COLLEGE DOCTORAL PAYS DE LA LOIRE
ED MATIERE, MOLECULES, MATERIAUX & GEOSCIENCES

Nantes Université

THESE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 596
Matière, Molécules, Matériaux et Géosciences
Spécialité : *Sciences de la Terre et des Planètes*

Par
Noé LE BECQ

Répartition et dynamique de la glace d'eau sur Mars

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 2 décembre 2026
Unité de recherche : Laboratoire de Planétologie et Géosciences, UMR CNRS 6112

Rapporteurs avant soutenance :

Denis Mercier	Professeur des Universités – Sorbonne Université, Paris
Antoine Séjourné	Professeur des Universités – Université Paris Saclay, Orsay

Composition du Jury :

Président :	Prénom Nom	Fonction et établissement d'exercice (8) *(à préciser après la soutenance)*
Examinateurs :	François Forget	Directeur de recherche – CNRS, Sorbonne Université, Paris
	Alice Le Gall	Maître de conférences – Université Versailles-Saint Quentin, Guyancourt
Dir. de thèse :	Susan Conway	Directrice de recherche – CNRS, Nantes Université, Nantes
Co-enc. de thèse :	Anna Grau Galofre	Chargée de recherche – CNRS, Nantes Université, Nantes

COLLEGE DOCTORAL PAYS DE LA LOIRE
ED MATIERE, MOLECULES, MATERIAUX & GEOSCIENCES

Nantes Université

Titre : **Répartition et dynamique de la glace d'eau sur Mars**

Mots clés : Mars, Géomorphologie, Glace, Glaciers, Cartographie, Climat

Résumé : Depuis un milliard d'années, Mars est un monde aride et froid, façonné par la glace, le vent et la poussière. D'importantes quantités de glace sont présentes aux moyennes latitudes, où leur distribution et leur préservation sont liées aux variations passées de l'obliquité de Mars. Comprendre cette glace est essentiel pour reconstituer l'histoire climatique récente, déterminer dans quelle mesure elle pourrait contribuer à la présence d'eau liquide et à l'habitabilité, et évaluer son intérêt comme ressource pour de futures missions habitées.

Cette thèse étudie trois modelés liés à la glace afin de contraindre leur origine, de les relier à l'histoire climatique de Mars et d'évaluer la distribution actuelle de la glace.

Premièrement, mon analyse des escarpements glacés suggère que le *Latitude-Dependent Mantle* (LDM), un dépôt riche en glace couvrant les moyennes et hautes latitudes, s'est formé par accumulation atmosphérique de neige et de poussière, son épaisseur et sa structure interne ayant été influencées par la topographie préexistante et les régimes de vent.

Deuxièmement, en réinterprétant les *dissected terrains*, auparavant considérés comme la continuation du LDM vers les basses latitudes, je contrains sa limite à environ 40–45° de latitude, ce qui est davantage compatible avec les modèles climatiques et suggère que la glace en sous-surface ne s'étend probablement pas aussi bas que 30° de latitude.

Finalement, je décris un nouveau type de glacier couvert de débris sur Mars, caractérisé par des fronts abrupts. Les comparaisons avec un analogue en Islande suggèrent que cette morphologie résulte de deux processus : l'interaction entre la glace et les débris, à l'origine de la formation d'une moraine terminale, et l'ablation frontale par sublimation.

Title: **Distribution and dynamics of water ice on Mars**

Keywords: Mars, Geomorphology, Ice, Glaciers, Mapping, Climate

Abstract: For the last billion years, Mars has been a cold and dry world, shaped mainly by ice, wind, and dust. Ancient obliquity variations controlled the distribution and preservation of significant ice deposits, found today both on the polar regions and the mid-latitudes. The distribution and dynamics of these deposits are intertwined with Mars' recent climate history, whereas their potential for transient melt has implications for Martian habitability. Moreover, the deposits themselves could provide future water resources to human exploration.

This thesis investigates three distinct types of icy landforms. I constrain their origin and evolution, link them to Mars' climate history, and assess the present-day distribution of ice.

First, my analysis of ice-exposing scarps suggests that the Latitude-Dependent Mantle (LDM), an ice-rich deposit covering Mars' mid- to high-latitudes, formed through the accumulation of wind-drifted snow and dust, with its thickness and structure controlled by pre-existing topography and wind patterns.

Second, I reinterpret Mars' dissected terrains, previously considered to be the result of low-latitude LDM degradation, and I constrain the LDM lower limit to ~40–45° latitude. This revised extent is consistent with climate models and suggests that present day shallow subsurface ice is unlikely to extend as far south as 30° latitude.

Finally, I describe a new type of debris-covered glacier on Mars, characterised by steep fronts that may expose two distinct textural units. Comparisons with an Icelandic analogue suggest that this morphology results from the differential flow of ice and debris, forming a terminal moraine, combined with terminal sublimation and mass wasting.