

ECOLE DOCTORALE DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT
D'ILE DE France N° 129
Proposition de sujet de thèse pour la rentrée 2020

Nom du Laboratoire d'accueil : Laboratoire de Météorologie Dynamique N° UMR : 8539

Nom du Directeur du laboratoire : Philippe Drobinski

Adresse complète du laboratoire : 4 place Jussieu, boîte 99, 75252 PARIS cedex 05

Nom de l'Equipe d'accueil et adresse si différente de celle du laboratoire : Planéto

Nom du Directeur de thèse **HDR** :

LEBONNOIS Sébastien

Téléphone : 01 44 27 52 85

Mail : sebastien.lebonnois@lmd.jussieu.fr

Nom du co-directeur de thèse **HDR** :

Téléphone :

Mail :

OU

Nom du co-encadrant **non HDR** :

Téléphone :

Mail :

• **Titre de la thèse en Français :**

Processus troposphériques et interactions avec la surface sur Titan.

• **Titre de la thèse en Anglais :**

Tropospheric processes and surface interactions on Titan.

• **Résumé Sujet en Français (1 page maximum) :**

La mission récente Cassini-Huygens (2004-2017) vers le système saturnien a permis de recueillir de très nombreuses informations sur l'atmosphère et la surface de Titan. La troposphère est dominée par un cycle du méthane avec nuages, précipitations intenses à l'équinoxe, traces d'interactions à la surface, lacs polaires et structures évoquant des évaporites. A la surface, des tempêtes de poussières ont également été observées, ainsi que des dunes longitudinales à l'équateur. Ces observations ont généré de très nombreuses questions auxquelles il est difficile de répondre avec les seules données observationnelles.

Pour appuyer l'interprétation, les modèles de climat global (GCM) sont des outils qui sont très performants. Au LMD, nous développons depuis 1992 un GCM de Titan parmi les plus évolués au monde, en collaboration avec le LATMOS et le GSMA (Reims). La thèse de Jan Vatant d'Ollone, qui vient de s'achever, a permis une mise à jour très complète des processus atmosphériques (transfert radiatif, photochimie, microphysique des brumes), focalisée essentiellement sur la stratosphère et la mésosphère. Ce GCM de l'IPSL a permis d'interpréter de nombreuses observations et deux manuscrits sont en préparation concernant les variations saisonnières observées dans la stratosphère.

Pour ce qui est de la troposphère, le GCM de l'IPSL inclut la topographie, les marées gravitationnelles de Saturne, et a permis d'interpréter le profil de température observé lors de la descente de Huygens (Charnay & Lebonnois, 2012), révélant la structure de deux couches limites, la couche limite diurne jusqu'à 800 m d'altitude et une couche limite saisonnière épaisse de 2 à 3 km. Pourtant, notre GCM n'inclut pas encore tous les processus associés au cycle du méthane : nuages,

précipitations, échanges de chaleur, évaporation de surface, réservoirs de surface ou subsurface. Plusieurs GCM américains, focalisés sur la troposphère, ont montré l'importance d'inclure tous ces processus pour explorer les échanges surface-atmosphère de méthane, la distribution des lacs polaires, les échanges de méthanes inter-hémisphériques, entre autres. Il est donc essentiel, pour maintenir le GCM de l'IPSL parmi les plus avancés au monde, d'introduire tous ces processus dans le modèle. Nous pouvons pour cela nous appuyer en particulier sur les travaux de Jérémie Burgalat (au LATMOS, puis au GSMA), qui a développé le modèle de nuages troposphériques, sous la direction de Pascal Rannou. Une fois l'ensemble des processus introduits dans la physique, nous pourrions aussi utiliser le modèle méso-échelle, déjà adapté pour Titan par Maxence Lefèvre et Jan Vatant d'Ollone, qui permet des simulations régionales à haute résolution spatiale.

L'objectif de cette thèse est d'explorer les différents processus caractérisant le cycle du méthane dans la troposphère et toutes les interactions avec la surface de Titan, permettant d'interpréter les structures observées (distribution et composition des lacs, dunes équatoriales, cycle saisonnier, nuages et précipitations). Le calendrier proposé est le suivant :

- 1ère année : développements techniques pour introduire tous les processus manquants
- 2ème année : études de validation, comparaison aux travaux déjà publiés par d'autres groupes
- 3ème année : exploitation des cycles des nuages et du méthane dans le GCM, des interactions entre topographie et atmosphère (dont les transferts de moment cinétique), et exploration de nouvelles questions scientifiques telles que la distribution des nuages et précipitations d'équinoxe, leur lien avec les dunes, les vents de surface, les conditions autour des lacs polaires et la formation des évaporites.

L'ambition est de nous doter d'un modèle de très haut niveau mondial pour être prêt pour la mission Dragonfly, lancée par la NASA en 2026 et qui posera un drone à la surface de Titan en 2034.

• **Résumé Sujet en Anglais (1 page maximum) :**

The recent Cassini-Huygens (2004-2017) mission to the Saturnian system collected a great deal of information about Titan's atmosphere and surface. The troposphere is dominated by a methane cycle with clouds, intense equinox precipitation, traces of surface interactions, polar lakes and structures evoking evaporites. On the surface, dust storms have also been observed, as well as longitudinal dunes at the equator. These observations generated many questions which are difficult to answer with only observational data.

To support interpretation, global climate models (GCM) are extremely useful tools. At LMD, we have been developing a Titan GCM among the most advanced in the world since 1992, in collaboration with LATMOS and GSMA (Reims). The thesis of Jan Vatant d'Ollone, which was just completed, has enabled a very complete update of atmospheric processes (radiative transfer, photochemistry, microphysics of haze), mainly focused on the stratosphere and the mesosphere. This IPSL Titan GCM made it possible to interpret numerous observations and two manuscripts are in preparation concerning the seasonal variations observed in the stratosphere.

With regard to the troposphere, the IPSL Titan GCM includes topography, gravitational tides of Saturn, and made it possible to interpret the temperature profile observed during the descent of Huygens (Charnay & Lebonnois, 2012), revealing the structure of two boundary layers, the diurnal boundary layer up to 800 m altitude and a 2 to 3 km thick seasonal boundary layer. However, our GCM does not yet include all the processes associated with the methane cycle: clouds, precipitation, heat exchange, surface evaporation, surface or subsurface reservoirs. Several American GCMs, focusing on the troposphere, have shown the importance of including all these processes to explore surface-atmosphere exchanges of methane, the distribution of polar lakes, exchanges of inter-hemispheric methane, among others. To keep the IPSL Titan GCM among the most advanced in the world, it is therefore essential to introduce all these processes into the model. For this, we can rely in particular on the work of Jérémie Burgalat (at LATMOS, then at GSMA), who developed the

tropospheric cloud model, under the supervision of Pascal Rannou. Once all the processes have been introduced into physics, we will also be able to use the mesoscale model, already adapted for Titan by Maxence Lefèvre and Jan Vatant d'Ollone, which allows regional simulations with high spatial resolution.

The objective of this thesis is to explore the different processes characterizing the methane cycle in the troposphere and all interactions with the surface of Titan, allowing to interpret the observed structures (distribution and composition of lakes, equatorial dunes, seasonal cycle, clouds and precipitation). The proposed schedule is as follows:

- 1st year: technical developments to introduce all the missing processes
- 2nd year: validation studies, comparison to work already published by other groups
- 3rd year: exploitation of cloud and methane cycles in the GCM, interactions between topography and atmosphere (including angular momentum transfers), and exploration of new scientific questions such as the distribution of clouds and equinox precipitation, their link with dunes, surface winds, conditions around the polar lakes and the formation of evaporites.

Our ambition is to be ready with a world-class model to prepare for the Dragonfly mission, that will be launched by NASA in 2026 and which will land a drone on the surface of Titan in 2034.

• Type de financement autre que ED 129, précisez si envisageable ou acquis (CNES, CEA, ADEME etc...) :

N/A

• Encadrement : 0

. Liste des autres doctorants que vous encadrez ou co-encadrez au 1^{er} janvier 2020

(Nom, Université d'inscription, type de financement, date de soutenance envisagée)

Mon dernier doctorant, Jan Vatant d'Ollone (Sorbonne Université, allocation ED129 2016), a soutenu le 31 janvier 2020.