

11^E CONGRÈS

DES DOCTORANT.E.S

DE L'OBSERVATOIRE DE LYON

Abstract booklet

1^{er} décembre 2022

Amphithéâtre Mérieux



Program

9:00–10:00	Opening speech
10:00–10:30	Poster presentations
10:30–11:00	Break + Poster session

11:00–12:00	SESSION A: PLANETOLOGY
11:00–11:20	A new mechanism for the formation of the Martian dichotomy <i>Valentin Bonnet Gibet</i>
11:20–11:40	Solidification de l’océan de magma lunaire <i>Line Colin</i>
11:40–12:00	Convection dans les glaces de haute-pression des mondes océans et implications pour l’habitabilité <i>Laëtitia Lebec</i>

12:00–13:30	Lunch + Poster Session
-------------	-------------------------------

13:30–14:30	SESSION B: GEOLOGY AND MINERALOGY
13:30–13:50	L’évolution tectono-métamorphique de l’orogène d’accrétion du Jilin-Heilongjiang dans le Nord-est de la Chine <i>Arthur Aouizerat</i>
13:50–14:10	Quantification de l’exhumation alpine, une approche Bayésienne <i>Antoine Mercier</i>
14:10–14:30	Phosphorylation of prebiotic precursors on the early Earth <i>Anastasïia Shvetsova</i>

14:30–15:30	SESSION C: ASTROPHYSICS
14:30–14:50	Calibration and performances of the integrated Mach-Zehnder (iMZ) wavefront sensor for extreme adaptive optics <i>Camille Graf</i>
14:50–15:10	Effect of correlations in the structures of the Universe <i>Pascal Wang</i>
15:10–15:30	Formation des premières étoiles de l’univers : étude effondrement des nuages primordiaux <i>Romain Lenoble</i>

15:30–16:00 **Break + Poster Session**

16:00–17:20 **SESSION D: PALEONTOLOGY
AND PALEOENVIRONMENTS**

16:00–16:20 Changements paléoclimatiques et paléoenvironnementaux holocènes en Afrique de l’Ouest à partir de l’étude de biomarqueurs lipidiques d’une tourbière camerounaise

Valentine Schaaff

16:20–16:40 Arthropleura : nouveautés biologiques et écologiques à la lumière des juvéniles de Montceau-les-Mines (305 Ma):

Mickaël Lheritier

16:40–17:00 Paléoenvironnements des mers arctiques au Pliensbachien-Toarcien (185-180 Ma)

Thomas Letulle

17:00–17:20 Les solutes (Echinodermata) des Lagerstätten des Fezouata (Ordovicien inférieur, Maroc) : diversité, préservation exceptionnelle, et paléoécologie.

Christophe Dupichaud

17:20–17:45 **Award ceremony**

17:45–18:00 **Closing speech**

Posters

A new method of discriminant analysis, phylogeny-informed and applicable in large dimension

Anais Duhamel

Differentiation of the Martian Crust

Valentin Bonnet Gibet

Modeling the extrusion of magma within impact craters in the Highlands of Venus

Alexandra Le Contellec

Ontogenetic variability of the intertympanic sinus distinguishes lineages within Crocodylia

Gwendal Perrichon

Temperature as main driver of the calcium carbonate accumulation during the Paleocene-Eocene transition at ODP site 1209 (North Pacific)

Nicolas Pige

Tomography of upper mantle attenuation by surface wave modeling in 3D Earth models

Auriane Keromnes

Augmenter la limite de détection des exoplanètes par combinaison optimale d'observations multi-époques en imagerie directe

Jules Dallant

Topological modes in stellar oscillations

Armand Leclerc

Swimming of bacteria near surface in the presence of chemoattractants and chemorepellents in microfluidic channel

Asma Braham

Urban Dark Fiber Distributed Acoustic Sensing for Bridge Structure Monitoring

Julie Rodet

A new method of discriminant analysis, phylogeny-informed and applicable in large dimension.

Anaïs Duhamel¹

1. Laboratoire de Géologie de Lyon : Terre, Planète, Environnement

Understanding the link between ecology and morphology is a key issue, notably in paleontology since understanding this relationship for extant species allows the inference of extinct species ecologies from their osteological features. A particularly adapted statistical tool for such predictions is discriminant analysis. Indeed, this method first fits a model on a training set containing individuals for which both categorical traits (e.g. ecological classes) and continuous traits (e.g. morphology) are known, to be then able to predict the class of an individual for which only continuous traits are known. However, morphology is not the only signal which can help to infer past ecologies. Indeed, when the issue is classification and not studying the structure/function relationship *stricto sensu*, the phylogenetic position of an individual can be highly informative since closely related species often share the same ecology. Still, the only attempt of phylogenetic discriminant analysis so far removes the phylogenetic signal from the dataset, and thus potentially discards an informative signal for ecological classes discrimination. Moreover, with the rise of 2D and 3D geometric morphometrics, datasets with more traits than species are now commonplace, but classical discriminant analysis methods significantly lose statistical power when the number of morphological traits (p) approaches the number of species (n), and are not even computable when p is higher than n . For now, there exists no discriminant analysis method that both includes the phylogenetic signal (instead of removing it) and is applicable to high dimensional datasets, i.e. when p is higher than n . We thus propose here a new method of discriminant analysis which is both phylogeny-informed and “penalized” in order to be computable even in high dimensions. The performances of this newly implemented method was assessed on simulated and empirical datasets, compared with pre-existing methods of linear discriminant analysis (LDA). It appears that this new method performs at least as good as other LDA, performs better in datasets showing a non-null phylogenetic signal, and performs even better when p gets closer to n . In the light of these encouraging results, it seems recommended to use the penalized phylogeny-informed method instead of other LDA, and this regardless of the dimensionality of the dataset and of the strength of its phylogenetic signal.

Contact: anais.duhamel@ens-lyon.fr

Differentiation of the Martian Crust

Valentin Bonnet Gibet¹, Chloé Michaut

1. Laboratoire de Géologie de Lyon : Terre, Planète, Environnement

La croûte martienne est constituée de roches sédimentaires et volcaniques qui sont principalement de composition basique. Néanmoins, des observations orbitales et in-situ (Cratère Gale) révèlent la présence de roches acides, plus riche en silice. Ces observations sont concentrées dans l'hémisphère sud là où l'épaisseur de croûte est plus épaisse. Ces roches se sont formées par la différenciation d'un protolithe basique. Sur Terre, les contextes permettant ce mécanisme sont tous liés à une tectonique des plaques active (arc volcaniques, zones de subduction, orogénèse). Mais sur Mars, nous avons aucune preuve d'une tectonique des plaques active ou ancienne, le contexte de formation pose alors question. Notre précédente étude (Bonnet Gibet et al, 2022) montre que la dichotomie crustale martienne peut être expliquée par un mécanisme de rétroaction positive, la croûte étant enrichie en éléments radioactifs, la lithosphère est plus chaude là où la croûte est plus épaisse, ce qui implique une plus grande fraction de liquide en profondeur et donc une extraction et un épaissement crustal plus important. Ce mécanisme implique aussi que plus les croûtes s'épaississent, plus elles proches de la température de solidus, permettant la formation de roches différenciées. Dans ce cas, une croûte plus épaisse au sud serait plus favorable à la formation de ces roches. Les roches différenciées pourraient alors se créer sur Mars pendant l'extraction de la croûte.

Contact: valentin.bonnet_gibet@ens-lyon.fr

Modeling the extrusion of magma within impact craters in the Highlands of Venus

Alexandra Le Contellec¹, Chloé Michaut, Francesco Maccaferri, Virginie Pinel

1. Laboratoire de Géologie de Lyon : Terre, Planète, Environnement

The Magellan mission revealed two categories of impact craters at the surface of Venus: bright-floored and dark-floored craters, the latter being interpreted as craters partially filled by smooth lavas after their formation. Using observations of volcanic deposits and evidence of magmatic intrusions within impact craters on the Moon combined with mechanical models of magma ascent in the crust, it has been shown that the surface unloading caused by a crater may provide a driving overpressure for the magma to ascend through the crust despite its negative buoyancy. Relying on this framework, we develop analytical and numerical models of magma ascent through the crust of Venus and compare them with quantitative surface observations on a set of craters located in the high plateaus of the planet to constrain the magma and crust densities as well as the initial magma storage depth that would allow the magma to ascend up to the crater interior.

Contact: alexandra.le_contellec@ens-lyon.fr

Ontogenetic variability of the intertympanic sinus distinguishes lineages within Crocodylia

Gwendal Perrichon¹

1. Laboratoire de Géologie de Lyon : Terre, Planète, Environnement

The phylogenetic relationships within crown Crocodylia remain contentious due to conflicts between molecular and morphological hypotheses. However, morphology-based datasets are mostly constructed on external characters, overlooking internal structures. Here, we use 3D geometric morphometrics to study the shape of the intertympanic sinus system in crown crocodylian during ontogeny, in order to assess its significance in a taxonomic context. Intertympanic sinus shape was found to be highly correlated with size and modulated by cranial shape during development. Still, adult sinus morphology distinguishes specimens at the family, genus and species level. We observe a clear distinction between Alligatoridae and Longirostres, a separation of different *Crocodylus* species and the subfossil Malagasy genus *Voay*, and a distinction between the *Tomistoma* and *Gavialis* lineages. Our approach is independent of molecular methods but concurs with the molecular topologies. Therefore, sinus characters could add significantly to morphological datasets, offering an alternative viewpoint to resolve problems in crocodylian relationships.

Contact: gwendal.perrichon@univ-lyon1.fr

Temperature as main driver of the calcium carbonate accumulation during the Paleocene-Eocene transition at ODP site 1209 (North Pacific)

Nicolas Pige¹, Guillaume Suan, Alessandro Menini, Pierre-Henri Blard, Emanuela Mattioli

1. Laboratoire de Géologie de Lyon : Terre, Planète, Environnement

The Paleocene-Eocene transition displayed several greenhouse gas-induced hyperthermal events, the best known being the Paleocene-Eocene Thermal Maximum (PETM; -56 Ma). The abrupt associated changes in environmental conditions may have deeply impacted coccolithophores which remains constitute a major component of deep-sea sediments. These single-celled algae are major players of the carbon cycle since, they consume CO₂ for photosynthesis, and produce calcite platelets named coccoliths. Knowing the dissolution dynamics of calcareous nannofossils throughout the water column is essential to produce realistic carbon budgets across hyperthermal events.

In this work, we analyze the ODP Site 1209 (North Pacific) to reconstruct accumulation fluxes of coccoliths reaching the ocean floor during the latest Paleocene to earliest Eocene. For this, we use a high-resolution record of extra-terrestrial ³He-derived sedimentation rates. We compared the obtained fluxes to different proxies of dissolution (planktonic foraminifera fragmentation and coarse fraction) to disentangle the preservation and CaCO₃ accumulation (mainly represented by coccoliths) signals recorded in the studies strata.

Our findings challenge the widely accepted model previously proposed for hyperthermal events, assuming that the CaCO₃ accumulation is mainly controlled by dissolution. Indeed, our results suggest that it exist a strong causal (?) relationship between CaCO₃ accumulation and the temperature for most of the Late Paleocene hyperthermal events.

Contact: nicolas.pige@univ-lyon1.fr

Tomography of upper mantle attenuation by surface wave modeling in 3D Earth models

Auriane Keromnes¹,

1. Laboratoire de Géologie de Lyon : Terre, Planète, Environnement

Seismic tomography allows us to build 3D models that can tell us about the structure of the globe. Seismic tomography is often used to map mantle velocity anomalies, at different depths. The distribution of seismic velocities depends to first order on 3 parameters: chemical composition, temperature, and melt. Attenuation has a different sensitivity to these parameters. It seems therefore necessary to produce a new 3D attenuation model from a large dataset of Rayleigh waves matched using 3D synthetics. For this purpose, I use a large dataset of Rayleigh wave vertical component seismograms corresponding to 109 earthquakes recorded at 149 stations globally distributed. Attenuation curves for the fundamental mode Rayleigh waves are measured from the ratio between the amplitude of the observed and calculated seismograms. Path average measurements are then combined in a tomographic inversion (Debayle Sambridge, 2004; Montagner, 1986) to obtain 2D attenuation maps at different periods.

Contact: auriane.keromnes@univ-lyon1.fr

Augmenter la limite de détection des exoplanètes par combinaison optimale d’observations multi-époques en imagerie directe

Jules Dallant¹, Maud Langlois, Eric Thiébaud, Olivier Flasseur

1. Centre de Recherche Astrophysique de Lyon

La détection d’exoplanètes par imagerie directe est l’un des plus grands défis de l’astronomie moderne. L’intensité du signal de l’étoile peut empêcher la détection d’exoplanètes en orbite dans des données individuelles mais combiner les informations d’observations à plusieurs époques permet d’abaisser les limites de détection. Nous proposons un nouvel algorithme nommé PACOME, basée sur l’approche de PACO, combinant de manière optimale, au sens du maximum de vraisemblance, des jeux de données multi-époques et améliorant la sensibilité de détection d’éventuelles exoplanètes en tenant compte de leurs mouvements orbitaux. L’efficacité de l’algorithme est testée sur le système exoplanétaire HR 8799

Contact: jules.dallant@univ-lyon1.fr

Topological modes in stellar oscillations

Armand Leclerc¹

1. Centre de Recherche Astrophysique de Lyon

Stellar oscillations can be of two natures: acoustic or buoyant. Their frequencies behave differently, and they form two different bands of frequencies, and a theoretical gap between these bands of frequencies. One can show, using tools and techniques from topological physics, that this gap can be crossed by a few modes, that are spatially localized around points of cancellation of a certain characteristic frequency $S(\mathbf{r})$ that we exhibit. These modes are very much akin to Lamb waves, with the difference that they are not trapped at a boundary of the system, but in its bulk. These Lamb-like waves are shown to propagate at least once in every stellar object, behaving like its fundamental mode, but additional similar waves can propagate in regions of strong gradients, for example phase transitions.

Contact: armand.leclerc@ens-lyon.fr

Swimming of bacteria near surface in the presence of chemoattractants and chemorepellents in microfluidic channel

Asma Braham¹, Laurence Lemelle, Romain Ducasse, Eleonore Mottin, Vincent Calvez, Christophe Place

1. Laboratoire de Géologie de Lyon : Terre, Planète, Environnement

Bacteria can travel long distances thanks to flagellar appendages that allow them to move. When a motile bacterium approaches a surface, it undergoes hydrodynamic interactions that result in a directed circular motion of its trajectory that confines it to the surface. However, the trajectory of a bacterium is marked by reorientations and stops that are the result of a change in the direction of rotation of the bundle of flagella. This change of direction occurs periodically, about every 1s, for 100ms for the bacterium *E. coli*. The random reorientation of the bacteria near a surface allows the trapped bacteria to abruptly extract to the volume and reorient to explore their environment. Bacterial chemotaxis, which takes advantage of a frequency bias in reorientation, allows the redistribution of a bacterial population. We study the effects of known chemorepellent and chemoattractant substances such as Ni^{2+} and Mg^{2+} cations, on bacterial redistribution. For this purpose, we conduct experiments in dark field video microscopy by varying the sources of chemical agents in microfluidic channels Here, I will describe a protocol to apply dark-field video microscopy and post-processing of the bacterial tracks to decipher the main physico-chemical laws that prevail between an individual bacterium and the reactive surface will be specified. This work should also establish a documented reference of the collective behavior of a population of bacteria near reactive surfaces.

Contact: asma.braham@ens-lyon.fr

Urban Dark Fiber Distributed Acoustic Sensing for Bridge Structure Monitoring

Julie Rodet¹

1. Laboratoire de Géologie de Lyon : Terre, Planète, Environnement

The collapse of several structures such as the Morandi bridge in Genoa in 2018 has made securing the operation of structures an important societal issue. Thus, some countries investigate the structural condition of buildings located on their territory in order to optimize maintenance and ensure the safety of users. The usual structure monitoring strategies are based on static or dynamic measurements sampled and applied periodically from sensors. Distributed Acoustic Sensing (DAS) technology is an alternative offering other observational possibility, by giving easy access to a multitude of experimental data along telecom fiber optic networks Involving various economic players (Febus Optics, Covage) and regional institutions (Métropole de Lyon, Région Auvergne Rhône-Alpes), the DASARA project (Tauzin et al., 2020) consists of using DAS technology to take measurements over a wide geographical coverage in an urban environment to extracting information of interest to civil engineering and geotechnics. The experiment made on the bridges is part of this project and aims to extract the dynamic responses of four bridges using 53 hours of DAS data acquired on a 24 km long telecom fiber running through the Lyon metropolitan area from West to East. This data were acquired in November 2021 with a sampling frequency of 400Hz. The dynamic response of each bridge was obtained by calculating the PSD of the temporal data using Welch's method. From this characteristic seismic signature, three physical parameters informing on the health of the structures were determined: the vibration frequencies, the damping and the modal shapes which reflect the deformations of the structure. The damping was calculated using the Random Decrement method and the modal shapes using the nonparameterized SSI-COV method. Our results showed that the amplitude of the vibration modes fluctuates with the intensity of anthropogenic activity before stabilizing at night. Therefore, it seems preferable to point the frequencies of structures at night when the amplitudes are not influenced by variations of the intensity of the seismic source which is the ambient noise. Also, areas of low amplitude have been identified along the bridges. These zones correspond to the position of the piles of the structures and testify to the soil-structure coupling existing between the deck and the underlying soil. By using the existing Internet network fiber, this study shows that it is possible to assess the spatial and temporal variability of the dynamic response of bridges. Thus, we have developed a tool to perform a spatio-temporal monitoring of the three physical parameters mentioned before in order to detect and/or follow the evolution of a potential damage. By following the evolution of these parameters with this tool, it is possible to detect structural damage and thus limit the risk of bridge collapse.

Contact: julie.rodet@ens-lyon.fr

Session A

PLANETOLOGY

11:00–12:00

A new mechanism for the formation of the Martian dichotomy
Valentin Bonnet Gibet

Solidification de l'océan de magma lunaire
Line Colin

Convection dans les glaces de haute-pression des mondes océans et implications pour l'habitabilité
Laëtitia Lebec

A new mechanism for the formation of the Martian dichotomy

Valentin Bonnet Gibet¹, Chloé Michaut

1. Laboratoire de Géologie de Lyon : Terre, Planète, Environnement

The Martian dichotomy is the most conspicuous feature of the surface of the planet. The difference in elevation between the Northern and Southern hemispheres of Mars likely originates from a difference in crustal thickness. Inversion of topography and gravity data constrained by seismic data from the InSight NASA mission suggests that the southern crust is on average thicker by 18 to 28 km than the northern one if one assumes a uniform crustal density of 2900 kg m⁻³ (Knapmeyer-Endrun et al., 2021 - Wieczorek et al, 2022).

Several explanations have been proposed for the origin of this crustal dichotomy, involving external processes, such as a large impact (Marinova et al., 2008), or internal ones, such as a degree-one mantle convection (Yoshida and Kageyama, 2006). Here we show that a positive feedback mechanism between crustal growth and partial melting in the mantle could have created this dichotomy. Indeed, because the crust is enriched in heat-producing elements (HPE), the lithosphere of a one-plate planet is thinner where the crust is thicker, inducing a lower pressure at the base of the lithosphere. Because of the pressure-dependence of the mantle solidus, partial melting is more important below a thinner lithosphere, causing a larger rate of melt extraction and crustal growth where the crust is thicker. Larger wavelength perturbations in crustal thickness and extraction, and thus hemispherical perturbations, grow faster because thermal diffusion dampens smaller wavelengths faster.

To model this effect, we use a parametric bi-hemispherical thermal evolution model where a well-mixed convective mantle is topped by two types of lithospheres (North and South) characterized by two potentially different thermal structures (Thiriet et al. 2018). The enrichment in HPE of the crust evolves during crust extraction as the enrichment of the newly formed crustal material depends on mantle melt fraction below the lithosphere, mantle enrichment and partition coefficient. In order to study the growth of a hemispherical perturbation, we impose a small initial difference in lithosphere or crust thickness in between the North and South. We then follow the thermal evolution, mantle melting, crustal growth and crustal enrichment in HPE in both hemispheres over 4.5 Gyr (Fig.1). Our model mainly depends on the mantle reference viscosity, that controls the cooling rate of the convective mantle, on and mantle permeability, that controls crustal extraction from the mantle.

Our results show that this positive feedback mechanism can indeed create a significant crustal dichotomy. The range of North-South crustal thickness differences

SESSION A: PLANETOLOGY

that we obtain by varying the different model parameters largely encompasses that predicted by inversion of topography and gravity data, assuming different crustal densities. In particular, two types of thermal history allow to reproduce the crustal thickness difference predicted by InSight. The first one is obtained for a rather low viscosity and high mantle permeability; it shows a rapid and early extraction of the crust (Fig1. Solid line) and results in a cold potential temperature at the present-day. The second one is for a higher viscosity and lower mantle permeability; it leads to a late and prolonged extraction of the crust (Fig1. dashed line) and results in a warmer mantle potential temperature and a thicker lid at the present-day. In both cases, the crust is extracted during the first Gyr. The enrichment in HPE of the crust predicted by our model is in agreement with GRS data.

Contact: valentin.bonnet_gibet@ens-lyon.fr

Solidification de l'océan de magma lunaire

Line Colin¹, Choé Michaut, Stéphane Labrosse

1. Laboratoire de Géologie de Lyon : Terre, Planète, Environnement

Le scénario classique de cristallisation de l'océan de magma lunaire prédit la formation d'une croûte de flottaison formée de cristaux d'anorthite légers, flottant en surface de cet océan de magma, les cristaux denses d'olivine et de pyroxène sédimentant sous la forme de cumulats à la base du manteau. Cependant, le temps de cristallisation total de l'océan de magma est encore débattu, allant de quelques millions d'années (Elkins-Tanton et al, 2011) à quelques centaines de millions d'années (Maurice et al, 2020). À partir d'un modèle 1D de cristallisation de l'océan de magma lunaire, nous proposons d'étudier l'influence de différents paramètres sur le temps de cristallisation. Pour cela, les minéraux formés sont assimilés à un système binaire Olivine-Anorthite, avec une température du liquidus qui décroît linéairement avec la composition en anorthite jusqu'à un eutectique. Les éléments producteurs de chaleur, incompatibles, se répartissent entre le manteau solide, l'océan de magma et la croûte selon un coefficient de partage D . De plus, des paramètres comme la conductivité thermique crustale ou la composition initiale en anorthite de l'océan de magma ou encore la composition à l'eutectique sont mal contraints, et nous étudions leurs influences sur le temps de cristallisation du système. À partir de ce modèle, nous obtenons des temps de cristallisation de l'ordre de 100 Ma. Ce temps semble suffisant pour permettre la mise en place d'une convection solide dans les cumulats à la base de l'océan de magma. La présence d'une convection solide dans les cumulats, de degré 1 en particulier, est une piste d'investigation pour expliquer la dichotomie d'épaisseur crustale entre la face cachée et la face visible de la Lune.

Contact: line.colin@ens-lyon.fr

Convection dans les glaces de haute-pression des mondes océans et implications pour l'habitabilité

Laëtitia Lebec¹, Stéphane Labrosse, Adrien morison, Paul J. Tackley

1. Laboratoire de Géologie de Lyon : Terre, Planète, Environnement

L'existence d'une couche de glace de haute-pression (HP) entre le noyau rocheux et l'océan dans les grandes lunes glacées et les planètes océans est en général considérée comme un obstacle à l'habitabilité car il n'existe pas de contact assurant un échange direct de nutriments entre le noyau et l'océan. Dans le but d'établir l'efficacité des transferts thermiques et massiques à travers cette couche de glace HP, nous avons tout d'abord étudié l'effet sur la dynamique d'un changement de phase à l'interface entre la couche de glace HP et l'océan, qui n'avait pas été considéré dans les précédentes études sur le sujet. Cette condition implique une vitesse radiale non nulle à la surface de la couche de glace HP, ce qui a un effet important sur la dynamique de l'écoulement, permettant notamment des échanges par fusion et cristallisation à l'interface supérieure, même sans fusion partielle à l'intérieur de la couche de glace. En considérant cette nouvelle condition à l'interface entre la couche de glace HP et l'océan, nous proposons une mise à l'échelle de la température à l'interface avec le noyau et de la vitesse radiale à l'interface avec l'océan en fonction du nombre de Rayleigh pour différentes valeurs du paramètre de changement de phase ϕ . La deuxième partie de cette étude vise à inclure des impuretés dans la couche de glace HP afin d'étudier l'efficacité du transfert des sels par convection dans le solide. Les sels peuvent pénétrer dans la couche de glace par diffusion, un processus très inefficace. Sinon, si la température atteint la température de fusion en bas de la couche de glace, l'eau liquide et le noyau interagissent et l'eau s'enrichit en sels. Ce mélange peut alors remonter à travers la glace et éventuellement recristalliser, puis être transporté par les panaches ascendants à l'état solide. La densité du mélange sels/glace est supérieure à celle de la glace pure à la même température et peut entraver la convection selon la valeur du rapport entre l'augmentation de la densité associée aux sels et sa diminution associée à la température, un rapport appelé nombre de flottabilité Bi . Afin de tester les effets du nombre de flottabilité et du type de sels, définit par son coefficient de partage entre l'eau liquide et la glace HP à l'interface avec l'océan, sur l'efficacité des transferts thermiques et massiques dans la couche de glace, et les implications pour l'évolution de la concentration en sels dans l'océan, nous avons introduit dans notre modèle un flux de sels à l'interface noyau/glace.

Contact: laetitia.lebec@ens-lyon.fr

Methane on Mars

Elettra Mariani¹, Pascal Allemand

1. Laboratoire de Géologie de Lyon : Terre, Planète, Environnement

From 1999 methane on Mars was detected through ground-based observations, then from 2004 by the instrument PFS (Planetary Fourier Spectrometer) on board of Mars Express (from 2004), from 2012 NASA MSL mission's Curiosity rover had also detected methane plume emissions in Gale crater during specific times of the Martian day (SOL) and by the ACS (Atmospheric Chemistry Suite) and NOMAD (Nadir and Occultation for MArS Discovery) on board of ESA-Roscosmos ExoMars Tracer Gas Orbiter from 2018. After the Global dust storm in 2018 the upper limit concentration of methane decreased drastically (10 to 100 time lower) and TGO stopped detecting it, as opposed to the Curiosity rover, which continues to this day to detect plumes of CH₄. The topic, as can be seen, stirs much debate in the scientific community, not only for its astrobiological implications but also regarding possible theories that reconcile current and past observations from the orbiters and the Curiosity rover. To try to bring some clarity, many questions have been raised that have not yet been answered such as, was methane produced in the past and then stored in reservoirs, or is there some mechanism that allows its formation in the subsurface of present-day Mars? If methane was produced in the past, through what mechanisms was it generated and what are the morphological and geo-mechanical characteristics of the reservoirs containing it? Is Gale Crater the only hot spot where methane is being released gradually at present? If there have been other spots similar to Gale crater in the past that featured surveys from 1999 to before the 2018 global storm, how can they be recognized? Are there particular mineralogical or morphological features (such as those in Vernal crater)? At what depth can methane be found in the subsurface of Mars to enable both past and current detections? The purpose of this research is to: (1) define possible current local emission zones, (2) evaluate the emission pattern associated with mud volcanoes). At global scale there will be a detection of the following features expected to be methane sources: (1) hectometric to kilometric conical mounds of volcanic origin (2) hectometric to kilometric sedimentary mounds (Pockmack) that could contain clathrates (such as Mt Sharp in Gale Crater) (3) chaotic terrains (4) fracture fields in sedimentary piles. After obtaining a comprehensive map of all these morphologies with attached mineralogical analyses, a similar work will be done on terrestrial analogues environments where methane is detected. At local scale

SESSION A: PLANETOLOGY

I will work in the Gale crater, in the areas where Methane was detected. I will build a virtual reality environment for these places using the images provided by Curiosity rover and by the HiRISE instrument to have a map of the sedimentary layers and fractures. This map will contain also data about porosity and permeability that can be estimated from very high-resolution images (10-3 m resolution) acquired locally by Curiosity. Finally, I will estimate the possible methane discharges that could occurred in such environment integrating the geo-mechanical parameters I measured in the Martian field in a percolation model adapted to the Martian environment. All this should lead to clearer learning of the mechanism that generated methane on Mars in the past and that which allows its release in the present day with an updated Global map of the morphological features mentioned above.

Contact: elettra.mariani@unich.it

Session B

GEOLOGY AND MINERALOGY

13:30–14:30

**L'évolution tectono-métamorphique de l'orogène d'accrétion du
Jilin-Heilongjiang dans le Nord-est de la Chine**

Arthur Aouizerat

Quantification de l'exhumation alpine, une approche Bayésienne

Antoine Mercier

Phosphorylation of prebiotic precursors on the early Earth

Anastasiia Shvetsova

L'évolution tectono-métamorphique de l'orogène d'accrétion du Jilin-Heilongjiang dans le Nord-est de la Chine

Arthur Aouizerat¹

1. Laboratoire de Géologie de Lyon : Terre, Planète, Environnement

L'orogène du Jilin-Heilongjiang est un complexe d'accrétion d'âge fin Paléozoïque-Mésozoïque qui est localisé dans le Nord-est de la Chine à la jonction des chaînes d'accrétion péripacifiques et de la Ceinture Orogénique d'Asie Centrale, un collage orogénique Précambrien à Crétacé. Ce complexe d'accrétion a enregistré des faciès métamorphiques variés allant des schistes bleus/schistes verts à celui de l'amphibolite durant la subduction progressive du bassin océanique Mudanjiang entre les terranes magmatiques du Songliao et de Jiamusi-Bureya. De nouvelles données géologiques (terrain, géologie structurale, métamorphisme, géochronologie) permettent de comprendre les processus de déformation durant la transition d'un système de subduction océanique à une collision continentale pendant l'exhumation dans le chenal de subduction.

Contact: arthur.aouizerat@ens-lyon.fr

Quantification de l'exhumation alpine, une approche Bayésienne

Antoine Mercier¹

1. Laboratoire de Géologie de Lyon : Terre, Planète, Environnement

Une chaîne de montagne, dans son évolution, est continuellement rééquilibrée par l'interaction entre des processus internes, agissants sur la lithosphère et faisant monter la chaîne, et des processus externes qui érodent la surface et l'abaissent.

La quantification de ces processus n'est possible qu'indirectement, en étudiant l'histoire de refroidissement des roches. En remontant, les roches refroidissent et les minéraux qu'elles contiennent et se « ferment » en piègent les éléments radiogéniques. Par méthode de thermo-chronologie il est possible de dater le moment de cette fermeture. Différentes méthodes de datations couplées à différents minéraux conduisent à dater différents moments du refroidissement et ainsi permettent de reconstituer une histoire thermique de la roche.

Dans cette étude, nous utilisons une approche par la modélisation numérique, couplée à des inversions Bayésiennes. La modélisation numérique est appliquée à un jeu de données d'une densité rare, au cœur du massif du Mont-Blanc et des Aiguilles Rouges dans les Alpes externes.

Après une première phase d'exploration des paramètres par méthodes inverses (Neighborhood Algorithm), nous ré-échantillons les résultats obtenus avec la méthode Bayésienne pour obtenir une densité de probabilité sur les paramètres du modèle et ainsi une estimation de l'incertitude sur chaque paramètre.

Les résultats des inversions que le massif a commencé à s'exhumer à partir de 18 Ma, avec une accélération majeure du refroidissement des roches vers 7.5 Ma, accentuée par une forte amplification du relief. Cette amplification du relief est également visible en utilisant une méthode de paléo-altimétrie sur inclusions fluides. Cependant l'incertitude sur les paramètres est importante avant 15 Ma, ne permettant pas de contraindre l'histoire thermique de manière détaillée.

Ces résultats mettent en avant l'importance de la modélisation thermocinématique couplée à des méthodes d'inversion pour comprendre les données de thermo-chronologie appliquée à l'histoire thermique des chaînes de montagnes.

Contact: antoine.mercier@gmx.com

Phosphorylation of prebiotic precursors on the early Earth

Anastasiia Shvetsova¹, Michele Fiore, Isabelle Daniel, Peter Strazewski

1. Laboratoire de Géologie de Lyon : Terre, Planète, Environnement

Phosphorus is an essential component of life. Two of the three most essential constituents of life, such as DNA and RNA (responsible for coding, regulating, transmitting, etc. genes in the cell) [1], and phospholipids (constituents of the cell membrane) [2], contain phosphate groups. Simple precursors of these biomolecules could have been phosphorylated under prebiotic reaction conditions before the advent of enzymatic catalysis. However, the complexity of the involvement of natural phosphorus-containing minerals in the phosphorylation reactions of prebiotic molecules makes it an important milestone in the question of the origin of the first primitive life [3]. In this work, we present a scenario, a possible mechanism, and potential agents that could be involved in the phosphorylation of prebiotic precursors in the early Earth. We investigated the phosphorylation of two different groups of starting alcohols (such as glycerol derivatives and the nucleosides), the efficacy of different phosphorus sources (orthophosphate with different protonation states, thiophosphate, and cyclic trimetaphosphate) [4-5], and the influence of potentially prebiotic condensing agents (urea, cyanamide and carboxamides) [6-7] on the reaction process. The experiments were carried out under arid prebiotic conditions assumed to cycle around the boiling point of water (75 or 115 °C and atmospheric pressure for 24-120 hours) and analyzed afterwards by NMR (nuclear magnetic resonance spectroscopy), MS (mass spectrometry), and HPLC methods (high-performance liquid chromatography). As a conclusion of the work, the main groups of products were identified and quantified, and the most effective and prebiotic precursor phosphorylation pathways on the early Earth were assessed.

Contact: anastasiia.shvetsova@univ-lyon1.fr

Session C

ASTROPHYSICS

14:30–15:30

**Calibration and performances of the integrated Mach-Zehnder
(iMZ) wavefront sensor for extreme adaptive optics**

Camille Graf

Effect of correlations in the structures of the Universe

Pascal Wang

**Formation des premières étoiles de l'univers : étude de
l'effondrement des nuages primordiaux**

Romain Lenoble

Calibration and performances of the integrated Mach-Zehnder (iMZ) wavefront sensor for extreme adaptive optics

Camille Graf¹

1. Centre de Recherche Astrophysique de Lyon

We describe our latest results obtained with the integrated Mach-Zehnder (iMZ), a wavefront sensor based on Fourier filtering of an interferometric arm. This kind of sensor meets extreme adaptive optics requirements, high speed (1 kHz) and high accuracy (Our contribution will present recent results on the calibration method we have developed and validated experimentally to extract the phase from the iMZ signal, using several phase patterns introduced by a deformable mirror. We present the phase modulation method and the unwrapping algorithm developed to increase the dynamical range of the sensor up to several microns, limited at $\pm \lambda/4$ without these new strategies. Numerical simulations of the iMZ performances for various turbulence phases will be presented to address the sensor accuracy in realistic conditions, with photon and read-out noise included. We will also report on our latest laboratory results of static phase correction using a 12x12 deformable mirror.

Contact: camille.graf@univ-lyon1.fr

Effect of correlations in the structures of the Universe

Pascal Wang¹

1. Centre de Recherche Astrophysique de Lyon

The current LambdaCDM paradigm of cosmology has been successful in explaining a wide range of cosmological observations, among which are the anisotropies of the Cosmic Microwave Background and the dimming of type Ia supernovae. It invokes dark energy in the form of a cosmological constant Lambda, and dark matter, which represent the majority of the energy content of the Universe and whose physical origins are at present unknown. The LambdaCDM model also relies on the assumption of a homogeneous and isotropic background expansion of the Universe. However, the Universe exhibits substructures, for example in the form of filaments, galaxy clusters, voids, etc., which can be described as inhomogeneities or correlations. Similarly, in a galaxy, substructures exist in the form of spiral arms and condensations. The thesis aims to employ formalisms inspired by statistical mechanics to study analytically and numerically the effect of such substructures on the dynamics at the cosmological and at the galactic scales and determine whether or not they can have effects reproducing those of dark matter and/or dark energy.

Contact: pascal.wang@ens-lyon.fr

Formation des premières étoiles de l'univers : étude de l'effondrement des nuages primordiaux

Romain Lenoble¹, Benoit Commercon, Rosdahl Joakim

1. Centre de Recherche Astrophysique de Lyon

Les premières étoiles sont apparues une centaine de millions d'années après le Big-Bang, mettant fin à l'âge sombre de l'univers. Encore jamais directement observées, même par les télescopes les plus puissants, ces mystérieux dinosaures cosmiques renferment de nombreuses questions. Ces étoiles sont nées lors de l'effondrement des premiers amas de gaz qui se sont contractés sous leur propre poids jusqu'à leur donner naissance. L'univers était alors composé uniquement d'hydrogène et d'hélium et dépourvu de tous "métaux". Ce terme désigne en astrophysique les éléments plus lourd que l'hélium. Ils sont synthétisés par différents mécanismes stellaires et donc inexistant avant la formation des premières étoiles. Leur présence influe énormément la formation des étoiles actuelles. Cette absence nécessite de prendre en compte les effets liés à la chimie primordiale et a amené les premières recherches à conclure que ces étoiles devaient être extrêmement massives (plusieurs centaines de fois la masse du soleil, [1]), cependant des études récentes remettent en cause ces résultats [2]. Or, la masse est la propriété principale d'une étoile, elle détermine notamment sa durée et sa fin de vie. La distribution de masse des premières étoiles a des implications majeures pour les modèles actuels d'évolution de l'univers. Ma thèse porte sur la formation de ces étoiles à l'aide de simulations numériques. Je modélise l'univers quelques centaines de milliers d'années après le Big Bang jusqu'à la naissance d'un de ces astres primordiaux pour en étudier les propriétés, notamment leur masse. Pour cela, j'utilise le code Ramses [1] pour résoudre la dynamique du gas et de la matière noire dans lequel j'ai inséré le code Krome [2] pour résoudre la chimie primordiale. Mes premières recherches se focalisent sur la modélisation d'un grand grand volume de l'univers pour avoir un échantillon représentatif des conditions dans lesquelles sont nées ces étoiles.

Références : [1] Abel et al. 2002 ; [2] Sharda et al, 2014 ; [3] Grassi et al. 2014 ; [4] Teyssier 2002

Contact: romain.lenoble@ens-lyon.fr

Session D

PALEONTOLOGY

16:00–17:20

**Changements paléoclimatiques et paléoenvironnementaux
holocènes en Afrique de l'Ouest à partir de l'étude de
biomarqueurs lipidiques d'une tourbière camerounaise**

Valentine Schaaff

**Arthropleura : nouveautés biologiques et écologiques à la lumière
des juvéniles de Montceau-les-Mines (305 Ma)**

Mickaël Lheritier

**Paléoenvironnements des mers arctiques au
Pliensbachien-Toarcien (185-180 Ma)**

Thomas Letulle

**Les solutes (Echinodermata) des Lagerstätten des Fezouata
(Ordovicien inférieur, Maroc) : diversité, préservation
exceptionnelle, et paléoécologie**

Christophe Dupichaud

Changements paléoclimatiques et paléoenvironnementaux holocènes en Afrique de l'Ouest à partir de l'étude de biomarqueurs lipidiques d'une tourbière camerounaise

Valentine Schaaff¹, Vincent Grossi, Matthew Makou, Salomé Ansanay-Alex, Ingrid Antheaume, Pierre Deschamps, Bruno Hamelin, Yannick Garcin, David Sebag, Benjamin NGounou NGatcha, Guillemette Ménot

1. Laboratoire de Géologie de Lyon : Terre, Planète, Environnement

Depuis le début de l'Holocène, le climat africain a connu de larges changements paleoclimatiques et paleoenvironnementaux. Partant d'un climat globalement humide au début de l'Holocène aussi connu sous le terme de période humide africaine (African Humid Period, AHP), le climat est devenu globalement plus sec depuis la fin de cette période vers 6 à 4 ka. Ce climat récent plus sec n'est pas favorable au dépôt et à la préservation des sédiments menant à des enregistrements rares et souvent discontinus compliquant les interprétations paléoclimatiques et paléoenvironnementales basées sur ces archives. Cette étude porte sur une carotte de tourbe continue et homogène provenant de la tourbière de NGaoundaba (Nord-Est du Cameroun) et couvrant les derniers 10 000 ans via l'utilisation d'un large panel de biomarqueurs lipidiques avec des origines biologiques variées : tétraéthers de glycerol isoprénoides et ramifié microbiens (isoGDGTs et brGDGT respectivement), n-alcanes et produits de dégradation de plantes, hopanoïdes bactériens, ... En utilisant des variations dans l'abondance, la concentration, la composition isotopique ou des calibrations empiriques récentes développées pour la tourbe, nous reconstruisons des changements de végétation, précipitations, température ou cycle du méthane pour mieux comprendre le timing et les spécificités de la période humide africaine à la fois localement et régionalement en comparant à d'autres enregistrements disponibles.

Un assemblage varié de biomarqueurs lipidiques a été détecté dont des n-alcanes du C19 au C37, des hopanes et hopènes du C27 au C31, des GDGTs (iso- et brGDGTs). De 10 à 6 ka, les températures basées sur les GDGTs et le $\delta DC31$ n-alc indiquent une période plus chaude et humide que la période actuelle coïncidant avec la période humide africaine. De 8,9 à 7,9 ka, les valeurs appauvries en $\delta DC23$ n-alc et l'abondance de biomarqueurs généralement associés à des lacs d'eau douce et à la matière organique microbienne suggèrent une période de développement de la tourbière avec une production in-situ accrue. L'abondance des n-alcanes et le $\delta^{13}Cn$ -alc indiquent une plus grande proportion de plante de type C3 entre 8 et 6ka durant la période humide africaine comparativement à la fin de l'Holocène où le $\delta^{13}Cn$ -alc indique une prédominance des plantes en C4.

Contact: valentine.schaaff@ens-lyon.fr

Arthropleura : nouveautés biologiques et écologiques à la lumière des juvéniles de Montceau-les-Mines (305 Ma)

Mickaël Lheritier¹, Adrien Buisson, Alexis Gerbe, Jean Vannier, Gilles Escarguel, Gregory Edgecombe, Russell Garwood, Vincent Perrier

1. Laboratoire de Géologie de Lyon : Terre, Planète, Environnement

Le lagerstätte de Montceau-les-Mines est un gisement à préservation exceptionnelle situé dans le Nord-Est du Massif Central, en France. Daté du Carbonifère supérieur (Kasimovien, environ 305 Ma), il était proche de l'équateur et représenté par des paléoenvironnements humides et marécageux dominés par une flore tropicale diverse et abondante. La caractéristique principale de Montceau-les-Mines est la préservation de sa flore et de sa faune sous la forme de nodules sidéritiques. Les fossiles du gisement sont contenus dans des nodules sidéritiques favorisant ainsi leur préservation en trois dimensions. La faune, dominée par les arthropodes (ex : crustacés, arachnides,...) et renferme également de nombreux mollusques, annélides et quelques vertébrés (ex : poissons, tétrapodes).

Les arthropleurides sont un groupe de myriapodes éteint ayant vécu pendant le Carbonifère et au début du Permien. La caractéristique la plus notable de ces myriapodes est leur taille gigantesque comparé aux mille-pattes actuels (allant jusqu'à 3 mètres de long et 50 cm de large pour les plus gros). Le manque de spécimens complets a empêché pendant longtemps d'avoir une idée précise de la biologie et de l'écologie de ces géants. Notre étude porte sur les arthropleurides (possiblement juvéniles) retrouvés à Montceau-les-Mines. Nous avons réétudié ces spécimens grâce à la microtomographie aux rayons X (MicroCT) et reconstitué ainsi en trois dimensions la morphologie du corps et des appendices de plusieurs spécimens mais aussi certains organes (ex : tube digestif) et d'autres structures anatomiques non décrites auparavant (ex : mandibules,). Ces données morphologiques nouvelles nous ont permis de rediscuter de la paléoécologie notamment de leurs régime alimentaire.

Contact: mickael.lheritier@univ-lyon1.fr

Paléoenvironnements des mers arctiques au Pliensbachien-Toarcien (185-180 Ma)

Thomas Letulle¹, Guillaume Suan, Mikhail Rogov, Oleg Lutikov, Alexei Ippolitov, Mathieu Daëron, Arnauld Vinçon-Laugier, Christophe Lecuyer

1. Laboratoire de Géologie de Lyon : Terre, Planète, Environnement

La transition Pliensbachien-Toarcien (Jurassique Inférieur) est une période marquée par d'importants changements climatiques et une extinction biologique de second ordre. C'est à cette période qu'a eu lieu l'évènement hyperthermique du Toarcien inférieur, lors duquel une augmentation des gaz à effets de serres a provoqué une hausse globale des températures accompagné d'un climat plus humide. Ces changements ont accru l'altération continentale, apportant ainsi plus de nutriments dans les mers et favorisant le développement de larges domaines anoxiques. Bien qu'il soit communément admis qu'un intense volcanisme dans l'hémisphère-sud ait déclenché la hausse initiale des gaz à effet de serres, certains auteurs proposent que la fonte d'une cryosphère (permafrost) l'ait amplifié. Il existe en effet différents indices sédimentologiques en faveur de basses températures polaires, voire de calottes polaires au Pliensbachien supérieur. Ces indices sont cependant indirects ou très débattus, et les conditions climatiques aux hautes latitudes sont encore très peu contraintes pour cette période. Ici, nous étudions des fossiles de bivalves marins provenant du nord de la Sibérie, dans une région située au pôle Nord au Jurassique Inférieur. Plusieurs marqueurs géochimiques ont été mesurés sur ces fossiles afin de reconstituer les conditions paléoenvironnementales dans lesquels ils ont vécu. Les isotopes stables du carbone ($\delta^{13}\text{C}$) comme traceur du cycle du carbone, les clumped isotopes ($\Delta 47$) comme paléothermomètre, et les isotopes stables de l'oxygène ($\delta^{18}\text{O}$) qui combinés au $\Delta 47$ permettent d'évaluer le bilan hydrologique local. Les données de $\delta^{13}\text{C}$ permettent de reconnaître les perturbations du cycle du carbone de l'intervalle d'étude et d'ancrer le cadre temporel des dépôts. Le $\Delta 47$ enregistre des températures proches du point de gel dans le Pliensbachien supérieur ($\sim 2^\circ\text{C}$), puis une forte augmentation des températures dans le Pliensbachien sommital ($\sim 14^\circ\text{C}$), qui restent élevées dans le Toarcien inférieur ($\sim 15^\circ\text{C}$), pendant et après l'évènement hyperthermique. Avec de telles températures, les valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ indiquent que les apports d'eau douces dans les mers Arctiques étaient assez importants pour diminuer significativement le $\delta^{18}\text{O}$ de l'eau de mer, tout en maintenant des conditions marines. Ces nouvelles données indiquent que le Pliensbachien supérieur est un intervalle pendant lequel l'hypothèse de la mise en place d'une calotte de glace aux hautes latitude nord ne peut pas être écartée au vu des basses températures enregistrées. Le registre sédimentaire reste cependant incomplet ne permettant pas de tester cette hypothèse sur l'intervalle de temps précédent l'évènement hyperthermique du Toarcien.

Contact: thomas.letulle@univ-lyon1.fr

Les solutes (Echinodermata) des Lagerstätten des Fezouata (Ordovicien inférieur, Maroc) : diversité, préservation exceptionnelle, et paléoécologie

Christophe Dupichaud¹, Bertrand Lefebvre

1. Laboratoire de Géologie de Lyon : Terre, Planète, Environnement

Les Lagerstätten des Fezouata (Maroc) offrent une fenêtre d'étude exceptionnelle sur les faunes marines de l'Ordovicien inférieur. Ces gisements marocains ont livrés des restes très abondants et diversifiés d'échinodermes, dont certains représentants de la classe Soluta (Cambrien moyen – Dévonien moyen). Les solutes des Fezouata montrent une grande disparité morphologique, notamment au niveau de leur tige (homoiostèle) et plus particulièrement, de la région distale de celle-ci (dististèle). Plusieurs morphotypes de solutes ont été identifiés au sein de la Formation des Fezouata et leurs principales caractéristiques anatomiques ont été comparées à celles d'autres taxons du Cambrien moyen (Castericystis) et de l'Ordovicien inférieur (Minervaecystis). La grande majorité des échantillons marocains ont été attribués à *Plasiacystis mobilis*, décrit initialement dans l'Ordovicien moyen de la République tchèque. Toutefois, le nombre élevé d'échantillons récoltés dans les Fezouata et leur qualité de préservation ont permis de préciser plusieurs aspects peu ou pas connus de la morphologie de ce taxon. Le matériel des Fezouata étend également considérablement la distribution paléobiogéographique et l'extension stratigraphique de *P. mobilis*. Des dististèles isolées de grande taille, retrouvées dans des niveaux de tempestites de la Formation des Fezouata ont été provisoirement attribuées à *P. mobilis*, malgré quelques différences morphologiques. D'autres échantillons de solutes de la Formation des Fezouata appartiennent par contre manifestement à un genre nouveau, dont la morphologie de l'homoiostèle est remarquablement intermédiaire entre celle de *Minervaecystis* et de *Plasiacystis*. Cette conclusion a été renforcée par la réévaluation de la morphologie de *M. vidali* (Formation de Saint-Chinian, Montagne Noire), dont une reconstitution est proposée pour la première fois. Enfin, un échantillon de la Formation des Fezouata appartient probablement à un troisième type morphologique, apparemment assez proche du genre cambrien *Castericystis*. Cet échantillon est tout à fait remarquable, car la région distale de son tube digestif (cloaque?) a été préservée.

Contact: c.dupichaud@gmail.com

GAMES AND VOTES

ALL YOU NEED FOR THIS DAY

~ Votes ~

You can vote to award the prize of the public for the best presentation.

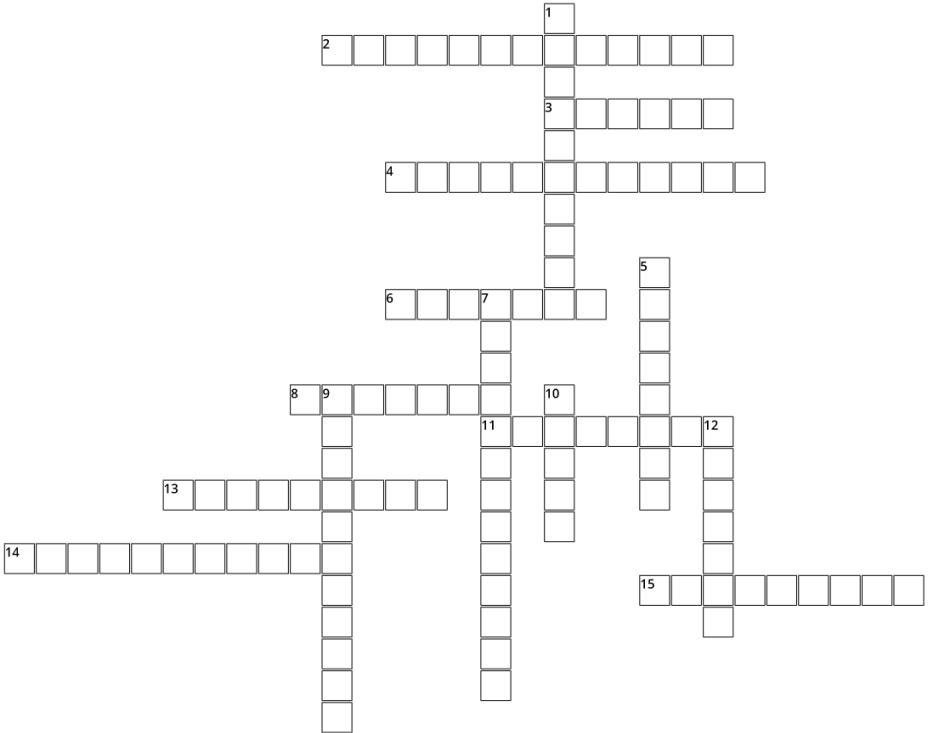


Planetology and Geology & Mineralogy : www.wooclap.com/ICOFKE



Astrophysics & Paleontology : www.wooclap.com/AFDDGA

❧ Mots Croisés (faciles) ❧



Horizontal

2. Elles formaient les cimes des forêts au Carbonifère
3. Une fameuse sismologue qui en a pris de la graine
4. Un fumeur à la tête souvent dans les nuages
6. Homme à la base de la théorie des ondes
8. La grande soeur de Bételgeuse
11. Système d'exoplanète connu
13. A l'origine de toutes les roches sédimentaires
14. Le minéral le plus abondant du manteau
15. Une météorite qui a eu un sacré impact sur le vivant

Vertical

1. Processus de formation de Li, Be et B
5. Roche typique des croûtes océaniques subduites
7. Equilibre entre la force de Coriolis et le gradient de pression
9. Notre lointain cousin disparu
10. Satellite d'altimétrie océanique
12. Vaste zone de soulèvement volcanique martien

~ Mots Mêlés ~

B A P C X Ç A X M L W S Y X U U A T N Q O N V N N V B G M Z
 N B Q E Ç C M V U R F S U S E N T M A T L A V W D P E J U R
 N X P L X Y W M O H O H L W T Q D D I S V Y O N E T S G H Z
 B M E I U S A Z Ç N F N L H Q R R V L E S L Z X I S A S A G
 K Y X B P N M E Z B R W T X Q M E Y K M A L D R Ç I V I K G
 U V R U L R Y B Y E E E V R F Ç O X V C N F O K J V P S S B
 W L B T W Y A X Y H B G P O M O J H R F D I E T B C S M K D
 K J B T L V Z O Y B Ç D A U R G M D X K D Z A K U N P I Q O
 Q Z N L A C M Q M U J Ç K S S N I L Q O Z H E N X T O Q P D
 K N Q V H E O O Z K P L E I A D E S N K F H I F T X L U G B
 U B W U L Z I U L B E L B B U H U A I V P L O N S P W E U K
 R Q Ç T L N P Q F K Q O P D X Q R X V M L Y C V F D V G P P
 I N C F F S C D M U D A R Z S G Z W I A P L Y U Y F U P F E
 A B V I P M D A R S V Q G H F E N W T G E Y V X M N M K C Q
 F F X Y E Q N F W T W O R W M R S S Ç R D D Ç Y B U W H O T
 M B J Z O U Y N C C I Q X P Y B I L L C O W J C Z S E R D X
 Z H C V R B M W A P S D V G L R U F A V G P W E X V D H K K
 B L P J Q O J R Y P I D T S C K A S L P E C Z X A J H I G I
 K H Ç R H M O Y N S M W Y Y T I A L R O N C R U X P Y B C B
 W F G I O N I B R R E L W V Q G M O I K E Q C V K Q I X V E
 G J Y B Ç G H O Ç Q T A J Q I H T G H Z S H Z N Q E H M P T
 S H B Y U W R N Y U R L Ç T Z O K R Q V E Q N J W B A A L T
 B A N L G V S A Z A A E T T P M D E I M O T O H C I D D E B
 I M A H U F A W D S Ç A F L W S F X E B P L F C U Z V O L Y
 N V L J Y F D X M A I K A Q V R J N X Z Y D T P K D C N G D
 B S J M S H S D N R T N W E R J T V U U G H T D W B A B O R
 I Q O G T F X V E A E I N V B H H B U W U J Q J U U D P A Z
 H N W I O R L T Z T U I O Q S T R A N S I T I T N T J G S W
 T J I Y U O P J E B U E W N J T Y S E D K Q I E P O T O S I
 S G H Ç Y U O M P M I Ç C K Y E N L P G U B G F A O M P Q D

ARTEMIS
 HUBBLE
 PLEIADES
 PROTOPLANETE
 VEGA
 MOHO
 SISMIQUE
 CRISTALLIN
 PROGRADATION
 QUASAR
 SAGITTAIRE
 CHEVAUCHEMENT
 GRANODIORITE
 ISOTOPE
 DICHOTOMIE
 TRANSIT
 SUPERNOVA
 EKMAN
 ALIZE
 PEDOGENESE

Aknowledgments



Laboratoire de Géologie de Lyon
Terre Planètes Environnement



CENTRE DE RECHERCHE ASTROPHYSIQUE DE LYON

