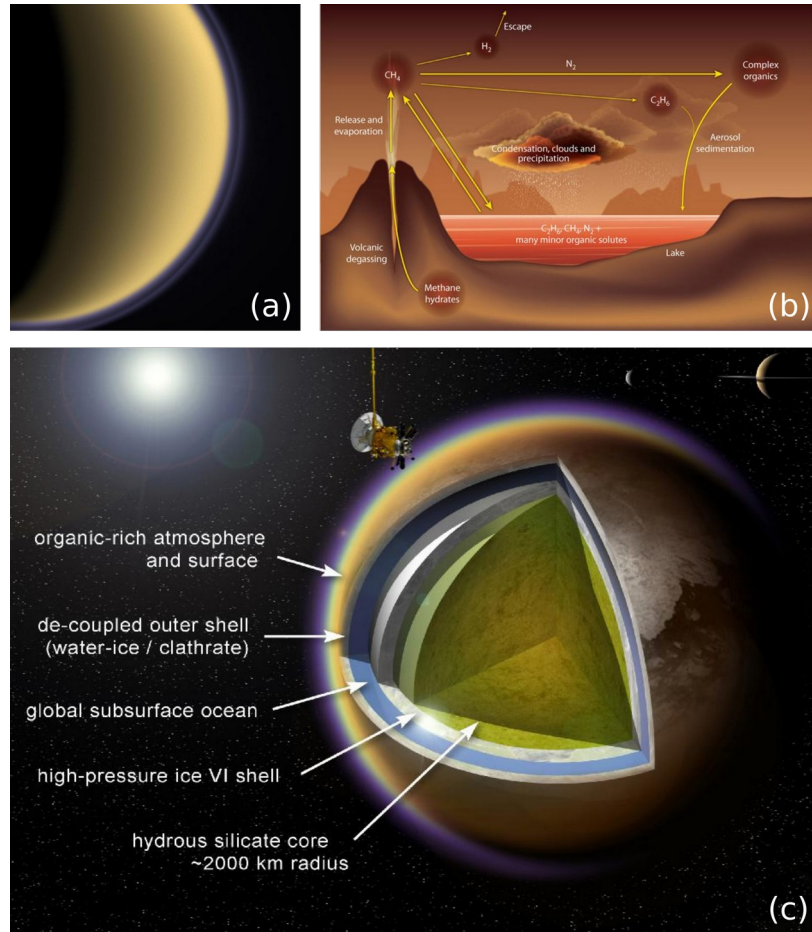


**Demande d'un financement « chercheur invité »  
concernant**

**Ashley Davies**

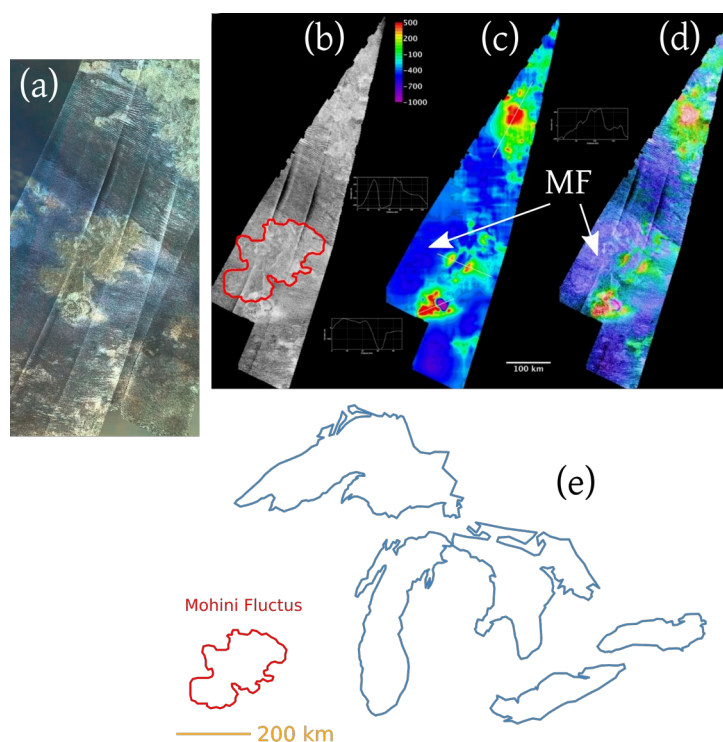
**Principal Scientist au *Jet Propulsion Laboratory* (Pasadena, CA, USA)**



**Fig. 1 :** (a) Une image de Titan prise, le 3 juillet 2004, avec la caméra à champ étroit de l'instrument ISS de la sonde Cassini. Contrairement aux autres lunes du système solaire, on n'observe pas une surface cratérisée, mais une atmosphère brumeuse qui donne son allure si caractéristique à Titan. (b) Vue schématique du cycle du carbone sur Titan, avec un cycle « hydrologique » du méthane et un éventuel dégazage via un « cryovolcanisme » (d'après Lopes et al.). (c) Vue d'artiste de la structure interne de Titan, sous une première couche de glace d'environ 80 km d'épaisseur se trouve un océan global d'eau.

Par sa masse, Titan est le principal satellite de Saturne. Ce corps a une taille comparable à celle de la Lune, mais contrairement à cette dernière, il est **en grande partie composé de glace d'eau**. Cette caractéristique lui confère une **géodynamique dont l'étude est intéressante en elle-même**. Titan possède également une **atmosphère dense d'azote et de méthane occupée par une brume organique globale et permanente (voir Fig. 1, a)**, il est le seul satellite du système solaire à posséder de telles caractéristiques. La densité de cette atmosphère est comparable à celle de l'atmosphère terrestre avec une **pression au sol de 1,5 bar**. Néanmoins, les températures titaniennes restent très basses, avec une **moyenne un peu supérieure à 90 K au sol**. Ces températures, conséquences d'un éloignement au Soleil d'environ 10 unités astronomiques, font que Titan peut être qualifié de « monde cryogénique ». A haute altitude, les rayons ultra-violet solaires et les particules énergétiques piégées dans la magnétosphère

kronienne<sup>1</sup>, dissocient les molécules de méthane et de diazote. Ce phénomène est à l'origine d'une chimie organique complexe qui est une des grandes originalités de ce satellite (voir Fig. 1, b). Les modèles d'atmosphère, comme les observations, indiquent l'existence de précipitations exotiques liées en premier lieu à un « cycle hydrologique » basé sur le méthane ; en second lieu la chimie organique atmosphérique produit une grande quantité d'éthane ainsi qu'une pléthore d'autres espèces dont les tailles des plus grosses détectées se trouve vers 200 amu (Rodriguez *et al.*, 2022). L'agrégation de la matière organique dans l'atmosphère donne naissance à des aérosols qui sont à l'origine de la brume si caractéristique déjà mentionnée. En conséquence, de la matière organique, sous des formes très variées doit sédimenter sur le sol, formant les dunes qui sont observées dans les régions tropicales (Nixon *et al.*, 2018, Rodriguez *et al.*, 2022) ou même des reliefs de type karstique (e.g. Cornet *et al.*, 2015).



**Fig. 2 :** (a) Combinaison d'images RADAR et infrarouge montrant la région de la coulée Mohini Fluctus à la surface de Titan, (b)-(d) Mohini Fluctus avec des données topographiques (a-d sont repris sur la figure 8 de Lopes *et al.*, 2013). (e) Une comparaison de la taille de Mohini Fluctus avec celles des grands lacs américains, suivant notre estimation Mohini Fluctus couvre environ 33 000 km<sup>2</sup>.

Concomitamment, le détection de ce qui a semblé être des ondes de Schumann lors de la descente de *Huygens* vers le sol en 2005 (Beghin *et al.*, 2012) suggère l'existence d'un océan globale, localisé sous la croûte de glace (cf. Fig. 1, c). Cette présence est également étayée par les mesures du champ de gravité de Titan (Iess *et al.*, 2012) ainsi que par les modèles thermomécaniques de structure interne (Tobie *et al.*, 2006). L'existence d'une communication entre l'intérieur de Titan (de l'océan global ou de poche d'eau liquide plus proches de la surface) laisse entrevoir une interaction entre de l'eau liquide et de la matière organique, ce qui soulève des questions très fondamentales d'habitabilité de Titan ou a minima d'une « proto-biologie » (Nixon *et al.*, 2018, Rodriguez *et al.*, 2022), de plus l'état actuel de Titan est à rapprocher de celui de la Terre à l'époque où celle-ci avait une atmosphère réductrice. L'argument actuel le plus fort en faveur de la présence de tels échanges de matière entre intérieur et atmosphère, est la détection de <sup>40</sup>Ar par *Huygens* dans l'atmosphère. Cet isotope, marqueur d'une interaction avec les roches du noyau de Titan, permet d'envisager l'existence d'un « cryovolcanisme » par ailleurs appuyée par l'observation RADAR de structures ayant une morphologie volcanique (Lopes *et al.*, 2007, Lopes *et al.* 2013, voir Fig. 2). Par ailleurs, les cratères d'impacts répartis sur la surface de Titan (il en existe un catalogue de 90, voir Hedgpeth *et al.*, 2020) ont pu, lors de leur formation, produire un

échange de matière entre l'intérieur et l'atmosphère. Les cryovolcans, tout comme les cratères d'impact immédiatement après leur formation, ont pu libérer de la « cryolave » (probablement un mélange d'eau, de glace et d'autres choses encore inconnues) et conduire, épisodiquement, à une chimie en solution aqueuse, éventuellement prébiotique. Dans les deux cas, cryovolcan ou cratère d'impact, une lave a pu s'écouler sur un lit de matière organique formé de sédiments atmosphériques. Tout l'objet de la thèse de Bastien Bodin est de développer des modèles numériques d'écoulement de cryolaves dans un contexte titanien. Lors de la première année de thèse, un gros travail de développement informatique a été fait et utilisant une approche basée sur la Smooth-Particle Hydrodynamics (SPH). Le modèle vient d'être validé, pour ses aspects thermiques, avec des modèles 1D de fluides au repos (notre modèle est potentiellement 3D) par comparaison avec ceux déjà publiés (Davies *et al.*, 2010). Au cours de l'année qui vient nous envisageons de produire des modèles incluant l'écoulement et le refroidissement amenant à la formation d'une couche de glace en dessous/dessus du flot de fluide. Ces simulations numériques permettront de mener une discussion scientifique des aspects suivants :

- les propriétés rhéologiques de la cryolave, qui avec le refroidissement, conditionnent l'extension géographique des coulées.
- La formation d'une croûte sur le dessus, inhibant le déplacement de la masse de fluide et ses interaction avec l'atmosphère
- la formation d'une croûte sur le dessous (le sol comme l'atmosphère doivent être aux environs de 90 K) inhibant les échanges avec le sol.

Ce programme scientifique pourra grandement bénéficier de la venue au laboratoire de Ashley Davies, Principal Scientist au Jet Propulsion Laboratory (Pasadena, CA, USA), spécialiste internationalement reconnu du volcanisme extraterrestre et impliqué dans de nombreux projets, dont la mission spatiale *Europa Clipper*<sup>2</sup>, qui doit être lancée en 2024 vers Europe, un satellite de glace de Jupiter, où une forme de cryovolcanisme est également attendue. Outre les aspects purement scientifiques, ce séjour pourra être l'occasion d'amorcer une collaboration de plus long terme et ouvrir des perspectives concernant le devenir post-doctoral de Bastien Bodin.

Pour finir, nous soulignons que ce projet est particulièrement pertinent dans le cadre de la préparation de la mission *Dragonfly*<sup>3</sup>, composée d'un drone qui doit décoller en 2027 pour explorer la région du cratère Selk (Barnes *et al.*, 2021) et dont les objectifs scientifiques sont très orientés sur les aspects exobiologiques. Le site de Selk a été choisi pour sa pertinence concernant les traces solidifiées d'interactions entre de l'eau (cryolave) et matière organique (Barnes *et al.*, 2021). Au sujet du planning, nous nous permettons d'indiquer qu'un séjour de Ashley Davies en 2024 serait probablement moins facilitateur car Bastien Bodin sera alors en 3<sup>e</sup> année de thèse.

---

2 <https://www.jpl.nasa.gov/missions/europa-clipper>

3 <https://dragonfly.jhuapl.edu>