

## DESCRIPTION D'UN PROJET DE THÈSE FINANCÉ - ÉCOLE DOCTORALE « Matière, Molécules, Matériaux & Géosciences »

### + INFORMATIONS GÉNÉRALES

<p><b>Titre de la thèse :</b> Processus éolien comme agent géomorphologie sur Pluton, une étude de planétologie comparée.</p>
<p><b>Champ disciplinaire 1 :</b> Planétologie <b>Champ disciplinaire 2 :</b> Géosciences</p>
<p><b>Trois mots-clés :</b> Sublimation/condensation, surfaces planétaires, modélisation analogique et numérique</p>
<p><b>Unité d'accueil (préciser si temps partagé entre plusieurs sites) :</b> Laboratoire de Planétologie et Géosciences, UMR 6112</p>
<p><b>Nom, prénom du directeur de thèse (HDR indispensable) :</b> Gabriel Tobie <b>Adresse mail :</b> gabriel.tobie@univ-nantes.fr <b>Nom, prénom du co-directeur (le cas échéant) (HDR indispensable) :</b> <b>Adresse mail :</b> <b>Nom, prénom du co-encadrant de thèse 1 (le cas échéant) :</b> Sabrina Carpy <b>Adresse mail :</b> sabrina.carpy@univ-nantes.fr <b>Nom, prénom du co-encadrant de thèse 2 (le cas échéant) :</b> Tanguy Bertrand <b>Adresse mail :</b> tanguy.bertrand@obspm.fr</p>
<p><b>Contact(s) (adresse postale) :</b> LPG, 2 rue de la Houssinière, BP 92208, 44322 Nantes cedex</p>

Une fois complété, merci d'enregistrer ce document au format pdf avec le nom suivant : Nom du Directeur thèse\_Unité.pdf

**ED 3MG - Direction :** Le Mans Université - Avenue Olivier Messiaen - 72085 Le Mans Cedex 09

Tél : 02.43.83.37.41 / 06.05.19.08.00

Mail : [ed-3mg@doctorat-paysdelaloire.fr](mailto:ed-3mg@doctorat-paysdelaloire.fr)

Site Web : <https://ed-3mg.doctorat-paysdelaloire.fr/>

## DESCRIPTION SCIENTIFIQUE DU PROJET DE THÈSE

### Description du sujet : contexte, objectifs, méthodologie (1 page maximum)

En 2025, cela fera 10 ans que la mission New Horizons a survolé Pluton, révélant de surprenants paysages glacés de méthane et d'azote, telle que la plaine de Sputnik Planitia au cœur de Pluton, dont la couleur et l'apparence contrastent fortement avec Cthulhu Regio à l'équateur. Ces différences témoignent d'âges et de processus, à l'origine de ces terrains, très variés. Compte tenu des conditions de température et de pression qui règnent sur Pluton, le vent, combiné à la sublimation, pourrait être un agent géomorphologique très efficace, responsable de paysages divers tels que par exemple les pénitents et les ondes de sublimation. Les processus éoliens sur les surfaces planétaires sont connus pour produire des ondulations, appelées *bedforms*, composées de substrat meuble (par exemple du sable), mais existent aussi sur des substrats solides tel que la roche ou la glace (c'est-à-dire sans transport de grains). D'une part, leurs caractéristiques géométriques et cinématiques (forme, taille, orientation, direction de migration, vitesse de migration et taux de croissance) constituent des marqueurs géomorphologiques permettant de contraindre les interactions surface-atmosphère et les modèles climatiques (par exemple, l'orientation des dunes sur Titan). D'autre part, à partir de conditions atmosphériques et de surface connues, des lois d'échelle peuvent être appliquées pour prédire les caractéristiques des *bedforms* éoliennes pour divers environnements planétaires, en supposant que les processus impliqués sont les mêmes. Si la physique qui sous-tend la formation et le développement des *bedforms* meubles est bien comprise, il n'en va pas de même pour les *bedforms* glacées, pour lesquelles il existe peu d'informations quantitatives et de modélisation dans la littérature.

Les étonnantes *bedforms* glacées observées sur les surfaces riches en N<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub> de Pluton constituent donc un nouveau laboratoire pour étudier les processus impliqués. La sublimation et/ou la condensation de matières volatiles a été proposée pour expliquer les dépôts de CH<sub>4</sub> appelés *bladed-terrain deposits*, mais les processus physiques exacts restent à modéliser. Des dunes éoliennes composées de grains glacés riches en CH<sub>4</sub> ont été proposées pour expliquer les reliefs de Sputnik Planitia, mais la morphologie de ces terrains rappelle plutôt celle des ondes de sublimation glacées, observées sur certains dépôts de glace d'eau sur Terre et sur Mars. Ces ondes de sublimation, qui résultent d'un mécanisme d'instabilité entre la sublimation de la glace et les vents turbulents, ont été modélisées en 1D avec le modèle théorique OnDiNe, développé au LPG. Ce modèle prédit que des ondes similaires pourraient se produire sur Pluton. Des ondes de condensation pourraient également se produire, mais n'ont pas encore été explorées ou modélisées sur Mars ou Pluton.

L'objectif de la thèse est de comprendre la formation des *bedforms* périodiques observées sur Pluton, d'identifier les mécanismes dominants et de les comparer à des caractéristiques similaires ailleurs dans le système solaire afin d'analyser l'universalité des processus impliqués dans une optique de planétologie comparée. Pour atteindre cet objectif, nous (le doctorant et l'équipe) étudierons d'abord expérimentalement l'influence du vent en tant qu'agent morphologique sur un substrat glacé en cours de sublimation dans l'émergence des *bedforms*, afin de valider les lois d'échelle proposées pour les modèles de sublimation sur Terre et sur Mars. Ces expériences sont essentielles, car il n'existe pas de données exhaustives sur les *bedforms* glacés et, par conséquent, on ne sait toujours pas comment leurs caractéristiques évoluent en fonction des paramètres de l'environnement (par exemple, la vitesse de migration et le temps caractéristique d'émergence n'ont été observés que dans le cas de la zone de glace bleue de l'Antarctique). Nos expériences (dans un environnement contrôlé) combleront cette lacune et constitueront la première base de données complète pour les formes de lit de sublimation (les expériences avec la condensation restent compliquées à concevoir, mais nous chercherons des solutions). Deuxièmement, nous développerons le modèle analytique OnDiNe pour la formation des *bedforms* en sublimation. Des étapes de validation seront réalisées en utilisant des données de l'Antarctique et de la calotte polaire martienne, dans la continuité des études précédentes au LPG. En parallèle, nous cartographierons la morphologie des terrains d'intérêt sur Pluton (espacement des crêtes, direction, etc.) mais également sur des glaciers terrestres et martiens. Le code OnDiNe sera appliqué à Pluton pour fournir des informations sur les processus dominants à l'origine de la formation des ondulations et fournir ainsi des contraintes sur les conditions environnementales. Enfin, nous utiliserons les

modèles climatiques de Pluton développés au LMD et au LESIA par A. Falco et T. Bertrand pour simuler à haute résolution spatiale la formation et la croissance des dépôts de méthane sur des échelles de temps géologiques.

#### Information pour la candidature:

Les candidat-e-s doivent être titulaires d'un master et/ou d'un diplôme d'ingénieur avec des connaissances en géophysique, sciences planétaires, astrophysique, dynamique des fluides et/ou mécanique. Une expérience en modélisation numérique et en programmation est attendue. Une expérience antérieure sur un sujet/domaine connexe sera un atout. De bonnes compétences en communication orale et écrite en anglais sont également requises.

Les candidatures doivent inclure un CV et une lettre de motivation, ainsi que les coordonnées de l'encadrant de stage de master 2 et d'une autre référence dans le domaine académique. Un entretien sera réalisé pour les candidatures retenues. La date souhaitée de début de thèse est début octobre 2024.

#### Environnement de travail :

Le travail de thèse sera réalisé sous l'encadrement de Gabriel Tobie (LPG), Sabrina Carpy (LPG) et Tanguy Bertrand (LESIA), dans le cadre du projet ANR SHERPAS, coordonné par T. Bertrand (LESIA) et en partenariat avec le LPG et LMD. La personne recrutée sera rattachée à l'Ecole doctorale 3MG (Matière, Matériaux et Géosciences, et au Graduate Programme Earth and Planetary Sciences de Nantes Université. La personne recrutée effectuera son travail au sein du Laboratoire de Planétologie et Géosciences (LPG – UMR 6112), situé sur le campus de l'UFR Sciences et Techniques de Nantes Université (bat. 4, 2 rue de la Houssinière, 44322 Nantes) et sera placé sous la responsabilité du Directeur de l'UMR.

Le Laboratoire de Planétologie et Géosciences (LPG - UMR 6112) est une unité de recherche pluridisciplinaire créée en 2000 et répartie sur 3 sites : Nantes Université, Université d'Angers et Université du Mans. Le LPG est un acteur majeur à l'international dans le domaine des Sciences de la Terre et de l'Univers. Les objets d'étude du laboratoire s'étendent sur un spectre disciplinaire très large actuellement répartis sur trois thèmes. Ses recherches s'inscrivent dans le cadre de missions spatiales internationales passées, actuelles, et en projet vers les corps telluriques et glacés du système solaire.

La personne recrutée travaillera principalement sur le thème « Planètes et Lunes » du LPG, et sera amené à collaborer avec différents enseignants chercheurs et chercheurs du LPG et des laboratoires partenaires dans le cadre du projet ANR SHERPAS. Des déplacements à l'international sont à prévoir.

**Compétences scientifiques et techniques requises pour le candidat :**

- Master en sciences planétaires, géophysique ou physique/mécanique
- Bonne connaissance de la programmation (python, matlab)
- Bonne connaissance des sciences planétaires, de la géophysique et de la dynamique des fluides
- Bon niveau d'anglais
- Intérêt pour la dynamique des fluides,
- Intérêt pour la manipulation d'images numériques

 **ENCADREMENT DE LA THÈSE<sup>1</sup>**

<b>Nom de l'unité d'accueil :</b> Laboratoire de Planétologie et Géosciences	<b>Nom de l'équipe d'accueil :</b> Planètes & Lunes
<b>Nom du directeur de l'unité :</b> Benoit Langlais	<b>Nom du responsable de l'équipe :</b> Stéphane Le Mouélic/Sabrina Carpy
<b>Coordonnées du directeur de l'unité :</b> Benoit.langlais@univ-nantes.fr	<b>Coordonnées du responsable de l'équipe :</b> Sabrina.carpy@univ-nantes.fr
<b>Directeur de thèse</b> Nom, prénom : Tobie, Gabriel Fonction : Directeur de recherche au CNRS Date d'obtention de l'HDR : 2018 Employeur : CNRS Taux d'encadrement doctoral dans le présent sujet : 40% Taux d'encadrement doctoral en cours (directions et co-directions) : 50% Nombre de directions/co-directions de thèse en cours : 1	
<b>Co-directeur (le cas échéant)</b> Nom, Prénom : Fonction :	

<sup>1</sup> Dans l'ED 3MG, si 1 scientifique dans la direction de la thèse = 100% d'encadrement doctoral ; si 2/3 personnes impliquées dans l'encadrement de la thèse, un taux de 40% minimum est exigé pour l'HDR directeur et 30% pour les autres encadrants.

Date de l'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 :
<b>Co-encadrant de thèse 1 (le cas échéant)</b> Nom, prénom : Carpy, Sabrina Fonction : Directeur de recherche au CNRS Titulaire de l'HDR : non Employeur : Université École doctorale de rattachement : ED 3MG Taux d'encadrement doctoral dans le présent projet : 30% Taux d'encadrement doctoral en cours (directions/co-directions/co-encadrements): 1 (fin en juillet 2024) Nombre de directions/co-directions/co-encadrements de thèse en cours : 1
<b>Co-encadrant de thèse 2 (le cas échéant)</b> Nom, prénom : Bertrand, Tanguy Fonction : astronome Titulaire de l'HDR : non Employeur : LESIA École doctorale de rattachement : Taux d'encadrement doctoral dans le présent projet : 30% Taux d'encadrement doctoral en cours (directions/co-directions/co-encadrements) :1 Nombre de directions/co-directions/co-encadrements de thèse en cours : 30%

 FINANCEMENT DE LA THÈSE

<b>Origine(s) du financement de la thèse : ANR SHERPAS</b>
<b>Montant brut mensuel : 2100€</b>
<b>État du financement de la thèse : Acquis</b>
<b>Date du début/durée du financement de la thèse : 01/10/2024</b>