

PROPOSITION D'UN PROJET DE THÈSE A L'ÉCOLE DOCTORALE « Écologie, Géosciences, Agronomie, ALimentation »

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Titre de la thèse : Approche expérimentale du rôle et devenir de la matière organique primordiale dans les satellites de glace des planètes géantes
Acronyme : EMOI
Champ disciplinaire 1 : Géosciences Champ disciplinaire 2 : Choisissez un élément.Choisissez un élément.Choisissez un élément.
Trois mots-clés : Planétologie, Organiques, Expérimentation
Unité d'accueil : Laboratoire de Planétologie et Géodynamique
Nom, prénom du directeur de thèse (HDR indispensable): Sotin, Christophe Adresse mail : Christophe.Sotin@univ-nantes.fr Nom, prénom du co-directeur (le cas échéant) (HDR indispensable): Bujoli, Bruno Adresse mail : Bruno.Bujoli@univ-nantes.fr Nom, prénom du co-encadrant de thèse 1 (le cas échéant) : Adresse mail :
Financement (origine et montant) : CNRS, (allocation de thèse pour 3 ans à 2135€ par mois (76860 € pour les 3 ans) et crédits d'accompagnement de 20 k€ pour la première année avec une demande identique à faire pour la seconde année)
Contact(s) (adresse postale) : Christophe Sotin, Laboratoire de Planétologie et Géodynamique, Bâtiment 4, Faculté des Sciences, 2 rue de la Houssinière, 44072 Nantes Cedex 03
Mode de recrutement Le mode de recrutement du doctorant dépend de la nature du financement du projet de thèse. Pour identifier le mode de recrutement, veuillez consulter le site web de l'ED EGAAL - cliquez ici . Le projet de thèse ne sera pas publié si cette information est manquante. <input type="checkbox"/> Concours <input checked="" type="checkbox"/> Entretien <input type="checkbox"/> Autre (précisez) :

Toutes les rubriques de ce document doivent être remplies.
Une fois complété, merci d'enregistrer ce document au format pdf avec le nom suivant :
Nom du Directeur thèse_Unité_Acronyme du sujet_FR.pdf

DESCRIPTION SCIENTIFIQUE DU PROJET DE THÈSE

Contexte socio-économique et scientifique : (10 lignes)

Ce projet d'interface Chimie/Planétologie fait suite à la détection de quantités importantes de matière organique insoluble (MOI) dans les lunes glacées de Jupiter et de Saturne, et dans plusieurs comètes. Ces corps sont composés de silicates, de glaces, et de MOI. Or il y a un manque de données expérimentales sur les réactions entre MOI, silicates et eau dans les conditions (P,T) de ces lunes glacées. Le sujet de thèse est de « mimer » les réactions entre matière organique insoluble « modèle » [systèmes polyaromatiques azotés de haut poids moléculaire identifiés dans des comètes et des météorites] et silicates, grâce aux réacteurs « haute pression et température moyenne ». Ce projet s'inscrit dans le contexte des missions spatiales auxquelles participe le laboratoire de Planétologie et Géodynamique (LPG): mission ESA JUICE dans l'environnement de Jupiter (lancement en 2022) et la mission NASA Europa Clipper (lancement en 2024).

Hypothèses et questions scientifiques (8 lignes)

L'étude repose sur l'hypothèse d'accrétion de matière organique insoluble (MOI) dans tous les corps du système solaire externe. Les deux questions scientifiques principales sont (1) la déstabilisation de la MOI peut-elle être à l'origine de l'atmosphère de Titan (N₂ et CH₄) et l'apport de CH₄ peut-il être suffisamment tardif, sachant que le méthane a une durée de vie de quelques dizaines de millions d'année dans l'atmosphère où il disparaît par dégradation photochimique ? et (2) des molécules impliquées dans la chimie du vivant, et souvent considérées comme des biosignatures, ont-elles pu être générées à partir de la pyrolyse de la MOI, dans des conditions abiotiques, remettant en cause la nature de biosignature de ces molécules ?

Principales étapes de la thèse et démarche (10-12 lignes)

La thèse aura les étapes suivantes : (1) Synthèse et caractérisation de la Matière Organique Insoluble, (2) expériences en cellule diamant de mélanges MOI/eau/silicate hydratée (antigorite) allant d'expériences témoins sans silicate, à des expériences avec des quantités égales d'eau et de silicates puis sans eau (l'eau est générée par la déshydratation des silicates). (3) Mêmes expériences en présence de sulfure ferreux (jusqu'à 10 % en poids de FeS). (4) quelques expériences dans un réacteur à haute pression de type piston-cylindre, (5) Utilisation des données expérimentales pour simuler l'évolution chimique des lunes glacées Titan et Ganymède. Chaque étape (2), (3) et (4) sera suivie de l'analyse au CEISAM des produits de réaction par des techniques analogiques pour caractériser les produits de réaction. Le travail inclut la rédaction d'articles dans des revues internationales sur les résultats des expériences de laboratoire, leurs implications sur l'évolution de Titan d'une part et Ganymède de l'autre pour répondre aux questions scientifiques posées. Le sujet de thèse est principalement expérimental. L'environnement du LPG permettra d'utiliser des modèles numériques d'évolution et de comparer les résultats de ces modèles avec les observations de missions spatiales.

Approches méthodologiques et techniques envisagées (4-6 lignes)

Le travail est principalement expérimental avec l'utilisation (1) d'une cellule à enclumes de diamant permettant un suivi in situ des réactions par spectroscopie Raman et infrarouge et (2) d'un réacteur à haute pression de type piston-cylindre permettant d'atteindre les conditions de température et de pression présentes dans les satellites de Jupiter et Saturne (50 MPa à 5 GPa, 0 à 800 °C). Les matériaux de départ et les produits de réactions seront caractérisés par de nombreuses techniques (ICP-OES, RMN MAS, IRTF, chromatographie gazeuse avec détecteur à conductivité thermique, chromatographie couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS), RMN 1H, si nécessaire spectrométrie de masse à résonance cyclotronique ionique (FT-ICR-MS) en faisant appel à l'infrastructure nationale FR CNRS 3624.

Compétences scientifiques et techniques requises pour le candidat

La personne recrutée doit avoir un Master en Sciences de la Terre et de l'Univers ou en Chimie. Une expérience des candidat(e)s dans l'utilisation de réacteurs de synthèse à haute-pression et/ou dans l'utilisation des techniques analytiques pour la caractérisation physicochimique de composés moléculaires serait un atout important.

ENCADREMENT DE LA THÈSE¹

Nom de l'unité d'accueil : Laboratoire de Planétologie et Géodynamique, UMR-CNRS 6112	Nom de l'équipe d'accueil : Diversité des mondes glacés
Nom du directeur de l'unité : Antoine Mocquet	Nom du responsable de l'équipe : Gabriel Tobie
Coordonnées du directeur de l'unité : Pr. Antoine Mocquet, Laboratoire de Planétologie et Géodynamique, UMR-CNRS 6112, UFR Sciences et Techniques, 2 rue de la Houssinière, BP 92208, 44322 Nantes Cedex 3, France tel: +33 (0)2 51 12 54 68, fax : +33 (0)2 51 12 52 68, email : dir.umr6112@univ-nantes.fr	Coordonnées du responsable de l'équipe : Dr. Gabriel Tobie, Laboratoire de Planétologie et Géodynamique, UMR-CNRS 6112, UFR Sciences et Techniques, 2 rue de la Houssinière, BP 92208, 44322 Nantes Cedex 3, France, (+33)2 76 64 51 61, e-mail: gabriel.tobie@univ-nantes.fr
Directeur de thèse Nom, prénom : Sotin, Christophe Fonction : Professeur Date d'obtention de l'HDR : 1986 Employeur : Université de Nantes Taux d'encadrement doctoral dans le présent sujet : 50 Taux d'encadrement doctoral en cours (directions et co-directions) (%) : 0 Nombre de directions/co-directions de thèse en cours : 0	
Co-directeur (le cas échéant) Nom, prénom : BUJOLI, Bruno Fonction : DR1 CNRS Date d'obtention de l'HDR : 1992 Employeur : CNRS École doctorale de rattachement : 3M Taux d'encadrement doctoral dans le présent projet : 50 Taux d'encadrement doctoral en cours (directions/co-directions/co-encadrements) (%) : 120 Nombre de directions/co-directions/co-encadrements de thèse en cours : 3	
Co-encadrant de thèse 1 (le cas échéant) Nom, prénom :	

¹ Dans l'ED EGAAL, si 1 scientifique dans la direction de la thèse = 100% d'encadrement doctoral ; si 2 personnes impliquées dans la direction de la thèse = entre 50% et 70% d'encadrement doctoral pour l'HDR directeur ; si 3 personnes impliquées dans l'encadrement de la thèse : répartition :40% - 30% - 30% de l'encadrement doctoral.

Fonction :

Titulaire de l'HDR : oui non Si oui, date d'obtention de l'HDR :

Employeur :

École doctorale de rattachement :

Taux d'encadrement doctoral dans le présent projet :

Taux d'encadrement doctoral en cours (directions/co-directions/co-encadrements) (%) :

Nombre de directions/co-directions/co-encadrements de thèse en cours :

Co-encadrant de thèse 2 (le cas échéant)

Nom, prénom :

Fonction :

Titulaire de l'HDR : oui non Si oui, date d'obtention de l'HDR :

Employeur :

École doctorale de rattachement :

Taux d'encadrement doctoral dans le présent projet :

Taux d'encadrement doctoral en cours (directions/co-directions/co-encadrements) (%) :

Nombre de directions/co-directions/co-encadrements de thèse en cours :

Partenaire privé (si financement CIFRE, privé,...)

Nom, prénom :

Fonction :

Entreprise :

Taux d'encadrement doctoral dans le présent projet :

Taux d'encadrement doctoral en cours (directions/co-directions/co-encadrements) (%) :

Nombre de directions/co-directions/co-encadrements de thèse en cours :

Partenaire international (si thèse en co-tutelle)

Nom, prénom :

Fonction :

Employeur :

Taux d'encadrement doctoral dans le présent projet :

Taux d'encadrement doctoral en cours (directions/co-directions/co-encadrements) (%) :

Nombre de directions/co-directions/co-encadrements de thèse en cours :

Devenir des anciens doctorants du directeur et co-directeur(s)/co-encadrant(s) de thèse (depuis 5 ans)

Compléter les informations suivantes pour chaque ancien doctorant

Nom, prénom :

Date de début et de fin de thèse :

Direction de thèse :

Emploi actuel, lieu :

Contrat (post-doc, CDD, CDI) :

Liste des publications issues de ce travail de thèse :

Bruno BUJOLI

Thèse CIFRE Graftys (Pierre Leuret) - [Co-direction: J.M. Bouler 50%, B Bujoli 50%]: soutenue le 29 Mars 2016. **Devenir : CDI public (professeur de sciences physiques - Académie de Nantes)**. Durée de la thèse : 37 mois
Développement de biomatériaux de remplacement osseux pour applications spécifiques en chirurgie du rachis.
Pas de publication, ni brevet pour l'instant. Résultats confidentiels

Thèse cotutelle University of Puerto Rico – bourse Chateaubriand (Barbara Casanas-Montes) - [Co-direction: J Colon 50%, B Bujoli 20% et co-encadrante C Queffelec 30%]: soutenue le 19 Mai 2017. **Devenir : CDI privé (Bristol-Myers Squibb)**. Durée de la thèse : 43 mois

Layered inorganic nanomaterials for potential cancer therapy.

Molybdocène dichlorure intercalation into zirconium phosphate nanoparticles

Casanas-Montes, B.; Diaz, A.; Barbosa, C.; Ramos, C.; Collazo, C.; Melendez, E.; Queffelec, C.; Fayon, F.; Clearfield, A.; Bujoli, B.; Colon, J.L. JOURNAL OF ORGANOMETALLIC CHEMISTRY, **2015**, (791), 34-40, doi, ImpFact⁵: 2.336

Thèse MESR (Florian Forato) - [Direction: B Bujoli 40% et co-encadrante C Queffelec 60%]: soutenue le 12 Octobre 2017. **Devenir : CDI privé (Oléa innovation)**. Durée de la thèse : 36 mois

Applications de la chimie des acides phosphoniques dans le domaine de la catalyse et des biotechnologies.

Comparison of Zirconium Phosphonate-Modified Surfaces for Immobilizing Phosphopeptides and Phosphate-Tagged Proteins

Forato, Florian; Liu, Hao; Benoit, Roland; Fayon, Franck; Charlier, Cathy; Fateh, Amina; Defontaine, Alain; Tellier, Charles; Talham, Daniel R.; Queffelec, Clemence; Bujoli, Bruno LANGMUIR, **2016**, 32 (22), 5480-5490, doi, ImpFact⁵: 3.993

Core-Shell Ag@TiO₂ Nanocomposites for Low-Power Blue Laser Enhanced Copper(I) Catalyzed Ullmann Coupling

Forato, Florian; Talebzadeh, Somayeh; Bujoli, Bruno; Queffelec, Clemence; Trammell, Scott A.; Knight, D. Andrew CHEMISTRYSELECT, **2017**, 2 (2), 769-773, doi, ImpFact⁵: 1.716

Phosphonate-Mediated Immobilization of Rhodium/Bipyridine Hydrogenation Catalysts

Forato, Florian; Belhboub, Anouar; Monot, Julien; Petit, Marc; Benoit, Roland; Sarou-Kanian, Vincent; Fayon, Franck; Jacquemin, Denis; Queffelec, Clemence; Bujoli, Bruno CHEMISTRY-A EUROPEAN JOURNAL, **2018**, 24 (10), 2457-2465, doi, ImpFact⁵: 5.16

Non-photochemical catalytic hydrolysis of methylparathion using core-shell Ag@TiO₂ nanoparticles

Somayeh Talebzadeh, Florian Forato, Bruno Bujoli, Scott A. Trammell, Stephane Grolleau, Hemant Pal, Clemence Queffelec and D. Andrew Knight RSC ADVANCES, **2018**, 8, 42346-42352, doi, ImpFact⁵: 3.29

Functionalized core-shell Ag@TiO₂ nanoparticles for enhanced Raman spectroscopy: a sensitive detection method for Cu(II) ions

Forato, Florian; Talebzadeh, Somayeh; Rousseau, Nicolas; Mevellec, Jean-Yves; Bujoli, Bruno; Knight, D. Andrew; Queffelec, Clemence; Humbert, Bernard PHYSICAL CHEMISTRY CHEMICAL PHYSICS, **2019**, 21 (6), 3066-3072, doi, ImpFact⁵: 3.567

Investigation of copper oxidation states in plasmonic nanomaterials by XAS and Raman spectroscopy

Queffelec, C.; Forato F.; Bujoli, B.; Knight, D.A.; Fonda, E.; Humbert, B. PHYS. CHEM. CHEM. PHYS., **2020**, 22, 2193-2199, doi, ImpFact⁵: 3.567

Publications majeures des 5 dernières années du directeur de thèse et co-directeur(s)/co-encadrant(s) sur le sujet de thèse :

Christophe Sotin

Sotin C., Kalousova K., & Tobie G. (2021), Titan's Interior Structure and Dynamics After the Cassini-Huygens Mission, Annu. Rev. Earth Planet. Sci., 49.

Kalousova, K., & Sotin, C. (2020). Dynamics of Titan's high-pressure ice layer, Earth Planet. Sci. Lett., 45, 116416. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116416>

Estrela R., Swain M.R., Gupta A., Sotin C., and Valio A. (2020) The Evolutionary Track of H/He Envelopes of the Observed Population of Sub-Neptunes and Super-Earths; Astrophysical Journal, 898, 104.

Hand K.P., Sotin C., Hayes A., and Coustenis A. (2020) On the Habitability and Future Exploration of Ocean Worlds; *Space Science Reviews*, 216, 5, 95, DOI: 10.1007/s11214-020-00713-7

Kalousova, K., & Sotin, C. (2020). The insulating effect of methane clathrate crust on Titan's thermal evolution, *Geophysical Research Letters*, 47, e2020GL087481. <https://doi.org/10.1029/2020GL087481>

Vu T.H., Choukroun M., Sotin C., Munoz-Iglesias V., Maynard-Casely H.E. (2020) Rapid Formation of Clathrate Hydrate from Liquid Ethane and Water Ice on Titan; *Geophys. Res. Lett.*, 47, e2019GL086265.

Journaux B., Kalousova K., Sotin C., Tobie G., Vance, S. et al. (2020) Large Ocean Worlds with High-Pressure Ices; *Space Sci. Rev.*, 216, 7.

Neri A , Guyot F., Reynard B. and Sotin C. (2020) A carbonaceous chondrite and cometary origin for icy moons of Jupiter and Saturn; *Earth Planet. Sci. Lett.*, 530, 11592.

Swain, M. R., Estrela, R., Sotin, C., Roudier G. M., and Zellem R.T. (2019) Two Terrestrial Planet Families with Different Origins; *Astrophysical Journal*, 881, 117.

Le Mouelic, S; Cornet, T; Rodriguez, S; Sotin, C et al. (2019) The Cassini VIMS archive of Titan: From browse products to global infrared color maps; *Icarus*, 319, 121-132; 10.1016/j.icarus.2018.09.017.

Kalousová, K., & Sotin, C. (2018). Melting in high-pressure ice layers of large ocean worlds—Implications for volatiles transport. *Geophysical Research Letters*, 45, 8096–8103. <https://doi.org/10.1029/2018GL078889>

Bruno BUJOLI

Audo, M.; Paraschiv, M.; Queffelec, C.; Louvet, I.; Hemez, J.; Fayon, F.; Lepine, O.; Legrand, J.; Tazerout, M.; Chailleux, E.; Bujoli, B. Subcritical Hydrothermal Liquefaction of Microalgae Residues as a Green Route to Alternative Road Binders *Acs Sustainable Chemistry & Engineering* **2015**, 3, 583

Borghol, I.; Queffelec, C.; Bolle, P.; Descamps, J.; Lombard, C.; Lepine, O.; Kucma, D.; Lorentz, C.; Laurenti, D.; Montouillout, V.; Chailleux, E.; Bujoli, B. Biosourced analogs of elastomer-containing bitumen through hydrothermal liquefaction of *Spirulina* sp microalgae residues *Green Chemistry* **2018**, 20, 2337.

FINANCEMENT DE LA THÈSE

Origine(s) du financement de la thèse : CNRS

Salaire brut mensuel : 2135 euros

État du financement de la thèse : Acquis

Date du début/durée du financement de la thèse : 01/09/2021

Date : 26 avril 2021

Nom, signature du directeur d'unité : Antoine Mocquet

A handwritten signature in black ink, consisting of a horizontal line with a vertical stroke crossing it, and a small loop at the end.

Nom, signature du responsable de l'équipe : Gabriel Tobie

A handwritten signature in black ink, featuring a large, stylized 'G' and 'T' with the name 'Tobie' written in cursive below.

Nom, signature du directeur de thèse : Christophe Sotin,

A handwritten signature in blue ink, consisting of a horizontal line with a vertical stroke crossing it, and a small loop at the end.