



Sujet proposé pour un début de contrat en octobre 2019

---

**TITRE du SUJET : Analyse des 13 années de données VIMS de la sonde Cassini : Cartographie globale de la réflectance de la surface de Titan et préparation des futures observations JWST et Dragonfly.**

Directrice : **Ferrari Cécile, PR, HDR, ferrari@ipgp.fr**

Co-encadrant : **Rodriguez Sébastien, MCF, rodriguez@ipgp.fr**

Equipe d'accueil : **IPGP- Equipe de Planétologie et Sciences Spatiales – UMR7154**

Financement : **Contrat doctoral avec ou sans mission d'enseignement**

---

Plus de renseignement voir : <http://ed560.ipgp.fr>, Rubrique : *Offres\_de\_thèse*  
Il est indispensable de faire acte de candidature sur le site de l'Ecole doctorale

---

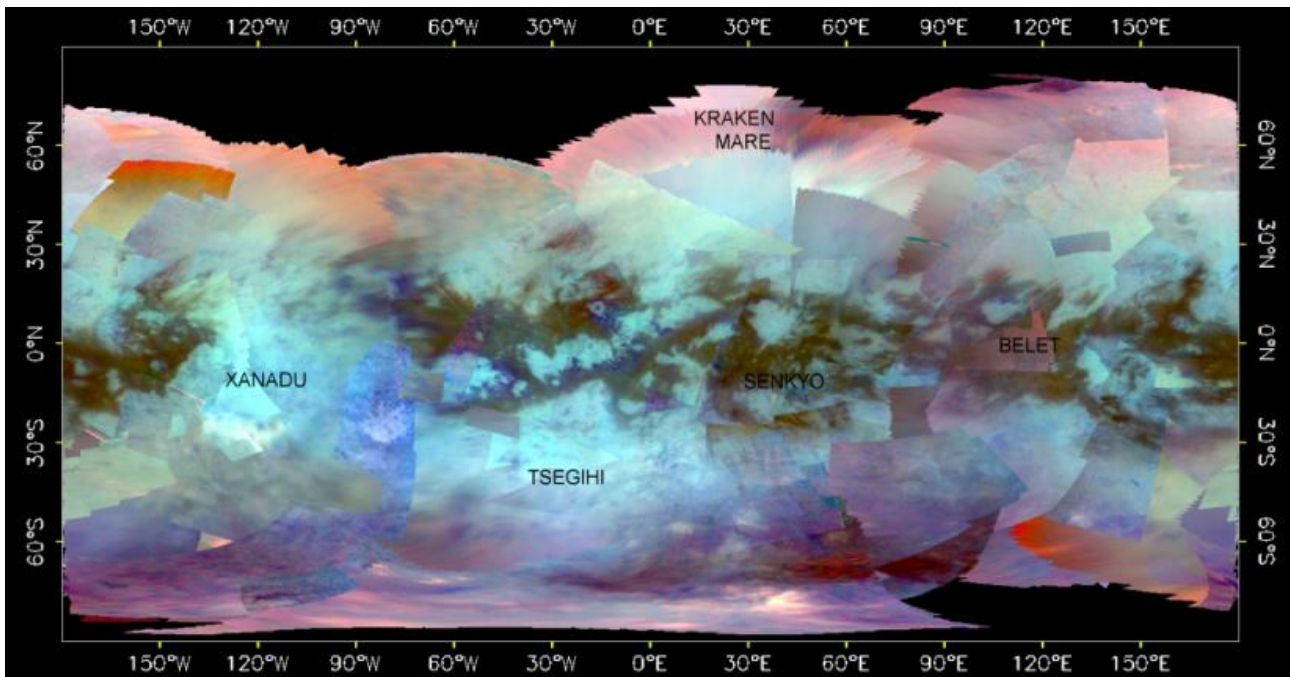
Développement du Sujet : (1 à 2 pages)

Titan, la plus grande lune de Saturne, est la seule lune du Système Solaire à posséder une atmosphère dense, principalement composée de diazote (95-98 %) et de méthane (2-5 %). Une chimie atmosphérique très active est à l'origine de la production d'une épaisse brume d'aérosols qui sédimente jusqu'à sa surface. L'atmosphère de Titan est opaque dans la plupart des longueurs d'onde du visible et de l'infrarouge proche et rend l'étude de sa surface particulièrement délicate.

Entre juillet 2004 et septembre 2017, l'orbiteur Cassini a survolé Titan et régulièrement acquis des données sur sa surface et son atmosphère. Le télescope spatial James Webb (JWST), qui sera lancé à l'automne 2020 et débutera sa campagne d'observations au printemps 2021, consacra une partie de son temps à l'observation du système solaire, Titan inclus. Récemment, la mission Dragonfly a été sélectionnée par la NASA pour envoyer un drone pour explorer la surface et la basse atmosphère de Titan dès 2034. Le JWST et Dragonfly viendront ainsi prendre le relais de la mission Cassini pour l'exploration de Titan pour les deux prochaines décennies.

Les observations de Cassini ont permis de révéler la présence sur Titan de paysages extraordinairement variés et étonnamment familiers (montagnes, rivières, mers, lacs, dunes ...). La plupart de ces morphologies de surface proviendrait de processus de formation impliquant une climatologie complexe et exotique, reposant principalement sur le cycle du méthane, analogue au cycle hydrologique sur Terre. Malgré le succès remarquable de la mission Cassini, de nombreuses questions clés sur la nature de l'atmosphère et de la surface de Titan, ainsi que leur interaction, objectifs majeurs de la mission, reste encore aujourd'hui largement sans réponse (par exemple, la composition de la surface de Titan, totalement inconnue, l'origine des dunes, des montagnes, des rivières, des lacs et des mers, encore très grandement débattues, ou encore de nombreux aspects de sa climatologie, loin d'être pleinement compris, comme la distribution et saisonnalité de la brume d'aérosols et des nuages).

Cette proposition de thèse tentera d'apporter des éléments de réponse à ces questions fondamentales, en mettant à profit les 13 années d'observation de Titan par Cassini.



Mosaïque globale de la surface de Titan construite à partir des observations VIMS (projection cylindrique ; composite coloré RVB avec rouge = 5  $\mu\text{m}$ , vert = 2,03  $\mu\text{m}$  et bleu = 1,27  $\mu\text{m}$ ). Les 3 canaux VIMS sont empiriquement corrigé de la contribution de l'atmosphère (Le Mouélic et al., 2012, 2019). La résolution spatiale est de 15 kms en moyenne, allant jusqu'à 0,5 à 1 km très localement. La correction atmosphérique doit encore être améliorée. Certaines coutures apparaissent toujours entre les observations individuelles, ce qui indique que ces cartes VIMS ne sont pas encore capables de représenter la réflectivité « absolue » de la surface.

Ainsi, l'objectif central de ce travail sera l'adaptation du modèle de transfert radiatif développé dans notre équipe (en langages Fortran90, C et Python) pour la réalisation de la toute première carte globale de réflectance de surface, corrigée des contributions atmosphériques (absorption et diffusion par les gaz et les aérosols). Cette carte sera réalisée à partir de l'ensemble des images hyperspectrales infrarouges de Titan acquises par Cassini dans la gamme spectrale 0,8-5  $\mu\text{m}$  (instrument VIMS) entre 2004 et 2017. Cela représente plusieurs centaines de millions de spectres à traiter et analyser. Cette carte de réflectance pourra être ensuite utilisée pour l'identification de matériaux candidats à la composition de surface. Combinée aux observations Cassini/RADAR à haute résolution spatiale des dunes, montagnes, rivières et mers, la connaissance des matériaux présents en surface nous aidera à mieux contraindre l'histoire géologique et climatique qui a conduit à la formation de ces paysages (par érosion mécanique et/ou chimique par le vent et/ou la pluie de méthane ?). La correction des contributions atmosphériques permettra également de suivre les évolutions saisonnières de la brume atmosphérique, en lien avec la circulation atmosphérique générale. En milieu de thèse, les futures observations de l'instrument NIRSPEC du JWST, dans la même gamme spectrale que VIMS, mais à bien plus haute résolution spectrale, permettront de vérifier, et corriger si besoin, les entrées atmosphériques du modèle de transfert radiatif et d'aider à l'identification de la composition de la surface de Titan. Il sera également possible d'aider à la préparation des futures observations de la basse atmosphère et de la surface de Titan par les caméras qui équiperont le drone Dragonfly.

Il est à noter que notre équipe est associée aux équipes des instruments VIMS et RADAR de la sonde Cassini et a donc accès à l'intégralité des données et aux chaînes de traitement officielles. Notre équipe est également impliquée dans la demande de temps garanti pour l'observation de Titan par le JWST dès le printemps 2021 et collabore étroitement avec l'équipe scientifique de Dragonfly.

**Collaborations :** Thomas Cornet (ESA), Antoine Lucas (IPGP), Bruno Bézard, Athéna Coustenis et Benjamin Charnay (LESIA, Obs. Meudon), Pascal Rannou (GSMA, Univ. Reims), Sébastien Lebonnois (LMD, Sorbonne Université), Christophe Sotin (JPL/Caltech, USA), Jason Barnes (Univ. Idaho, USA), Jason Soderblom (MIT, USA), Alexander Hayes (Cornell Univ., USA).