

Physique des plasmas et Structure Interne des Planètes

F. Guyot^{1,2}, G. Morard¹, G. Fiquet¹, M. Koenig³, N. Amadou³, A. Benuzzi-Mounaix³, E. Brambrink³, T. Vinci³, S. Mazevet^{4,5}, T. de Rességuier⁶.

¹ *IMPMC. Université Pierre et Marie-Curie. Sorbonne Universités. CNRS. Paris*

² *IPGP. Université Denis Diderot. Sorbonne Paris Cité. CNRS. Paris*

³ *LULI. Ecole Polytechnique. CNRS. Palaiseau*

⁴ *LUTH. Observatoire de Paris. PSL. Meudon*

⁵ *CEA-DAM Bruyères le Châtel*

⁶ *Institut P'. ENSMA. Université de Poitiers. CNRS. Poitiers*

mél : guyot@impmc.upmc.fr

Une des motivations de la planétologie et de l'exploration planétaire est de comprendre si dans l'Univers existent, et avec quelle fréquence, des planètes comparables à la Terre. Dans le système solaire, Mercure, Vénus et Mars servent de points de comparaison ; leurs densités et moments d'inertie, ainsi que des considérations générales de cosmochimie, montrent que leur structure interne est proche de celle de la Terre, avec un noyau métallique à base de fer entouré d'un manteau dominé par des silicates de magnésium de formules globales simplifiées $MgSiO_3$ et Mg_2SiO_4 . Un enjeu est de comprendre comment des structures internes similaires ont pu conduire à des situations de surface contrastées. En ce sens, la découverte de planètes de type terrestre extra-solaires, est une révolution scientifique car elle va changer significativement le nombre d'objets permettant d'établir des comparaisons. Une dizaine de « super-Terres » ont d'ores et déjà été identifiées, pour lesquelles se pose la question des structures internes : le schéma terrestre avec un noyau métallique entouré d'un manteau rocheux, est-il général ? D'autres structures de base sont-elles envisageables et observables ? On se focalise sur des objets plus gros que la Terre, plus facilement détectables, donc identifiés en plus grand nombre et ce d'autant plus qu'ils sont massifs. On s'intéresse aussi aux cœurs silicatés et éventuellement métalliques de planètes riches en éléments volatils, de type Jupiter ou Neptune. Dans ces deux cas, les pressions au cœur sont bien plus élevées que sur Terre ce qui rend difficile la simulation des structures internes.

C'est à ce point qu'intervient la physique des plasmas et ce à plusieurs titres. Dans un premier temps, on montrera que les interactions entre plasmas et substrats solides jouent un rôle de premier ordre dans l'établissement de la chimie planétaire. Les nébuleuses proto-stellaires sont le siège de jets de plasmas en provenance de la jeune étoile qui entrent en interaction avec les phases solides finement divisées du disque lesquelles, in fine, constitueront les planètes telluriques et les cœurs rocheux des planètes riches en éléments volatils. La compréhension de ces interactions est à la base de la connaissance de la composition globale des météorites, de la Terre et des planètes telluriques. On montrera en particulier que les interactions entre plasmas associés aux vents stellaires et phases solides conduisent de manière combinée et encore mal comprise à la production d'isotopes radioactifs à périodes relativement courtes et à des fractionnements élémentaires de grande ampleur à l'échelle des nébuleuses stellaires, en particulier entre les quatre éléments majeurs constitutifs des planètes telluriques et cœurs de planètes géantes: le magnésium, le silicium, l'oxygène et le fer.

Ensuite, on expliquera que la formation d'un plasma par l'action d'un laser intense sur une cible matérielle est potentiellement la meilleure méthode expérimentale permettant de recréer en laboratoire les pressions très élevées nécessaires à la modélisation des structures internes de ces objets planétaires. Cette méthode permet d'atteindre les pressions de plusieurs mégabars nécessaires à cette modélisation par génération d'une onde de choc dans laquelle il est toutefois impossible de faire varier indépendamment pression et température. La recherche actuelle se focalise sur des modulations de l'impulsion laser et donc du plasma produit en face avant de la cible afin de découpler pression et température et d'atteindre ainsi des conditions planétaires pertinentes. L'objectif est d'explorer un régime de la matière encore mal connu, à des pressions de plusieurs terapascal ($1 \text{ TPa} = 10^{12} \text{ Pa}$) et, simultanément, à des températures de seulement quelques milliers de K, inférieures à 15000 K. Une des difficultés est de caractériser correctement les équations d'états et la fusion (melting) des métaux et des silicates dans ces conditions extrêmes. Des images par faisceau de rayons X transverses du plasma émis à l'arrière de la cible et des investigations de la cible comprimée sont possibles. Quelques résultats dont les premières données obtenues dans le cadre d'une expérience coordonnée par Michel Koenig sur la ligne d'intégration laser (LIL) du CESTA seront évoqués.

Remerciements. Une partie des recherches effectuées dans ce cadre a été soutenue par l'agence nationale de la recherche (programme blanc SECHÉL). Tous les participants au projet SECHÉL sont chaleureusement remerciés.