

THESE DE DOCTORAT

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 596

Matière, Molécules, Matériaux et Géosciences

Spécialités : Sciences de la Terre et des planètes
Chimie Physique, Chimie Théorique

Par

Pauline Lévêque

**Évolution de la matière organique primordiale dans les satellites
de glace et planètes naines : approche expérimentale**

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 27 Septembre 2024

Unité de recherche : Chimie Et Interdisciplinarité, Synthèse, Analyse, Modélisation - UMR 6230
Laboratoire de Planétologie et Géosciences - UMR 6112

Rapporteurs avant soutenance :

Maguy Jaber

Professeure des Universités, Sorbonne Université

Cécile Engrand

Directeur de Recherche, Sorbonne Université

Composition du Jury :

Président :

Examineurs : Vassilissa Vinogradoff
Thomas Gautier

Chargée de Recherche, Université Aix-Marseille
Chargé de Recherche, Sorbonne Université

Dir. de thèse : Bruno Bujoli

Co-dir. de thèse : Christophe Sotin

Co-enc. de thèse : Olivier Bollengier

Directeur de Recherche, Nantes Université

Professeur des Universités, Nantes Université

Maître de Conférences, Nantes Université

Invité(s)

Erwan Le Menn

Ingénieur de Recherche, Nantes Université

Titre : Evolution de la matière organique primordiale dans les satellites de glace et planètes naines: approche expérimentale

Mots clés : matière organique primordiale, lunes de glace, spectrométrie de masse

Résumé : De récentes études suggèrent que les intérieurs des lunes de glace et planètes naines sont composés de silicates, de sulfures, de glaces et de matière organique (MO). Lors de la différenciation de l'hydrosphère de ces corps glacés, la matière organique primordiale fut altérée au contact de l'eau liquide. Déterminer et caractériser les produits de réaction de cette MO est nécessaire pour comprendre son influence sur l'évolution thermochimique des corps glacés. Des expériences ont été menées de sorte à reproduire ces conditions d'altération ($P < 5$ GPa, $T < 400^\circ\text{C}$), sur des échantillons analogues synthétisés au laboratoire CRPG. Le rapport N/C de ces échantillons varie ($N/C < 0.63$) pour refléter la diversité de la MO primordiale. Les mesures par spectrométrie de masse haute résolution FT-ICR montrent que ces échantillons sont de bons analogues de la MO des corps les plus primitifs du système solaire. Leur altération aqueuse montre leur évolution vers des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs) très condensés. Les produits volatils issus de cette dégradation ont été identifiés par chromatographie en phase gazeuse, spectroscopie Raman et diffraction des rayons X. Dès 200°C , CO_2 et N_2 sont libérés, puis CH_4 apparaît en plus à 400°C . L'abondance de CO_2 permet la précipitation de carbonates dès 200°C . Plus dense que l'océan, les HAPs et carbonates devraient se mélanger aux silicates et aux sulfures pour former un noyau réfractaire qui évolue à mesure que la température augmente. Ces expériences fournissent des explications potentielles à la présence de N_2 et de CH_4 dans l'atmosphère de Titan et à la présence de régions riches en carbone observées à la surface de Cérés, d'Europe et de Ganymède.

Title : Evolution of primordial organic matter in ice satellites and dwarf planets: an experimental approach

Keywords : primordial organic matter, icy bodies and ocean worlds, FT-ICR MS

Abstract: Recent studies suggest that the interiors of ice moons and dwarf planets are composed of silicates, sulfides, ices and organic matter (OM). During the differentiation of the hydrosphere of these icy bodies, primordial organic matter was altered by contact with liquid water. Determining and characterizing the reaction products of this OM is necessary to understand its influence on the thermochemical evolution of icy bodies. Experiments were carried out to reproduce these alteration conditions ($P < 5$ GPa, $T < 400^\circ\text{C}$), on analogous samples synthesized at the CRPG laboratory. The N/C ratio of these samples varied ($N/C < 0.63$) to reflect the diversity of the primordial OM. High-resolution FT-ICR mass spectrometry measurements show that these samples are good analogues of the OM of the solar system's most primitive bodies. Their aqueous alteration shows their evolution towards highly condensed polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). The volatile products of this degradation were identified by gas chromatography, Raman spectroscopy and X-ray diffraction. From 200°C , CO_2 and N_2 are released, then CH_4 appears in addition at 400°C . The abundance of CO_2 allows carbonates to precipitate as early as 200°C . Denser than the ocean, PAHs and carbonates should mix with silicates and sulfides to form a refractory core that evolves as temperature rises. These experiments provide potential explanations for the presence of N_2 and CH_4 in Titan's atmosphere, and for the carbon-rich regions observed on the surfaces of Ceres, Europa and Ganymede.