo complex chemical transformations during hydrothermal alteration on chondrite parent bodies, possibly forming complex insoluble macromolecule. The presence of clay minerals seems to have a strong influence on the organic products and their diversity, by trapping organic molecules hence hindering chemical reactions."

Reynard Bruno

CNRS, Université de Lyon

Porosité des roches déformées à haute pression et cycle sismique

La circulation des fluides dans les roches à grande profondeur influence l'altération et le cycle sismique sur les failles majeures. Elle peut être modélisée si on connaît la porosité et la perméabilité des roches, mais la mesure de ces propriétés est restée limitée à des pressions équivalentes à 2-3 kilomètres de profondeur. Nous proposons une méthode expérimentale permettant d'estimer la porosité des roches à haute pression et haute température à partir de l'échange isotopique du deuterium entre eau et minéraux. Les roches sont soumises à des conditions représentant jusqu'à 100 km de profondeur en zone de subduction, et déformées. La cartographie des échanges isotopiques par spectrométrie Raman montre que la porosité augmente avec la déformation dans des roches mantelliques (serpentinites) ou crustales (schistes bleus) alors qu'elle reste faible dans des roches se formant sur la zone de faille (chloritites). Ces variations de porosité et donc de perméabilité lors de la déformation peuvent expliquer la faible circulation de fluides dans la zone avant-arc des zones de subduction et l'existence de rupture sismique très profonde (60 km et au delà) sur l'interface de subduction.

Rochette Pierre

CEREGE Amu

La recherche de nouvelles structures d'impact (diamètre >10 km) sur Terre: pourquoi et comment

"L'impactisme est un processus majeur dans l'évolution des corps solides du système solaire, et l'étude des cratères terrestres apporte des connaissances irremplaçables sur ce processus car ils peuvent être mesurés à toutes les échelles, en 3D, et par toutes les techniques disponibles de la géophysique à la géochimie isotopique. Cependant Hergarten et Kenkmann (2015) utilisant un modèle d'âge et d'érosion proposent que les cratères terrestres de plus de 10 km de diamètre (68 à ce jour dont 42 exposés en surface) ont déjà pratiquement tous été inventoriés. On montrera que leurs conclusions sont erronées et que la majorité des gros cratères reste à découvrir, sur les continents peu explorés. \n\nEst il utile pour la planétologie d'investir dans ce travail d'inventaire ? On montrera à partir du cas du nouveau cratère de Pantasma au Nicaragua (14 km de diamètre ; Rochette et al., in press) que sur des questions comme la composition des gros impacteurs (i.e. classe de météorite) ou le processus de formation des tectites, les cas connus sont très peu nombreux et donc que chaque nouveau cratère peut modifier les tendances observées précédemment ou augmenter significativement leur pertinence. \n\nPar exemple l'étude des isotopes du chrome montre pour Pantasma un impacteur de type chondrite ordinaire,

confirmant la tendance très majoritaire montrée par les cas antérieurs. Pantasma est aussi à l'origine du cinquième champ de tectites connu sur Terre, celui des belizites (retrouvées à 500 km au NW du cratère). L'étude de ces tectites (datées comme le cratère à 0.8 Ma) et leur comparaison avec Pantasma apporte un nouvel éclairage sur le processus de formation des tectites.

On décrira aussi comment apporter les preuves que l'on a affaire à un impact en étudiant une nouvelle structure circulaire.

References : Hergarten S. and Kenkmann T. 2015. EPSL 425:187–192.

Rochette P. et al. dont P. Beck, B. Devouard, F. Moynier. MAPS, in press."

Romanelli Norberto

LATMOS/CNRS

Responses of the Martian magnetosphere to an interplanetary coronal mass ejection: MAVEN observations and LatHyS results

The Mars Atmosphere and Volatile Evolution (MAVEN) spacecraft observed a strong interplanetary coronal mass ejection (ICME) reaching Mars on 13 September 2017. In this work we analyze the interaction between such an extreme event and the Martian induced magnetosphere by means of LATMOS Hybrid Simulation (LatHyS) stationary runs and magnetic field and plasma observations obtained by MAVEN in a time interval from ~ 5 h before the ICME shock arrival to about 5.5 h after the impact. Detailed comparisons between simulation results and such MAVEN measurements are performed and show that several stages during this interaction can be described through a combination of steady states. LatHyS results show the simulated bow shock is closer to the planet for higher magnetosonic Mach number and solar wind dynamic pressure conditions, in agreement with previous observational studies. MAVEN observations and LatHyS results also suggest a compression on the flanks of the magnetic pile-up boundary. Finally, simulated H^+ and O^+ planetary escape rates increase by a factor ~ 10 and ~ 2.4 , respectively, due to the ICME passage through the Martian magnetosphere.

Rousselot Philippe

Institut UTINAM / OSU THETA

Mesure des rapports isotopiques dans les comètes par spectroscopie dans le domaine visible

La mesure des rapports isotopiques dans les petits corps du système solaire est un outil puissant pour obtenir des informations sur leur origine et les conditions physiques régnant au moment de leur formation. Dans le cas des comètes il est possible de mesurer ce rapport pour différentes molécules présentes dans la coma, sous forme gazeuse. Différents rapports peuvent ainsi être mesurés dans les molécules ou radicaux identifiés dans ce milieu : $^{14}N/^{15}N$, D/H, $^{16}O/^{18}O$, $^{12}C/^{13}C$, $^{32}S/^{34}S$. Certaines de ces identifications peuvent se faire dans le domaine visible avec les raies d'émission liées aux transitions électroniques des radicaux ou molécules. Je présenterai les travaux effectués et en cours dans ce domaine dans l'équipe SPACE d'UTINAM à Besançon. Ces travaux portent sur le rapport $^{14}N/^{15}N$ dans le radical NH_2 (produit de dissociation de l'ammoniac NH_3) et, plus récemment, sur l'ion N_2^+ (produit par la molécule N_2) détecté en abondance dans la comète C/2016 R2 (PanSTARRS), ainsi que sur les rapports D/H, $^{16}O/^{18}O$ et $^{12}C/^{13}C$.

Ryan Andrew

Observatoire de la Côte d'Azur - Laboratoire Lagrange

Full field modeling of heat transfer in asteroid regolith

A key challenge for solar system science is to establish a comprehensive understanding of the variety of processes that create, evolve, and shape the surfaces of small bodies. This topic call for an understanding of a largely unexplored set of physical quantities (thermal inertia, roughness, regolith size, rock abundance) related to the nature of the surfaces of asteroids, which are still poorly understood. This is, by example, extremely important for the NASA mission OSIRIS-Rex, which is on its way to meet the asteroid 101955 Bennu to return a sample of its regolith back to Earth. Its science team will make decisions about the sample site selection with the aid of thermal measurements interpreted in terms of regolith properties, such as particle size distribution and presence of hazards such as large rocks. The main parameter that is determined from thermal measurements is the thermal inertia of the regolith. Thermal inertia is derived from the analysis of asteroids thermal infrared observations applying the so-called thermophysical models (TPMs) in which thermal inertia is a parameter directly fitted to the data. The challenge considered in these works is to treat the heat transfer in a multi-scale granular medium laid out on the complex, rough surfaces of asteroids. Recent development of numerical methods dedicated to High Performance Computing (HPC) in materials science are used to this purpose. Main purpose of the considered developments is, thanks to a digital material framework, to define a new approach of asteroid thermal modeling, instead of the classical thermophysical models (TPMs) used up to now. Recent improvement of numerical modeling of complex massively multi-domain media in materials science is a great opportunity to develop a better understanding of the regolith properties from measurements of its thermal inertia. The proposed techniques are based on different high-density particle packing algorithms, full field description of the objects, and powerful FE simulations. Full field description of the topology is very promising in the current context in order to describe in a realistic way the top surface of the asteroids, which could be made of a mixture of rocks and regolith, laid over a complex topography that is subject to rapidly changing illumination conditions.

Saillenfest Melaine

IMCCE, Observatoire de Paris

Secular spin-axis dynamics of exoplanets

Seasonal variations and climate stability of a planet are very sensitive to its obliquity and its evolution. This question is of particular interest concerning the apparition and sustainability of land-based life. I will present an analytical formulation of the long-term spin-axis dynamics of exoplanets. Together with bounds for the poorly constrained parameters, it is designed to allow a quick and straightforward exploration of the spin-axis dynamics. The maximal extent of the chaotic regions can be computed, and exoplanets necessarily out of major resonances can be identified.

Santerne Alexandre

Laboratoire d'Astrophysique de Marseille

Exoplanètes en transit: l'héritage de CoRoT & Kepler pour l'exploitation de TESS & PLATO

Les missions spatiales dédiées à la détection d'exoplanètes, initiées par la mission française CoRoT du CNES, permettent d'explorer des populations de petites planètes hors d'atteinte des sondages photométriques au sol. La caractérisation de ces autres mondes via des moyens de spectroscopie Doppler apporte des contraintes très importantes sur leur composition, et ainsi sur leur formation. Avec les missions CoRoT et Kepler/K2, la communauté française d'(exo-)planétologie s'est révélée être un acteur incontournable dans ce domaine, principalement grâce à l'accès aux instruments SOPHIE (OHP) et HARPS (ESO). Toutefois, bien que l'avenir immédiat de cette discipline s'annonce brillant, notamment avec les nouvelles missions spatiales TESS et PLATO, la compétition internationale s'accroît fortement. Je reviendrai d'abord brièvement sur les faits marquants de ces dernières années dans l'exploration des exoplanètes en transit avec des moyens spatiaux. Je présenterai ensuite les futurs sondages photométriques spatiaux et discuterai enfin des challenges et opportunités offerts à la communauté française, en lien avec les nouveaux instruments auxquels elle a accès (SOPHIE-Red, SPIRou, NEO-NARVAL, HARPS+NIRPS, etc...).

Schmidt Frédéric

GEOPS / Univ. Paris Sud

Écoulements granulaires déclenchés par le gaz raréfié sur Mars

Les Recurring Slope Lineae ou RSLs sont des morphologies saisonnières d'écoulements sombres apparaissant sur les pentes équatoriales de Mars. Ils apparaissent lorsque le sol atteint sa température maximale, à différentes orientations selon la saison. Les processus liés à l'eau liquide ont été favorisés, tels que la déliquescence des sels. Néanmoins, les sources d'eau atmosphérique externes et internes sont très improbables. Nous proposons ici une hypothèse alternative, prenant en compte la force de Knudsen qui se produit lorsque le soleil éclaire le sol granulaire dans des conditions de gaz raréfié. Ce processus réduit considérablement l'angle de repos du matériau granulaire et pourrait déclencher un écoulement. Les RSLs semblent provenir de terrains accidentés et de rochers. Nous proposons que les ombres locales dues aux rochers sont à l'origine d'une amplification de la pompe de Knudsen puis du déclenchement de l'écoulement. Ce nouveau processus sec exotique n'impliquant ni eau ni CO₂ est cohérent avec l'orientation et la saisonnalité des activités des RSLs.

SEJOURNE Antoine

GEOPS

Cartographie des formations périglaciaires et distribution de la glace dans les plaines nord de Mars

"Les plaines nord de Mars qui sont recouvertes de plusieurs dépôts sédimentaires présentent de la glace d'eau dans le sol à différentes profondeurs et en différentes concentrations. Cette présence de glace est attestée par les données du spectromètre gamma GRS, l'atterrisseur Phoenix mais aussi par l'observation de nombreux modelés périglaciaires et glaciaires. Mars aurait subi des variations

périodiques de son orbite induisant des changements importants de la cryosphère. Toutefois, l'origine de cette cryosphère et leurs liens avec des changements climatiques globaux récents restent toujours largement inconnus. Le projet "Northern plain mapping" a pour but de cartographier les plaines nord de Mars pour produire de nouvelles cartes géomorphologiques des modelés liés à la glace et des unités géomorphologiques associés. Les objectifs sont de : (i) déterminer la distribution des modelés périglaciaires et glaciaires; (ii) identifier leur association avec des unités géomorphologiques et enfin; (iii) comprendre l'origine de la glace et le lien avec de potentiels changements climatiques globaux sur Mars. Notre cartographie faite à l'aide d'une grille permet d'avoir un inventaire objectif et rapide de nombreux modelés sur une grande région continue. Nos résultats montrent que plusieurs modelés sont associés spatialement à une échelle régionale mais aussi locale. Par exemple, les dépressions "scallops" formés par sublimation de la glace sont associées avec les polygones de contraction thermique. Ceci montre qu'il y a une zone régionale à pergélisol riche en glace similaire à ce qu'on observe en Sibérie. En outre, la distribution des dépressions est centrée sur une zone indiquant une sublimation localisée du pergélisol. Cette distribution étant non corrélée à la topographie, elle indiquerait un contrôle climatique de la sublimation. La grille permet d'observer que la distribution des polygones est anticorrélée avec celle du modelé "texture" (basket-ball terrains) formé par sublimation de glace interstitiel en subsurface. Cette anticorrélation pourrait être due à un changement de la concentration en glace."

SPIGA Aymeric

Laboratoire de Météorologie Dynamique / Sorbonne Université

Explorer la riche dynamique atmosphérique des géantes gazeuses par une approche inédite de modélisation numérique

"En témoignent les missions récentes Cassini et Juno, les géantes gazeuses du système solaire sont un cap d'exploration crucial pour répondre à des grandes questions de planétologie. Ce sont notamment des fascinants terrains de jeu pour élargir notre connaissance de la dynamique des fluides en rotation. De nombreuses questions ouvertes par les observations résistent pour le moment à une compréhension détaillée : origine des courants-jets troposphériques en bandes alternées, évolution et impact des orages convectifs humides, émergence et maintien des (anti)cyclones géants, concerts d'ondes stratosphériques, transport des hydrocarbures dans la stratosphère... Notre équipe adopte une approche basée sur la modélisation numérique pour aborder ces questions. Une première méthode est basée sur de la modélisation idéalisée pour attaquer un problème bien spécifique : nous avons par exemple employé des simulations "rotating shallow-water" pour obtenir des résultats sur la stabilité du spectaculaire courant-jet hexagonal dans les régions polaires nord de Saturne. Une seconde approche, plus ambitieuse et difficile, est de construire un modèle complet capable de répondre à plusieurs questions pour offrir une vision d'ensemble de la dynamique atmosphérique des planètes géantes. Nous avons ainsi démarré il y a quelques années un projet de construction d'un modèle de climat global (GCM) pour les géantes gazeuses Jupiter et Saturne. Un premier défi que nous avons relevé a été de développer un module de transfert radiatif rapide, capable de calculer les évolutions saisonnières de la troposphère à la stratosphère. Un second défi était d'atteindre, sur l'intégralité du globe planétaire, des résolutions spatiales très fines permettant de capturer toute la diversité des tourbillons et ondes qui naissent dans l'atmosphère des planètes géantes. Nous avons pour cela employé un solveur hydrodynamique de nouvelle génération, adapté aux machines massivement parallèles des grands centres de calcul. Par nos premières simulations, nous avons expliqué l'origine des courants-jets troposphériques des planètes géantes et commencé à explorer les signatures stratosphériques originales de ces atmosphères. Les défis à relever dans notre projet de GCM complet

de planètes géantes restent nombreux et nous décrirons les perspectives multiples qui nous motivent au long terme."

Spoto Federica

IMCCE, Observatoire de Paris

Exploitation scientifique de la Gaia DR2: applications à l'étude des familles d'astéroïdes

La deuxième release Gaia est sortie il y a quelque mois (25 avril 2018) et elle a changé notre vision du système solaire. La DR2 contient pour la première fois 14099 objets du système solaire (~2000000 d'observations). Je présente les premiers résultats de l'exploitation scientifique de la deuxième release des données Gaia et leur application à l'étude des familles d'astéroïdes.

Tait Steve

IPGP / Université Paris Diderot

Silicic magma storage at the brittle-ductile transition in continental crust

Large volumes of silicic magmas generated in the continental crust are at the origin of some of the most violent and environmentally devastating eruptions on Earth and are typically those involved in the formation of large calderas. Such magmas are generally buoyant with respect to all plausible host rocks, and therefore the formation of crustal reservoirs in which they are stored cannot be attributed to the attainment of a neutral buoyancy level. Nonetheless, petrologic data very often indicate that such magmas are stored pre-eruptively at depths less than 10 km in the crust. In several famous examples of such systems, the depth of pre-eruptive storage and that of the brittle-ductile transition appear to be similar, and we postulate that this is no coincidence. We present a model in which the ascent of buoyant silicic magma is arrested by at this transition by the strength of the upper brittle part of the crust in which elastic stresses are developed there to oppose the buoyancy force. We validate a theoretical model of the deformation of the plate-like upper crust by comparing with the results of our laboratory experiments. We then apply the model to the exceptional deformation that has been observed at Uturunco volcano, Bolivia, over the last two decades, which overlies the Altiplano-Puna magma body, which is a potential site of a future "super-eruption". We thereby explain the unusual "sombbrero" pattern of deformation, in which a large uplift is surrounded by a moat of weak subsidence.

Tanga Paolo

Observatoire de la Côte d'Azur

Gaia et le Système Solaire: une nouvelle approche pour les occultations stellaires

Grâce à la publication de la Data Release 2 (DR2), la mission Gaia a franchi une étape principale, avec des performances astrométriques et photométriques proches de celles nominales. De plus, pour la première fois un échantillon d'observations d'astéroïdes (2 millions de mesures, pour 14.099 objets) a été publié. Le gain en précision de quelques 100s fois pour l'astrométrie des astéroïdes et des étoile,

représente une avancé formidable et une opportunité unique pour élargir les applications offertes par les occultations stellaires. Au cours de cette intervention, on présentera les résultats déjà obtenus avec l'application de l'astrométrie de DR2 à certains évènements d'occultation et les problématiques à résoudre dans ce domaine. On présentera aussi le telescope robotique UniversCity de l'Observatoire de la Côte d'Azur, qui constitue un exemple intéressant de la nouvelle approche aux occultations stellaires rendue possible par Gaia. Ce telescope pourra effectuer l'exploitation systématique d'un grand nombre d'évènements d'occultation. Les résultats attendus auront un impact sur la caractérisation physique des astéroïdes occultants mais, grâce à la connaissance précise de la position des étoiles cibles, produiront un jeu de données astrométriques de très haute précision, comparable à la qualité des observations obtenues par Gaia. Les retombés de cette activité seront multiples, d'une part pour la validation de l'astrométrie obtenue par Gaia, et d'autre par dans la caractérisation des effets dynamiques fins, permettent de dériver des nouvelles estimations de masse et densités pour les astéroïdes, et d'obtenir de nouvelles mesures de perturbations non-gravitationnelles (telles que l'effet Yarkovsky).

Tanga Paolo

Observatoire de la Côte d'Azur

Astéroïdes primordiaux enrichis en inclusions refractaires.

"Au cours des dernières années on a développé, avec le soutien du PNP, un programme d'observation qui a ciblé des astéroïdes dites ""barbarians"" qui ont des propriétés optiques et physiques particulières. Après avoir été découverts à cause de leur signal polarimétrique très différent des autres astéroïdes, des observations spectroscopiques dans l'infrarouge proche ont montré qu'ils sont probablement riche en inclusions réfractaires de type CAI et ils contiennent donc une quantité anormalement élevé des premiers solides formés dans le disque protoplanétaire. \nDans le cadre de la thèse de doctorat de M. Dévoegele, on a observé des nombreux ""barbarians"" avec plusieurs techniques et instruments, et on a obtenus la collection la plus complète de données sur ces objets. Au cours de cette presentation je montrerais les résultats obtenus, en particulier sur les taux de rotation (anormalement lent), sur la présence de familles dynamiques, et sur la relation entre enrichissement en CAI et polarisation, mise en évidence pour la première fois. Cette recherche a aussi permis de développer de nouvelles techniques concernant la classification des formes dérivés par inversion photométrique. En perspective, les données de Gaia vont nous permettre d'améliorer la connaissance des formes de ces objets (un diagnostique de leur évolution collisionnelle) avec l'observation d'occultations stellaires et, potentiellement, de mieux contraindre leur nombre et distribution dans la ceinture principale grâce aux données spectrales."

Thibon Fanny

Laboratoire de Geologie de Lyon, CNRS UMR 5276, Ecole Normale Supérieure de Lyon

The cycle of iron and its isotopes in the pre-GOE ocean

FANNY THIBON (1), JANNE BLICHERT-TOFT (1), HARILAOS TSIKOS (2), JOHN FODEN (3), EMMANUELLE ALBALAT (1), AND FRANCIS ALBAREDE (1)\n\n(1) ENS de Lyon, France \n(2) Rhodes University, South Africa \n(3) University of Adelaide, Australia \n\nBanded iron formations (BIF) are a remarkable feature of the Archean and Early Proterozoic sedimentary record. Whether they reflect a specific inorganic

geochemical configuration of the ocean-atmosphere system or herald the rise of biological processes is still a matter of dispute [1-3]. In the modern ocean, iron solubility is limited to about 0.6 nmol/L [4] by Fe(III) oxyhydroxide precipitation. In contrast, prior to the Great Oxygenation Event (GOE) ~2.4 Gy ago, oceanic iron was in its Fe(II) form and its solubility, in the presence of magnetite and carbonates, estimated at 50 μmol/L for the Proterozoic [5] and 100 μmol/L for the Archean [6]. Here, we report on Fe isotope compositions in BIF from three cores from the pre-GOE Transvaal Supergroup, South Africa, and one core from the pre-GOE Joffre Member of the Hamersley Group, Australia. Cobalt accumulation rates are used to establish a high-resolution time scale and deduce chemical fluxes. The inferred sedimentation rates are consistent with U-Pb chronological evidence. The e-folding time of δ⁵⁶Fe variations up the stratigraphy is used to determine Fe oceanic residence times and Fe concentrations as well as the dissolved carbonate content of Early Proterozoic seas. Iron oceanic residence times increased from 0.3 to 5 Ma from 2521 to 2394 Ma, which translates into ocean Fe concentrations increasing from 6.4 to 37 mmol/kg and a [CO₂] decrease from 3.1 to 0.5 nmol/kg. Massive BIF precipitation was triggered by release of CO₂ into the atmosphere and subsequent surges of alkalinity into the ocean due to the weathering of large subaerial volcanic systems. It is argued that magnetite precipitation from seawater Fe(II) was allowed by two electron acceptors, manganese dioxide and dissolved inorganic carbonate ions. Although methanotrophs may have assisted carbonate reduction, biological processes are not a requisite for magnetite deposition.

[1] Bekker et al. (2010) *Econ. Geol.* 105, 467-508. [2] Dauphas et al. (2017) *Rev. Mineral. Geochem.* 82, 415-510. [3] Konhauser et al. (2017) *Earth. Sci. Rev.* 172, 140-177. [4] Conway et al. (2016) *Mar. Chem.* 183, 50-61. [5] Holland (1984) Princeton University Press 598 [6] Sumner (1997) *Am. J. Sci.* 297, 455-487.

Tobie Gabriel

LPG/CNRS/Univ. Nantes

Interaction surface/intérieur dans les mondes glacés du Système solaire : L'exemple d'Encelade

L'exploration des mondes glacés par différentes missions spatiales (Galileo (1996-2003) autour de Jupiter, Cassini-Huygens (2004-2017) autour de Saturne, New Horizons (2015) lors du survol du système Pluton-Charon) a révélé que plusieurs corps possèdent des océans d'eau liquide sous leur croûte glacée, notamment Europe, Ganymède, Titan, Encelade et Pluton. La découverte de ces océans ouvre de nouvelles perspectives tant pour la compréhension de l'évolution de ces mondes glacés que pour l'évaluation de leur potentiel exobiologique. L'évolution de cette hydrosphère (océan + glace) a aussi vraisemblablement joué un rôle majeur sur l'activité géologique que l'on observe à la surface de ces objets, ainsi que sur les processus d'échanges entre l'intérieur profond et la surface, en particulier sur Encelade et Europe, où des éruptions de vapeur ont été découvertes. Le présent projet a pour objectif de mieux comprendre le couplage entre l'activité de surface et l'évolution de l'intérieur de ces satellites de glace en support à l'exploitation des données par les missions spatiales (Cassini-Huygens et New Horizons) et à la préparation des futures missions (Europa Clipper, JUICE). Ces dernières années, nos travaux se sont concentrés sur la lune Encelade qui apporte une opportunité unique d'étudier des processus de couplage entre la dynamique interne et l'activité de surface. À partir de l'analyse des données collectées par la sonde Cassini, nous avons pu proposer des modèles 3D de la structure de la couche de glace et de la dynamique interne permettant d'expliquer les activités observées en surface et leur concentration au niveau de son pôle sud. Nous avons ainsi montré que les effets de marée jouent un rôle majeur tant sur la dynamique profonde que sur l'activité tectonique et éruptive observée à sa surface. Les développements méthodologiques effectués dans le cas d'Encelade pourront par la suite être appliqués à d'autres objets, en particulier Europe pour la préparation des futures missions Europa Clipper et JUICE.

URIBE SUAREZ Diego

MINES ParisTech, PSL Research University, CEMEF / UNS-CNRS Observatoire de la Cote d'Azur

Crack Propagation Criteria and Dynamic Insertion of Cohesive Elements Applied to thermal fatigue failure of comets/asteroids

It has been shown that temperature cycles on airless bodies of our Solar System can cause damaging of surface materials. This damaging process, known as thermal cracking, consists in the nucleation and growth of micro-fractures inside the material due to the mechanical stresses induced by the diurnal temperature cycles - the process of fracturing is the irreversible separation of a continuous medium into two or more parts. Thermal cracking of surface rocks, in addition to the impact of micrometeorites, can eventually lead to rocks' breakup and produce fresh regolith, the latter being the layer of unconsolidated material that covers planetary surfaces. Furthermore, it is proposed by several studies that also macroscopic fractures, mass-wasting, and material breakdown on asteroids and cometary nuclei could be explained as a consequence of thermal effects. For all the reasons above, thermal cracking is now considered a space (and Earth) weathering mechanism. Here, we focus on the fracture propagation mechanisms, which are still poorly understood in the case of space objects.

To simulate fracture process several numerical methods have been developed. Failure initiation is usually based on damage-based models which study damage in a continuous way up to the initiation of fracture once a threshold is reached. Once initiated, cracks may propagate depending on their thermomechanical environment and on material heterogeneity and properties such as toughness. This study deals with a finite element framework for the study of such crack propagation phenomena. Once a crack has initiated, it is necessary to check if the crack is going to propagate or not (crack propagation criteria), and in which direction (crack kinking criteria). There are different criteria to find the direction of propagation of a crack, some criteria are based on the local stress fields at the crack tip (maximum circumferential stress criterion), while others are based on an energetic approach (maximal strain energy release rate criterion). As crack propagation phenomenon introduces a displacement discontinuity an advanced remeshing technique is developed here. In addition cohesive zone models describing the transition from a sound material to a fully broken material will be used. An overview of crack propagation in brittle materials will be presented for various configurations.

Vals Margaux

Laboratoire de Météorologie Dynamique

Vers une nouvelle génération du modèle de climat global martien au LMD

M. Vals, F. Forget, E. Millour, A. Spiga, A. Maatlaan, J. Audouard, F. Montmessin, F. Lefevre, C. Wang, A. Pottier, G. Gilli, V. Zakharov, D. Bardet, T. Navarro, J.B. Madeleine, L. Montabone, F. Gonzalez-Galindo

Le Modèle de Climat Global (« GCM ») martien développé au Laboratoire de Météorologie Dynamique en collaboration avec plusieurs équipes européennes (LATMOS, IAA Grenade, University of Oxford, The Open University), et avec le soutien de l'ESA et du CNES, est utilisé pour de nombreuses applications. Ce modèle s'efforce de prédire le comportement détaillé du climat martien décrit par les cycles du CO₂, de l'eau, des poussières et de la photochimie, uniquement à partir d'équations universelles. La comparaison des simulations du GCM avec les observations disponibles permet de les interpréter, et révèle parfois que certains processus climatiques martiens restent mal

modélisés. L'implémentation en cours des récents travaux menés par les équipes citées plus haut a permis d'élucider certains désaccords jusqu'alors mystérieux et promet la génération d'une nouvelle version de ce GCM. Le cycle de l'eau a fait l'objet de plusieurs améliorations, notamment pour mieux représenter les nuages sous-maille (lorsqu'une fraction seulement de la maille du modèle est recouverte de nuages) et l'intense convection nocturne récemment mise en évidence dans certains nuages (Spiga et al., 2017). Une microphysique des nuages de CO₂, avec la possibilité de nucléation du CO₂ sur les nuclei de glace d'eau, a également été implémentée et est en cours de validation. Une paramétrisation des « rocket dust storm » (Spiga et al. 2013) permet à présent de modéliser les énigmatiques couches détachées de poussière observées entre 20 et 30 km d'altitude, mais seulement durant la saison des tempêtes de poussières (Wang et al. 2018). Afin de représenter ces couches détachées durant la saison claire, une paramétrisation de l'injection des poussières au sommet des montagnes a été initiée. L'implémentation d'une paramétrisation des ondes de gravité non-orographiques, qui semblent jouer un rôle crucial dans la circulation atmosphérique, améliore considérablement la structure thermique simulée. Mentionnons enfin l'implémentation d'un nouveau « solveur » de chimie atmosphérique (Cariolle et al. 2017), ainsi que l'amélioration de la représentation de la basse-ionosphère (Cardnell et al. 2016).

VATANT d'OLLONE Jan

LMD/IPSL

Modélisation des variations saisonnières dans la moyenne atmosphère de Titan

Modélisation des variations saisonnières dans la moyenne atmosphère de Titan
J. Vatant d'Ollone (LMD/IPSL), S. Lebonnois (LMD/IPSL), J. Burgalat (GSMA), P. Rannou (GSMA)
La longévité exceptionnelle de la mission Cassini a permis de suivre l'évolution de la moyenne atmosphère de Titan, notamment via les observations dans l'infrarouge thermique, sur presque une demi-année titaniennne et de nombreux effets saisonniers ont pu être mis en lumière dans de précédentes études (Vinatier et al, 2015). Parmi ceux-ci, l'évolution de l'atmosphère dans les régions polaires hivernales et les couplages qui y ont lieu entre circulation générale, enrichissement en composés traces (hydrocarbures et nitriles) et structure thermique restent partiellement compris et nécessitent l'appui de modèles tels que le Modèle de Circulation Générale (GCM) développé à l'IPSL. La dernière version de référence du modèle (Lebonnois et al, 2012) ne permettait pas de s'intéresser de manière détaillée à ces questions en raison d'une structure thermique en désaccord avec les observations dans la stratosphère. Les récents travaux sur le transfert radiatif au sein du modèle ayant abouti sur une meilleure représentation de la structure thermique et de la circulation dans cette région il est maintenant possible d'y étudier avec ce GCM l'évolution saisonnière en température et composition et la confronter aux observations. En parallèle des améliorations sont encore en cours, comme par exemple le couplage à un nouveau modèle microphysique (Burgalat et al, 2016) pour simuler les aérosols et nuages titaniens.

Vaubailon Jérémie

IMCCE

MALBEC : des météores vues d'une plateforme volante

Le projet MALBEC (Meteor automated Light Balloon Experimental Camera) a pour but d'observer les météores depuis une plateforme mobile, capable d'observer depuis une position située au-dessus des nuages, par presque tous types de temps (excepté orages). La TPE KYU-ACE est en charge du développement matériel (conception, réalisation). Le PNP nous a aidé à financer les phases de faisabilité et démonstration. Le CNES nous a participé au développement et aux vols d'essai. Nous présenterons le statut du projet ainsi que les résultats préliminaires obtenus.

Vernazza Pierre

LAM

ESO/VLT/SPHERE Survey of $D > 100$ km Asteroids (2017-2019): First Results

"The vast majority of the geological constraints (i.e., internal structure via the density, cratering history) for main belt asteroids have so far been obtained via dedicated interplanetary missions (e.g., Rosetta, DAWN). The high angular resolution of SPHERE/ZIMPOL (one pixel represents 3.6×3.6 mas on sky), the new-generation visible adaptive-optics camera at ESO/VLT, implies that such science objective can now be investigated from the ground for a large fraction of $D \geq 100$ km main-belt asteroids (most of these bodies possess an angular diameter around opposition larger than 100 mas). The sharp images acquired by this instrument can be used to constrain accurately the shape and thus volume of these bodies (hence density when combined with mass estimates) and to characterize the distribution and topography of $D \geq 30$ km craters across their surfaces. \nTo make substantial progress in our understanding of the shape, internal compositional structure (i.e., density) and surface topography of large main belt asteroids, we are carrying out an imaging survey via an ESO Large program entirely performed in service mode with seeing constraints $< 0.8''$ (152h in total; PI: P. Vernazza; ID: 199.C-0074; the observations are spread over 4 semesters from April 1st, 2017 till March 30, 2019) of a statistically significant fraction of all $D > 100$ km main-belt asteroids (~ 35 out of ~ 200 asteroids; our survey covers the major compositional classes) at high angular-resolution with VLT/SPHERE throughout their rotation (typically 6 epochs per target). \n\nHere, we will present a summary of the results obtained after one year of observations."

Villeneuve Johan

CRPG - CNRS - UL

Ce qu'impliquent les variations isotopiques du silicium des chondres sur leur formation

"Les chondres, sphérules silicatées submillimétriques, sont des constituants fondamentaux des météorites primitives, qui nous renseignent sur les conditions d'évolution du disque d'accrétion au cours des premiers millions d'années de l'histoire du Système Solaire. Un processus clé dans la connaissance de cette évolution est la compréhension des processus de formation ayant conduit à la large diversité pétrographique et chimique des chondres. L'objectif de cette étude est de tester l'hypothèse controversée de l'existence d'interactions entre les précurseurs des chondres et un gaz oxydant riche

en SiO au cours de la formation des chondres. Pour cela, nous avons développé la mesure de la composition isotopique du Si des minéraux silicatés (olivine, pyroxène) des chondres par sonde ionique. Les olivines magnésiennes des chondres de type I des chondrites carbonées CV Allende et Kaba montrent des compositions isotopiques $\delta^{30}\text{Si}$ qui varient d'environ 10 ‰ avec des valeurs comprises entre -8 ‰ et 2 ‰ au sein d'un même objet. En outre, les mesures de $\delta^{30}\text{Si}$ dans les olivines ferrifères des chondres de type II d'Allende montrent des enrichissements systématiques d'environ 4-6 ‰ par rapport aux olivines magnésiennes. Ces variations, considérables au regard de celles mesurées en roche totale dans les chondrites carbonées (-0,45 ‰ \pm 0,04 ‰ ; e.g. Dauphas et al., 2015) et même de celles mesurées dans l'ensemble des chondrites, des achondrites et des différents réservoirs planétaires (de 0,1 ‰ à -0,8 ‰ ; Dauphas et al., 2015), ne peuvent être expliquées par des fractionnements isotopiques de masse liés à la cristallisation des silicates des chondres lors de leur formation. En revanche, elles peuvent être interprétées comme étant la signature d'une interaction entre les précurseurs des chondres et le SiO de la phase gazeuse lors de la formation des chondres. En effet, de tels fractionnements sont attendus à la faveur de processus de fractionnement de masse cinétique (enrichissement en isotope léger) ou à l'équilibre (enrichissement en isotope lourd) lors de la condensation de SiO (e.g. Dauphas et al., 2015). Les implications de ces résultats sur les processus et l'environnement de formation des chondres dans le disque d'accrétion seront discutées lors de ce colloque."

VinatierSandrine

LESIA, Observatoire de Paris-Meudon

Etude des variations saisonnières dans l'atmosphère de Titan

Titan, le plus gros satellite de Saturne, est le seul objet du système solaire, avec la Terre, à posséder une atmosphère dense composée majoritairement de diazote (N_2 , 98 %). Le second constituant le plus abondant est le méthane (CH_4 , 1.48 %). L'atmosphère de Titan est riche de nombreuses molécules organiques plus ou moins complexes. La chimie qui les génère est initiée par la photodissociation de N_2 et de CH_4 au-dessus de 700 km qui conduit à la formation d'hydrocarbures (C_2H_6 et C_2H_2 étant les plus abondants) et de nitriles (HCN , HC_3N , ...) qui réagissent entre eux pour former des molécules complexes, à l'origine des aérosols omniprésents dans l'atmosphère de Titan. Une dynamique atmosphérique globale, composée de cellules de circulation globales affecte la distribution spatiale de la température et des composés atmosphériques (molécules, aérosols). En retour, ces composés influent sur le transfert radiatif dans l'atmosphère. Il existe ainsi des couplages complexes entre la dynamique, la chimie, les aérosols et le transfert radiatif.

La mission Cassini/Huygens, en orbite autour de Saturne de 2004 à 2017 a fourni une quantité de données considérable (127 survols de Titan) et permis des avancées majeures dans la compréhension de Titan. Nous présenterons les résultats de notre analyse des données de Cassini/CIRS portant sur l'étude des variations saisonnières des distributions spatiales des composés atmosphériques de l'équinoxe de printemps nord (en août 2009) au solstice d'été (en septembre 2017) et les interprèterons en termes de modifications de la dynamique globale.

Par ailleurs, nous présenterons également les premiers résultats de l'analyse des observations de Titan par l'interféromètre ALMA en nous focalisant en particulier sur la première mesure du profil de vitesse des vents de la stratosphère à la thermosphère.

Vuitton Véronique

Univ. Grenoble Alpes, CNRS, CNES, IPAG, 38000 Grenoble, France

Faits saillants et questions ouvertes sur la chimie atmosphérique de Titan

Cassini a démontré l'existence dans la haute atmosphère de Titan d'un nouveau régime pour la chimie organique dans le système solaire. INMS et CAPS ont découvert de façon inattendue une chimie ionosphérique complexe dominée par des molécules organiques avec un m/z supérieur à 1000 Da mais leur pouvoir de résolution en masse était insuffisant pour permettre des identifications uniques. Les modèles photochimiques ont fourni des affectations pour les ions positifs et négatifs jusqu'à $m/z \sim 100$ Da. Ils ont notamment déduit que les ions sont riches en azote. Ils ont montré que la chimie neutre et la chimie ionique sont intimement couplées, cette dernière étant une source substantielle d'espèces neutres. Ils ont fourni une bonne compréhension de la composition chimique, à l'exception notable des espèces oxygénées.

Les questions ouvertes soulevées par Cassini comprennent :

- Pourquoi y a-t-il un désaccord d'un facteur 2 ou 3 entre les densités des ions positifs (et des électrons) observées et modélisées ?*
- Quel sont du côté nuit les contributions relatives de l'ionisation in situ et du transport des ions depuis le côté jour ?*
- Quelle est la nature chimique des macromolécules ? Sont-elles riches en azote et ressemblent-elles aux polymères de HCN ? Contiennent-elles des sous-unités polyaromatiques et / ou hétérocycliques ?*
- Quels sont les processus responsables de la croissance des aérosols ? Quelles sont les contributions relatives des voies de réaction ion-neutre par rapport aux réactions radicalaires ?*
- Quelle est la nature, l'intensité et la variabilité temporelle de la (des) source(s) d'oxygène dans l'atmosphère ? Des précurseurs biologiques tels que des acides aminés et des bases nucléotidiques ou d'autres espèces chimiques ayant un certain potentiel prébiotique peuvent-elles être synthétisées dans l'atmosphère ?*
- Comment les ions et les espèces neutres interagissent-ils avec les aérosols photochimiques et les divers condensats dans la basse atmosphère ?*

Une nouvelle génération de spectromètres de masse à très haute résolution avec un pouvoir de résolution en masse ($m / \Delta m$ à FWHM) de 100 000 à $m/z = 100$, une sensibilité de 10^{-3} molécules cm^{-3} et une gamme de masse allant jusqu'à 1000, fournirait de nombreuses réponses à ces questions.

Wieczorek Mark

OCA

The magnetic field of the Moon

The Moon was once thought to be a cold undifferentiated body that never could have been capable of generating an internal Earth-like magnetic field. It thus came as a surprise to find that many of the lunar rocks collected during the Apollo missions were magnetized, and that orbital magnetic field data showed portions of the crust to be associated with large magnetic anomalies. The evidence that the Moon had a long lived magnetic field generated by a core dynamo will be summarized in this talk, and the various models that have been proposed to power the dynamo will be described. The strongest magnetic anomalies appear to be correlated with the largest impact basin on the Moon, and it will be argued that the materials responsible for these anomalies are derived from remnants of the iron-rich projectiles that formed these basins.

YOUNG Roland

Laboratoire de Météorologie Dynamique

Vers l'assimilation de données des observations de ExoMars TGO ACS dans le LMD Mars GCM

ExoMars Trace Gas Orbiter (TGO), un projet collaboratif entre l'Agence spatiale européenne (ASE) et Roscosmos (Russie), est arrivé autour de la planète Mars le 19 octobre 2016, et a atteint son orbite scientifique à 400km d'altitude le 7 avril 2018. Au Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD), nous préparons l'assimilation de données issues des observations de TIRVIM, le spectromètre dans l'infrarouge thermique qui compte parmi les trois instruments de l'Atmospheric Chemistry Suite (ACS). L'analyse de ces spectres permet d'estimer les profils verticaux de température de l'atmosphère, la température de la surface, la colonne intégrée de poussière et de glace d'eau. Précédemment, en utilisant une technique d'assimilation de données fondée sur le filtre de Kalman de l'ensemble (LETKF), nous avons travaillé à l'assimilation des profils de température obtenus par le Mars Climate Sounder - un spectromètre sur Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) de la NASA - dans le modèle de circulation générale (GCM) martien du LMD. L'avantage des observations de TGO est de couvrir toutes les heures locales, contrairement à MRO qui n'observe qu'à ~3h et ~15h. Nous décrivons notre progrès vers l'assimilation de données des profils de températures obtenus par ACS, et nos efforts à améliorer notre algorithme d'assimilation de données dans le contexte de l'atmosphère martienne. Nos buts à long terme sont de créer les assimilations de l'atmosphère martienne en mode quasi-opérationnel, de fournir ces assimilations à la communauté scientifique et de les utiliser pour mieux comprendre le climat de Mars.

Zanda Brigitte

Muséum national d'Histoire naturelle

L'hétérogénéité isotopique des chondres et de la matrice montre qu'ils n'ont pas de lien génétique

Les composants de haute température des chondrites (les « chondres ») sont sertis dans une matrice à grain fin riche en volatils et très peu chauffée avant l'accrétion. La question se pose de savoir s'il existe ou non un lien génétique entre ces composants assemblés dans une même chondrite, ou bien s'ils ont été formés indépendamment. Le modèle « à deux composants » postule que les chondres et la matrice ont des origines distinctes, la matrice ayant hérité de la composition chimique moyenne du disque (solaire, identique à celle des chondrites CI). À l'opposé, l'hypothèse de la « complémentarité » postule que matrice et chondres ont été formés simultanément puis accrétés rapidement, conservant globalement la composition chimique chondritique du réservoir commun dont ils sont issus. Cette seconde hypothèse limitant considérablement la possibilité d'un transport des composants dans le disque avant l'accrétion, il apparaît important de départager les deux. Des mesures isotopiques récentes, ont été interprétées comme une confirmation de la seconde. Le W et le Mo présents dans les chondres d'Allende présentent un déficit en éléments produits par le processus nucléosynthétique « s », ceux de la matrice un excès, ce que Budde et ses co-auteurs attribuent à un tri des phases porteuses intervenu au moment de la formation simultanée des chondres et de la matrice. Un tel tri étant peu vraisemblable, si chondres et matrice étaient issus d'un même réservoir, ils devraient avoir des signatures isotopiques similaires. De plus, « complémentarité » s'entend comme s'additionnant pour régénérer le réservoir de origine de composition chondritique (= Soleil = CI). Or, il n'existe pas de telle composition isotopique « chondritique » unique pour Mo, W, ni pour O, Cr, chaque chondrite différant des CI (et du Soleil). La différence de signature isotopique entre chondres et matrice démontre donc que ces deux familles de composants sont issues de réservoirs distincts.