

Ondes de glaces formées par sublimation et condensation dans le cratère Louth, Mars

Présentation à la huitième école Ecoulements Gravitaires et Risques Naturels

A. Collet, S. Carpy, M. Bordiec, M. Massé, O. Bourgeois

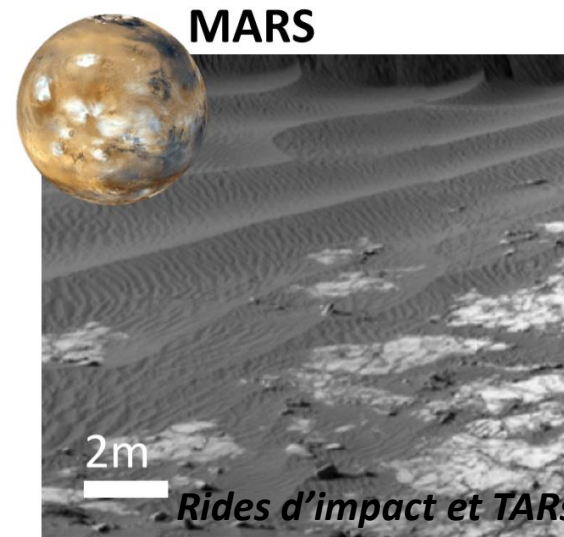
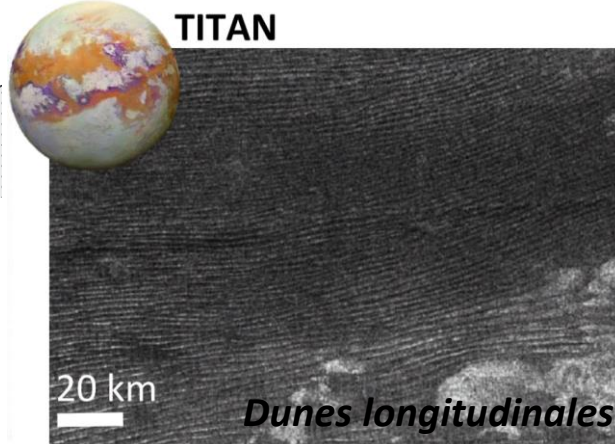
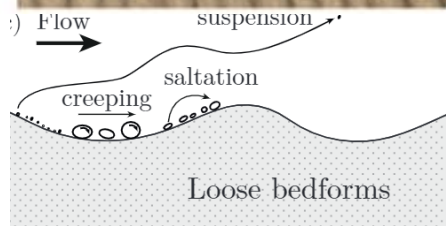
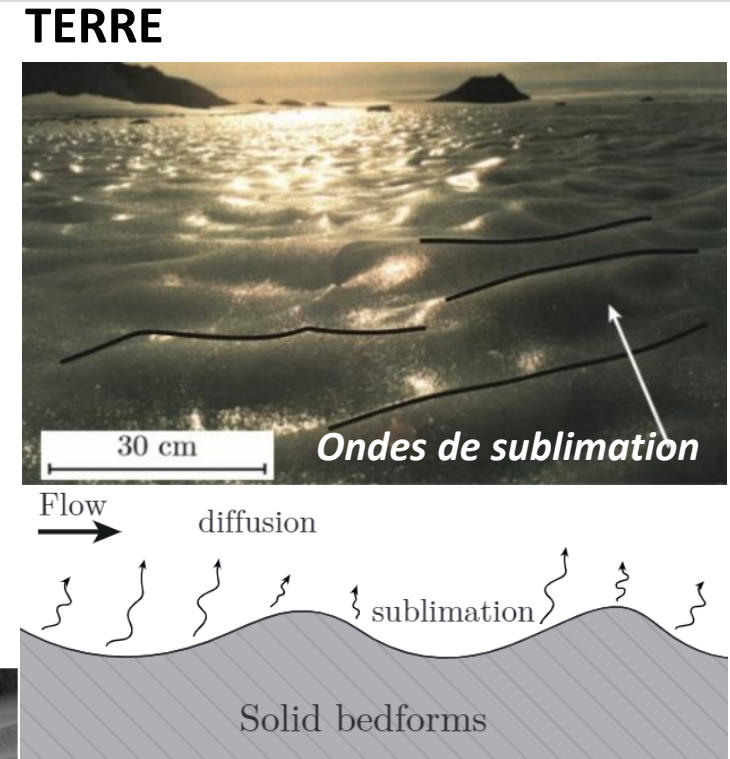
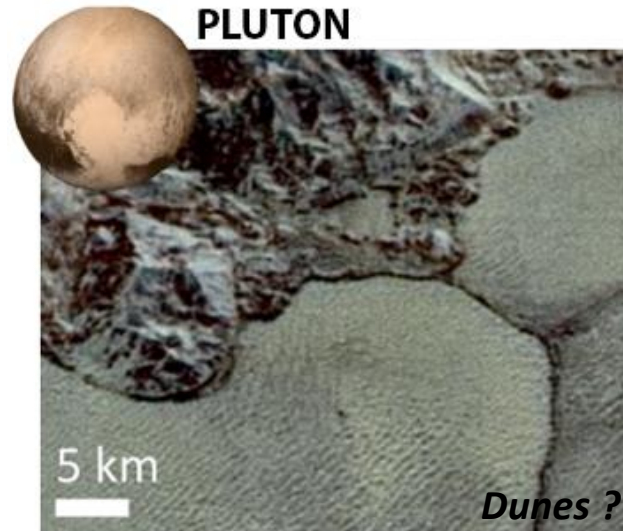
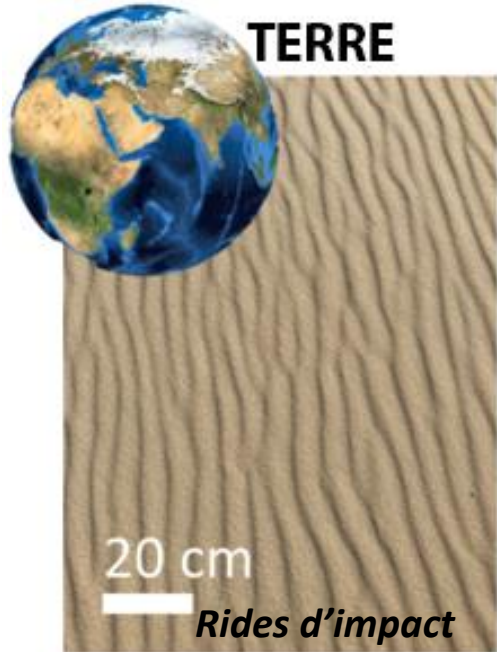
Laboratoire de Planétologie et Géodynamique, Nantes (France)

27 mai 2021



500 m

Contexte – Les *bedforms* éoliennes à travers le système solaire



Contexte – Les *bedforms* éoliennes sur Mars

Bedforms meubles

Bedforms solides

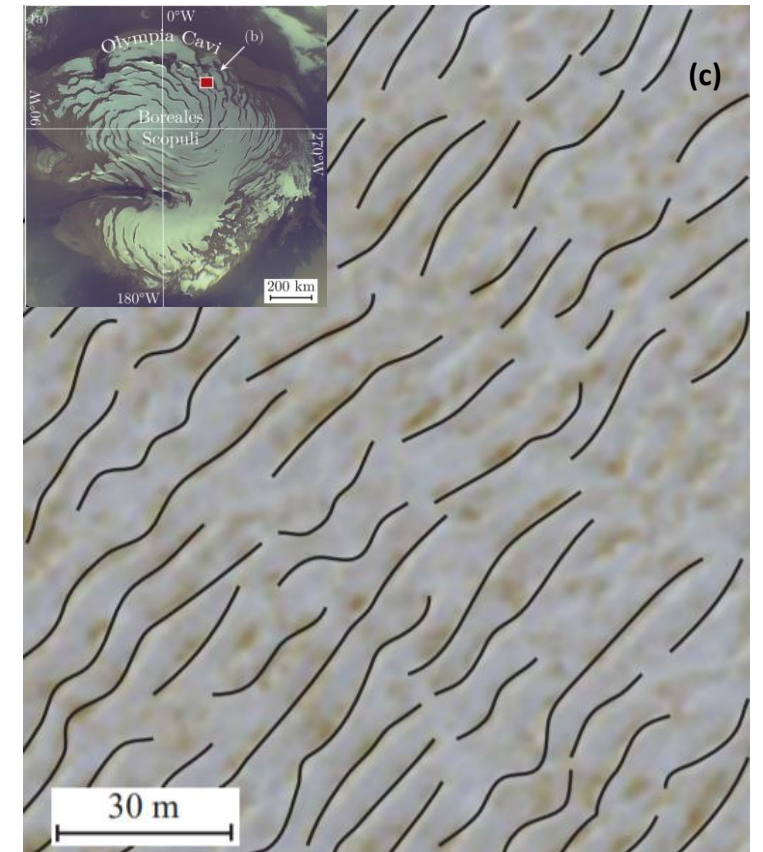
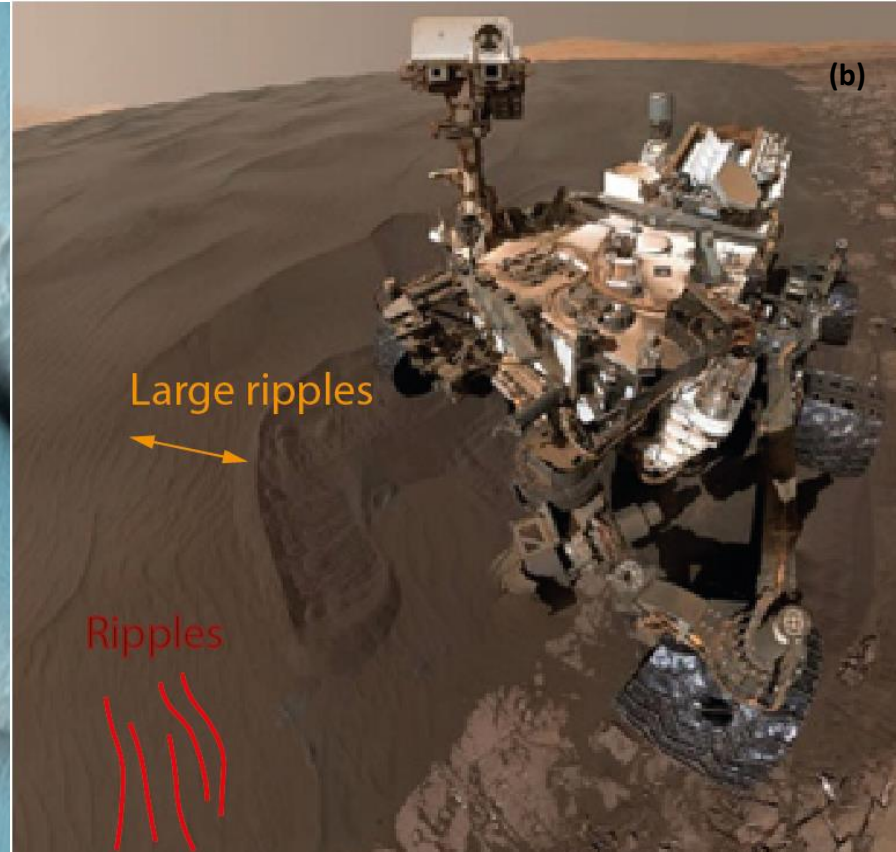
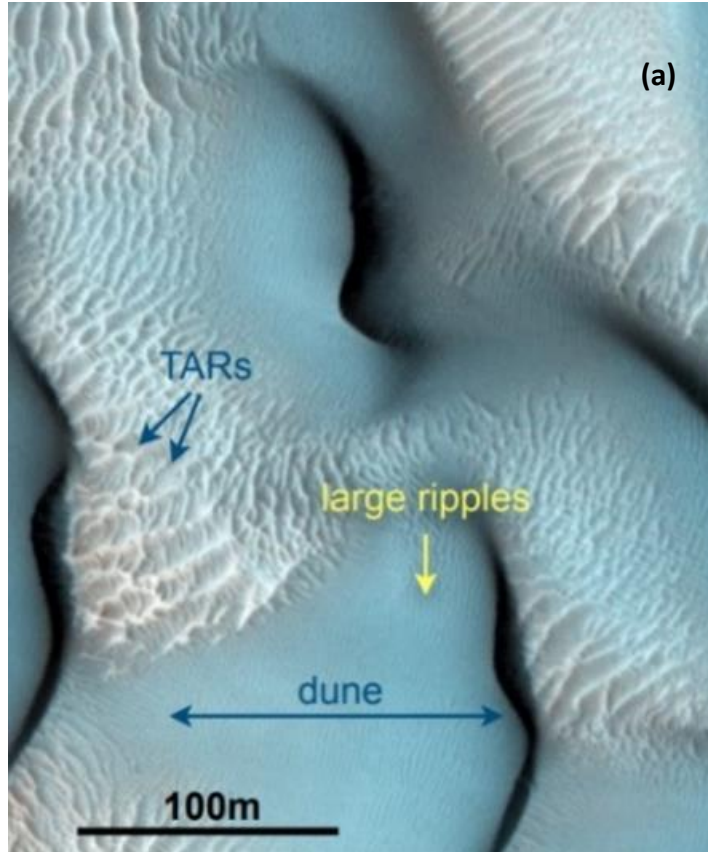


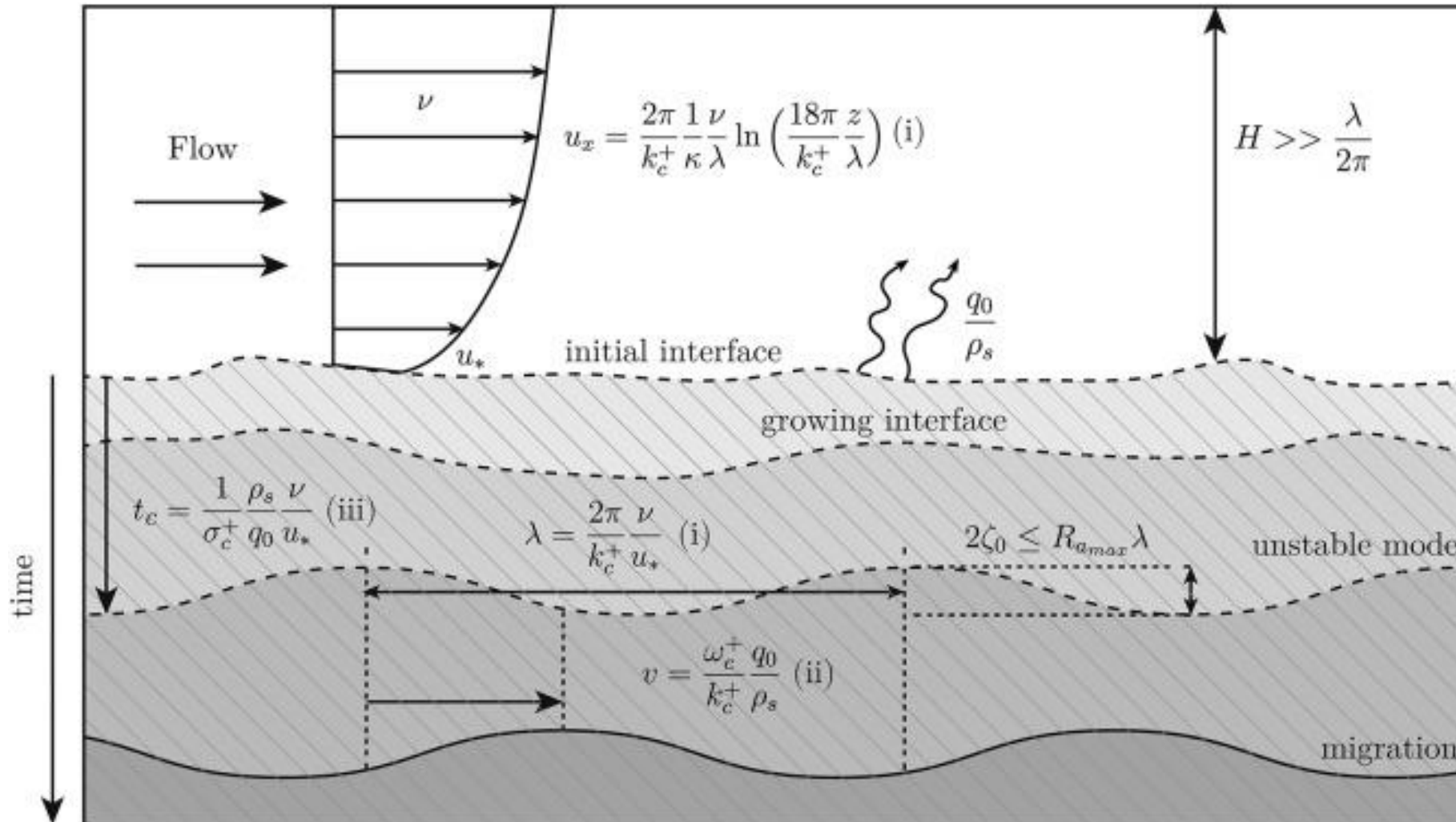
Photo HiRISE (Duran Vinent et al., 2019).

Caméra Malhi, Modifié depuis mars.nasa.gov.

Bordiec et al. 2020

➔ Matériaux et mécanismes d'instabilité différents

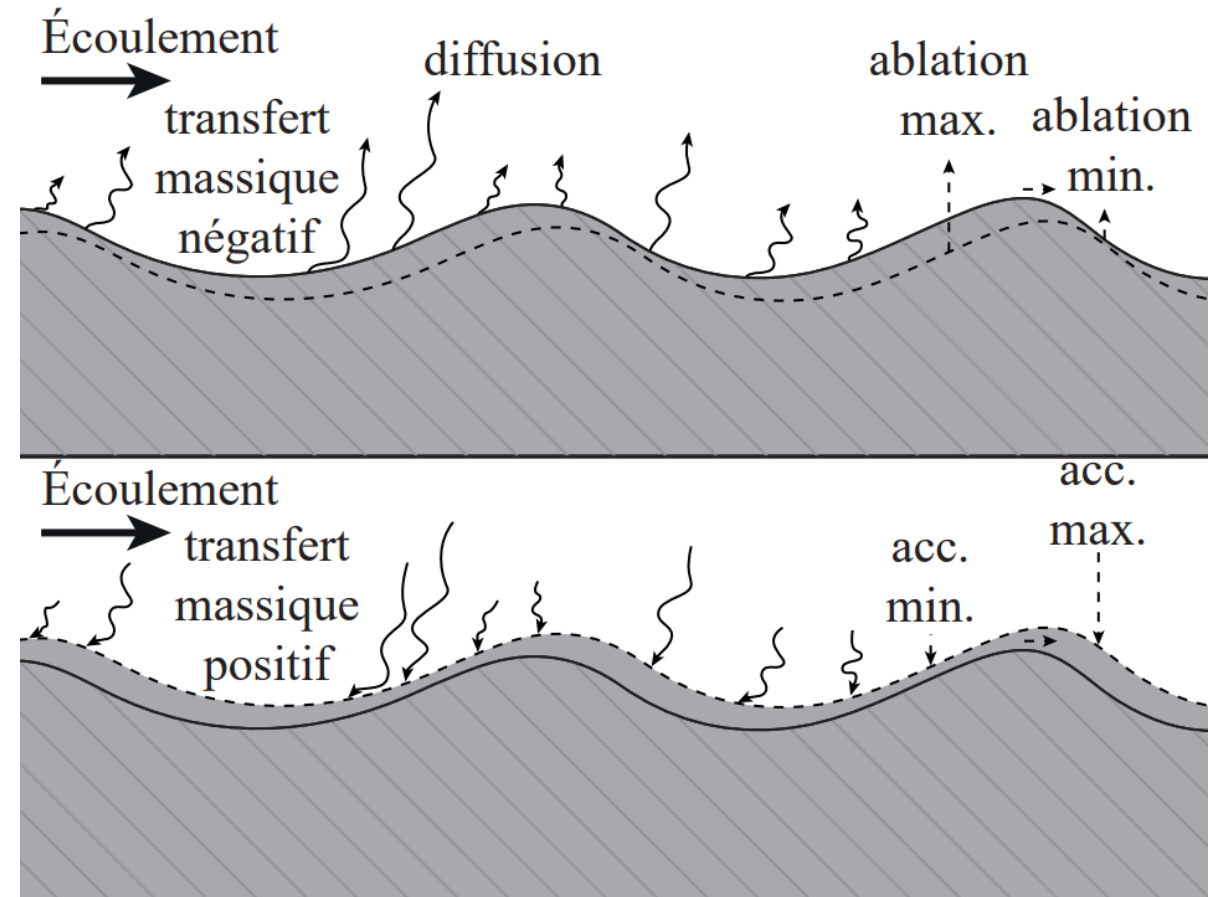
Théorie – Formation d'ondes de sublimation sous un écoulement turbulent de la couche limite



Théorie – Formation d'ondes de sublimation et de condensation

Les travaux de Bordiec et al. 2020 indiquent que les ondulations peuvent se former par :

- Sublimation en régime transitoire
- Condensation en régime laminaire et turbulent
 - En régime laminaire $\lambda_s = 10^3 \lambda_c$ à $10^4 \lambda_c$
 - En régime turbulent $\lambda_c = 10^1 \lambda_s$ à $10^2 \lambda_s$



Thèse M. Bordiec 2020

Théorie – Analyse de stabilité linéaire**Lois de stabilité linéaire de Bordiec et al. 2020 :**

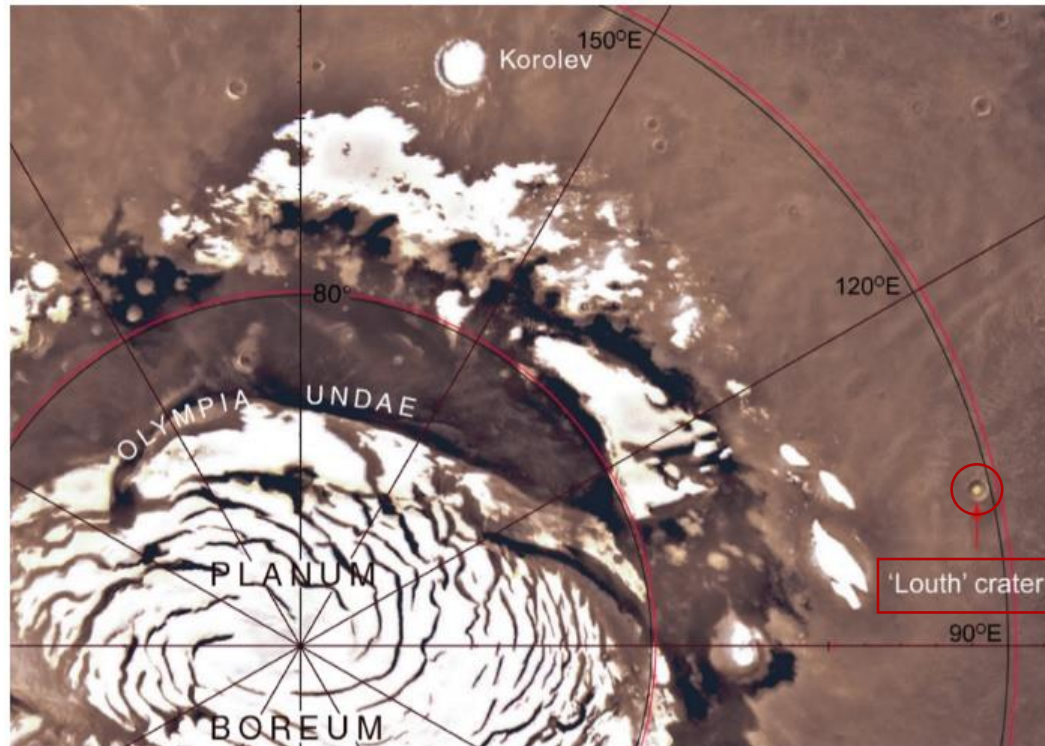
$$\frac{\nu}{u_*} = \frac{k_c^+}{2\pi} \lambda$$

 ν : viscosité du fluide (m²/s) u_* : vitesse de frottement à la paroi (m/s) K_{c+} : nombre adimensionné pour lequel le taux de croissance est maximal $K_{c+(sublimation)} = 6.70 \cdot 10^{-3}$ et $K_{c+(condensation\ turbulent)} = 1.63 \cdot 10^{-4}$ λ : longueur d'onde obtenue depuis l'étude morphologique (m)**Profil d'écoulement logarithmique :**

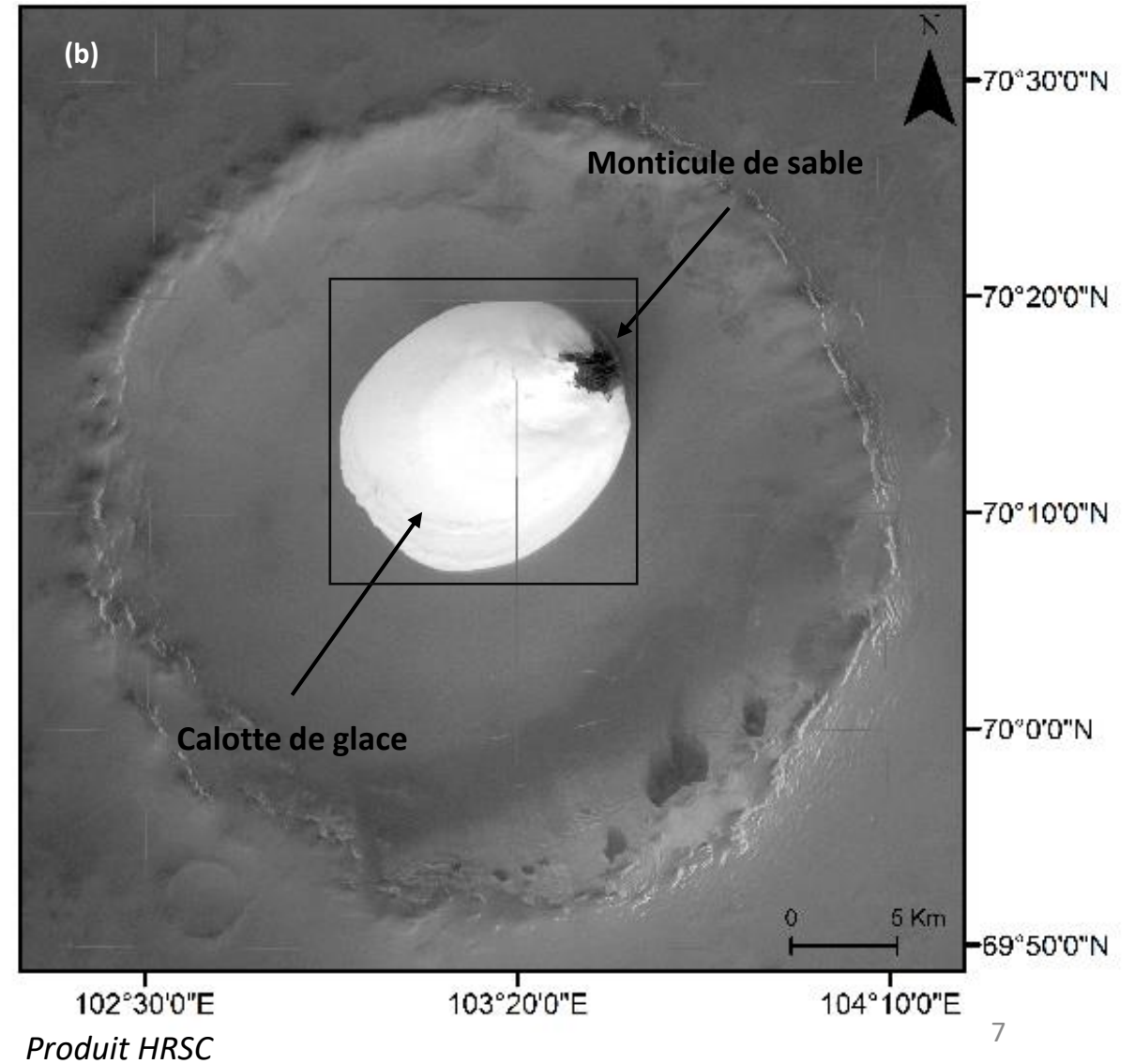
$$u_x(z) = \frac{2\pi}{k_{c+}} \frac{1}{\kappa} \frac{\nu}{\lambda} \ln \left(\frac{18\pi}{k_{c+}} \frac{z}{\lambda} \right)$$

 $u_x(z)$: vitesse de l'écoulement à une altitude donnée (m/s) κ : constante de Von Karman $\kappa = 0.41$ z : altitude considérée ici $z=5m$

Région d'intérêt – Le cratère Louth



Brown et al. 2008.



Analyse géomorphologique – Méthodes de cartographie

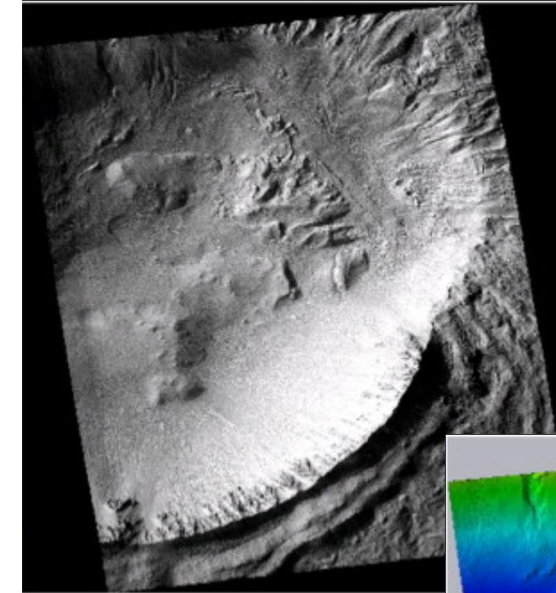
A l'aide d'un Système d'Information Géographique, des données orbitales utilisées :

D'imagerie :

- HRSC (High Resolution Stereo Camera) 20 m / px
- CTX (ConTeXt camera) 5 m / px
- HiRISE (High Resolution Imaging Science Experiment) 25 cm / px

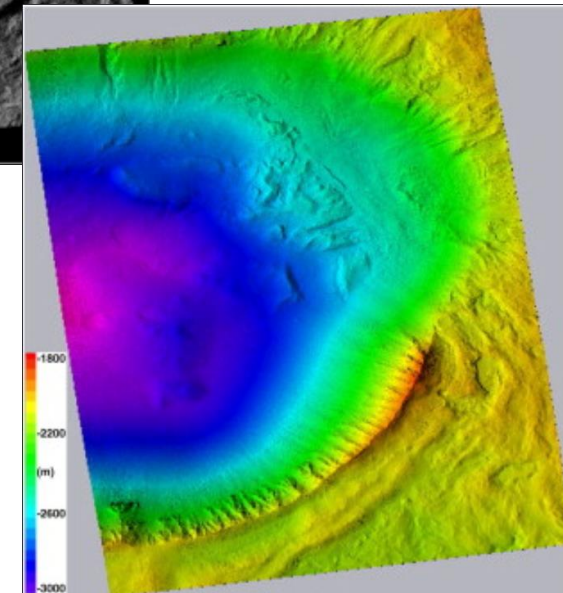
Topographie :

- MOLA (Mars Orbiter Laser Altimeter) 128 px / degré
- Modèle Numérique de Terrain HRSC (100 m / px) et HiRISE (1 m / px)

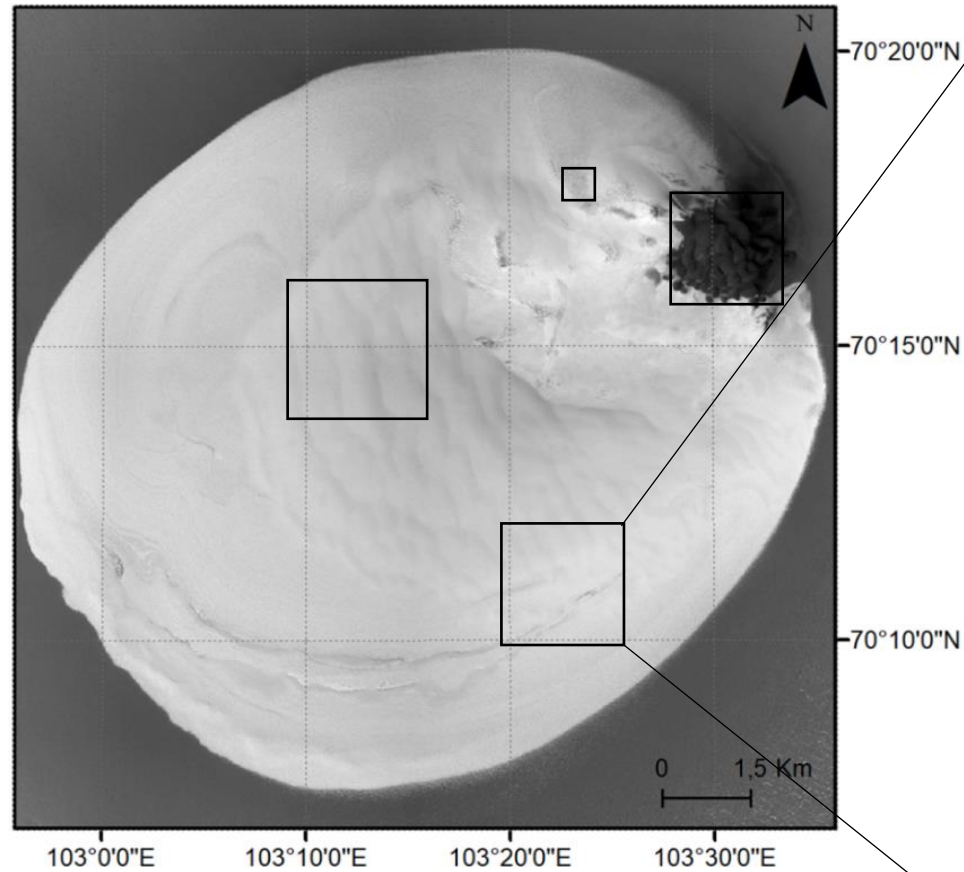


HiRISE et MNT HiRISE

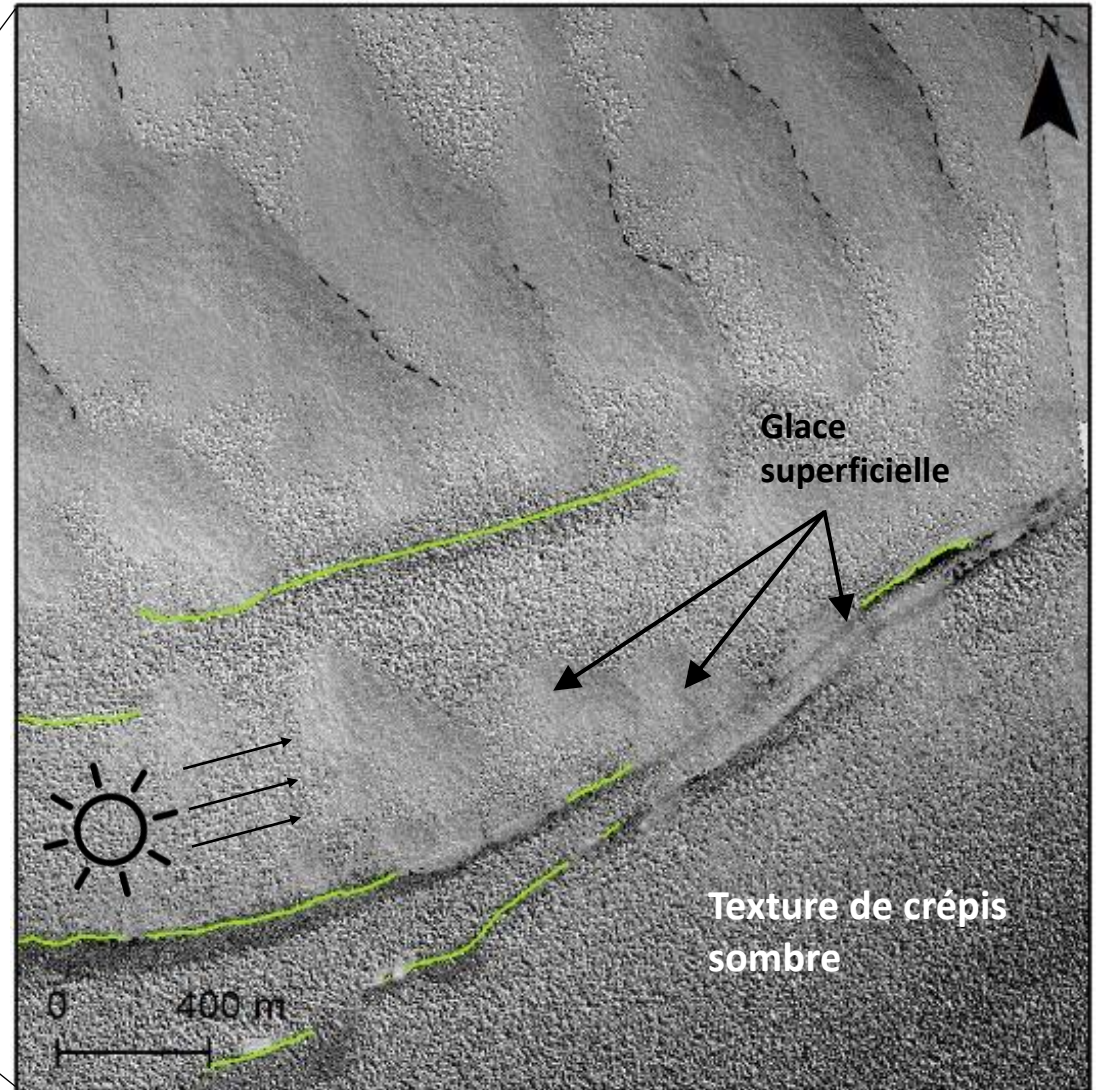
Lin et al. 2010



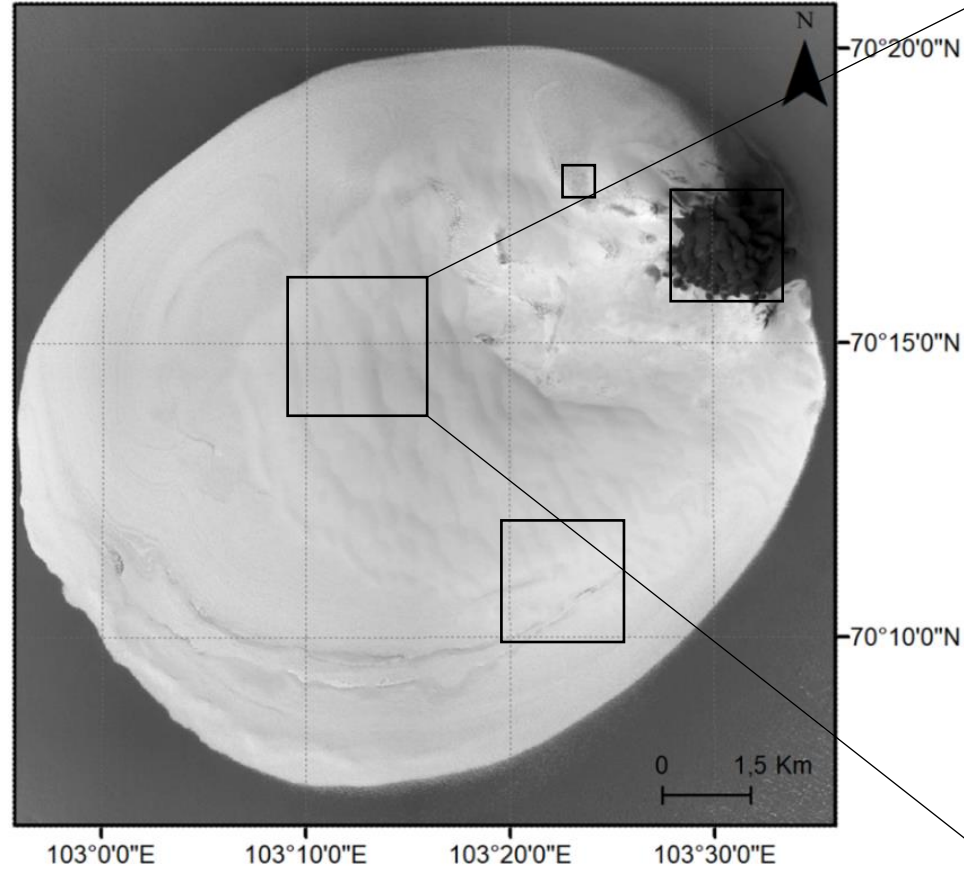
Analyse géomorphologique – Présentation des différents *bedforms*



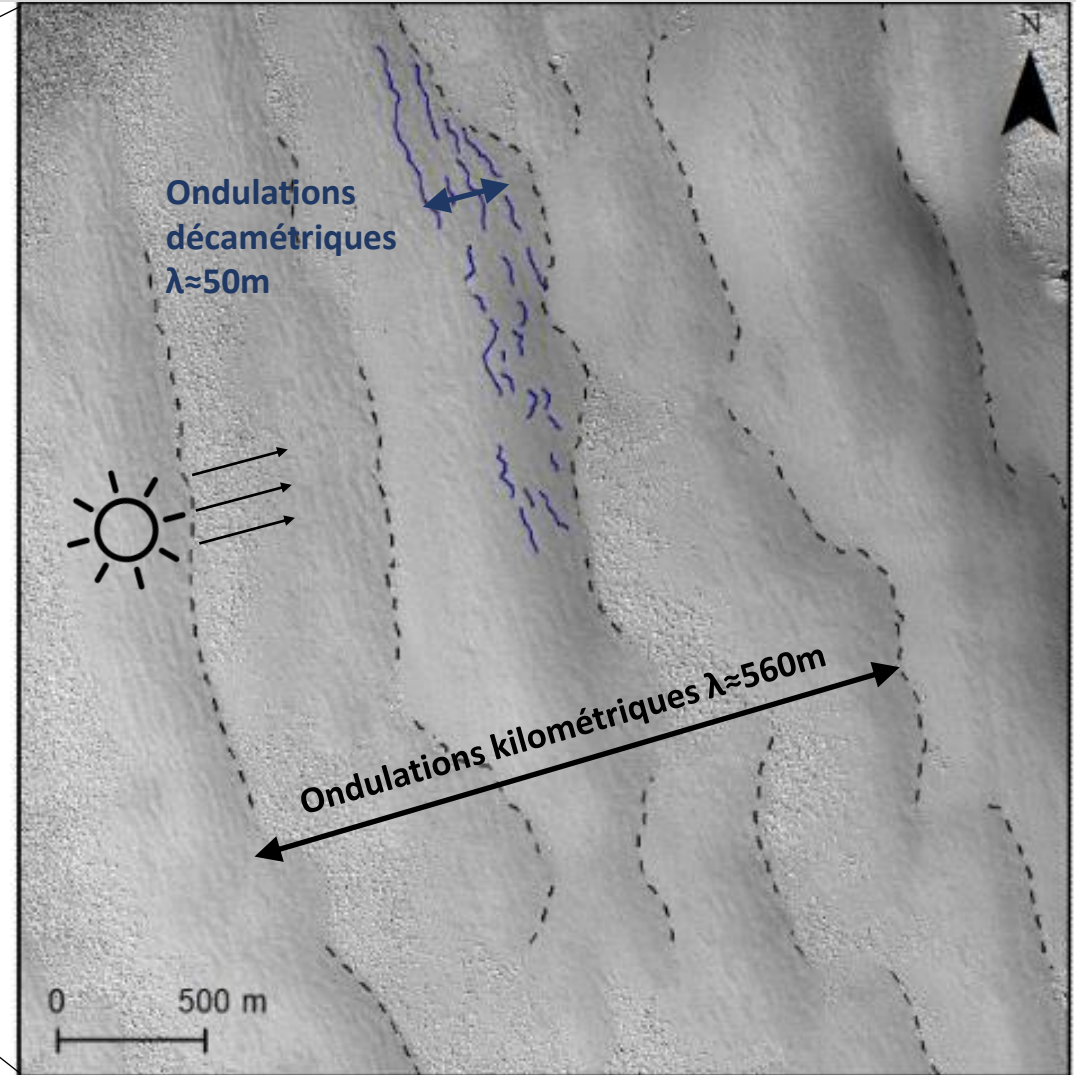
Produit CTX



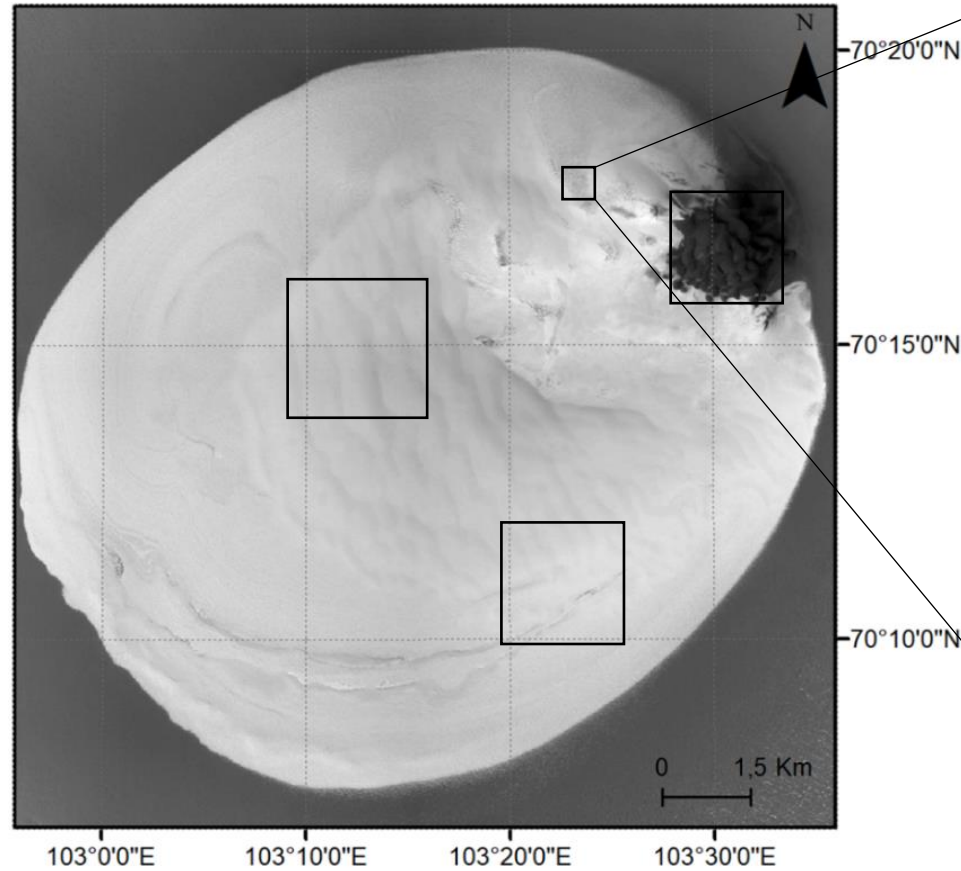
Analyse géomorphologique – Présentation des différents *bedforms*



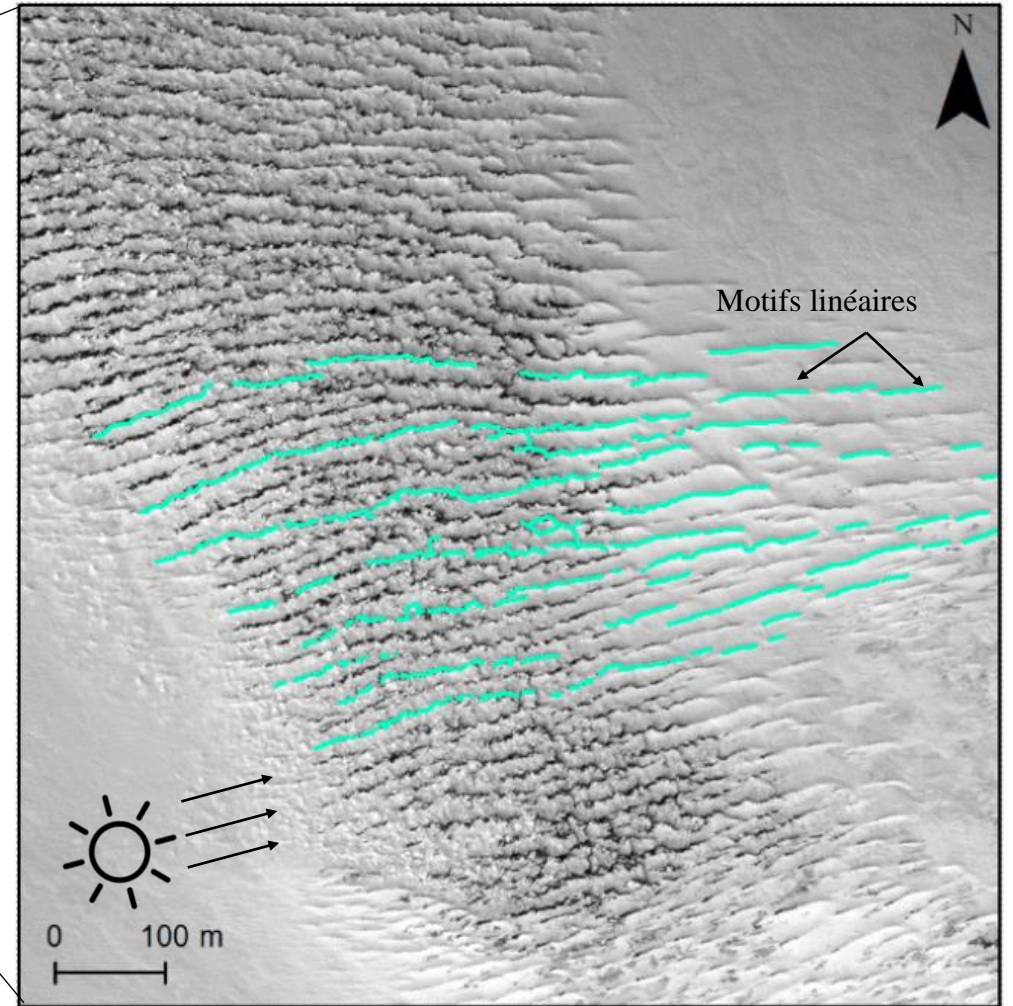
Produit CTX



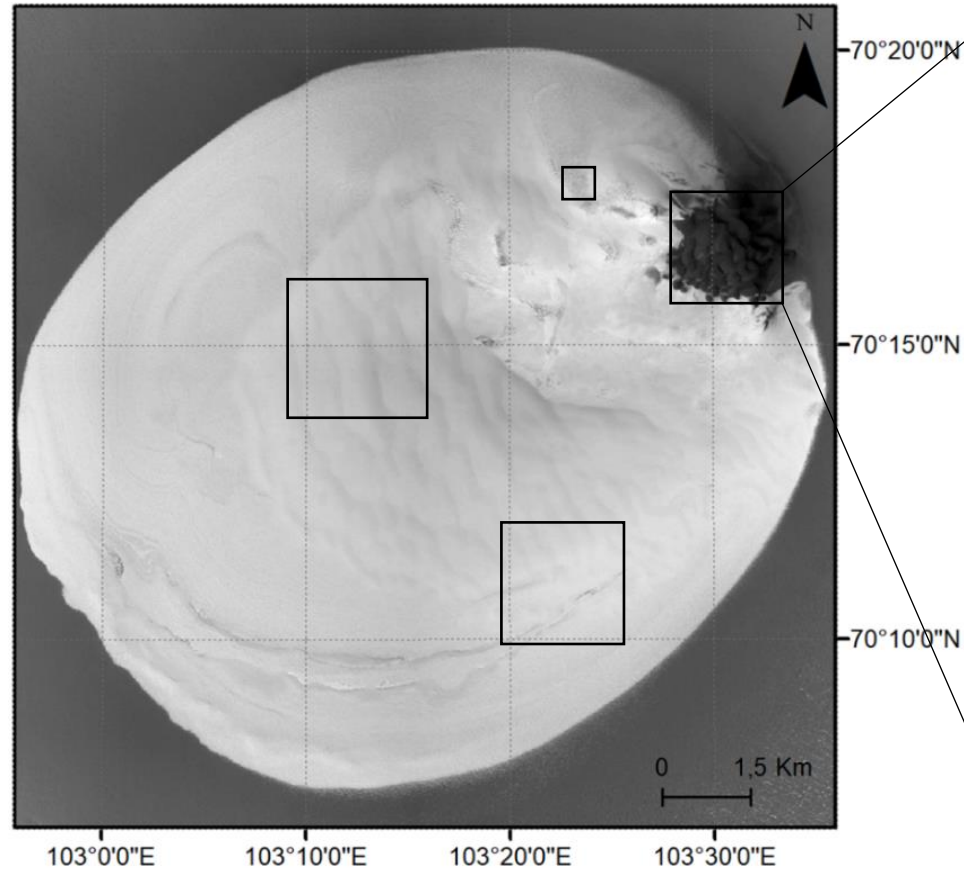
Analyse géomorphologique – Présentation des différents *bedforms*



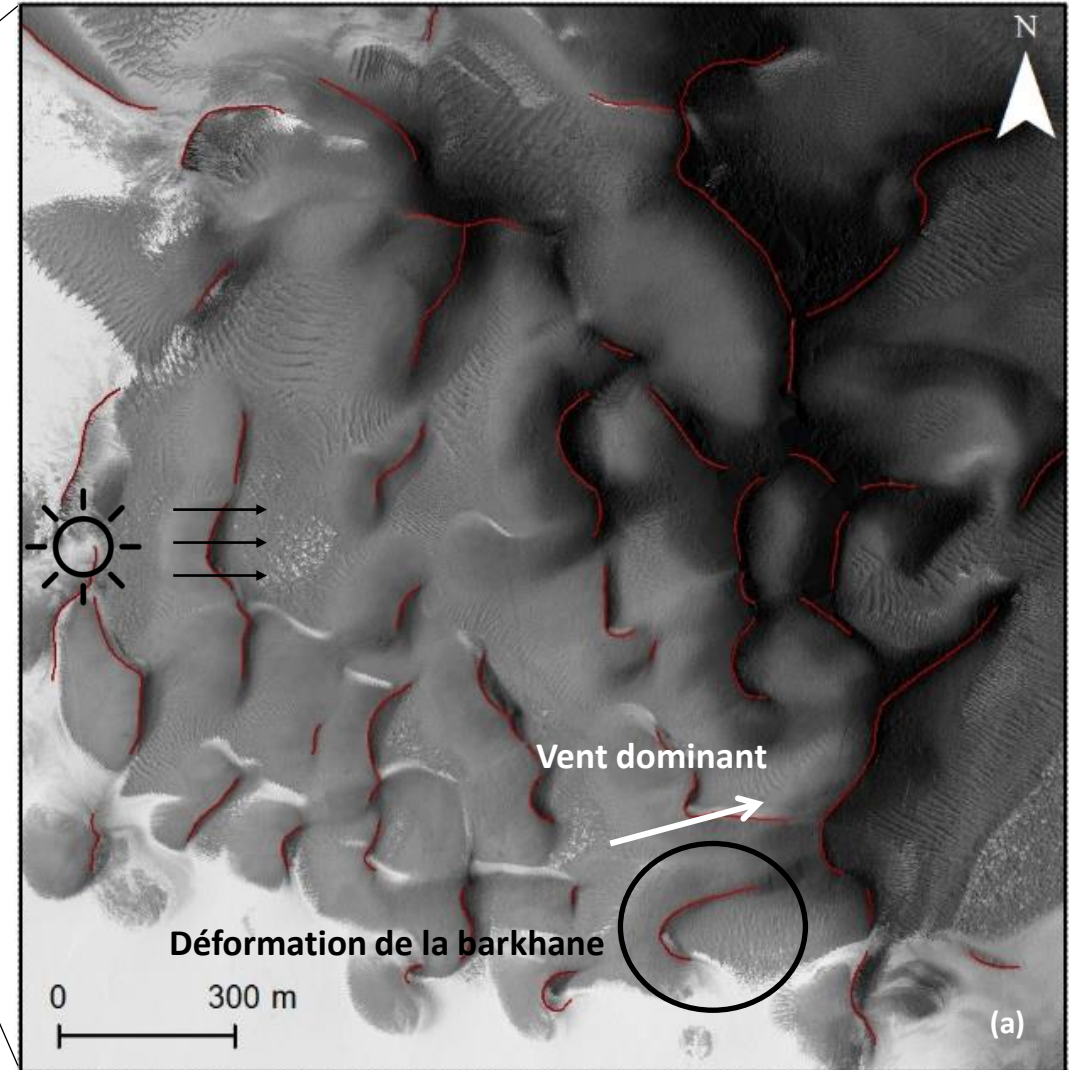
Produit CTX



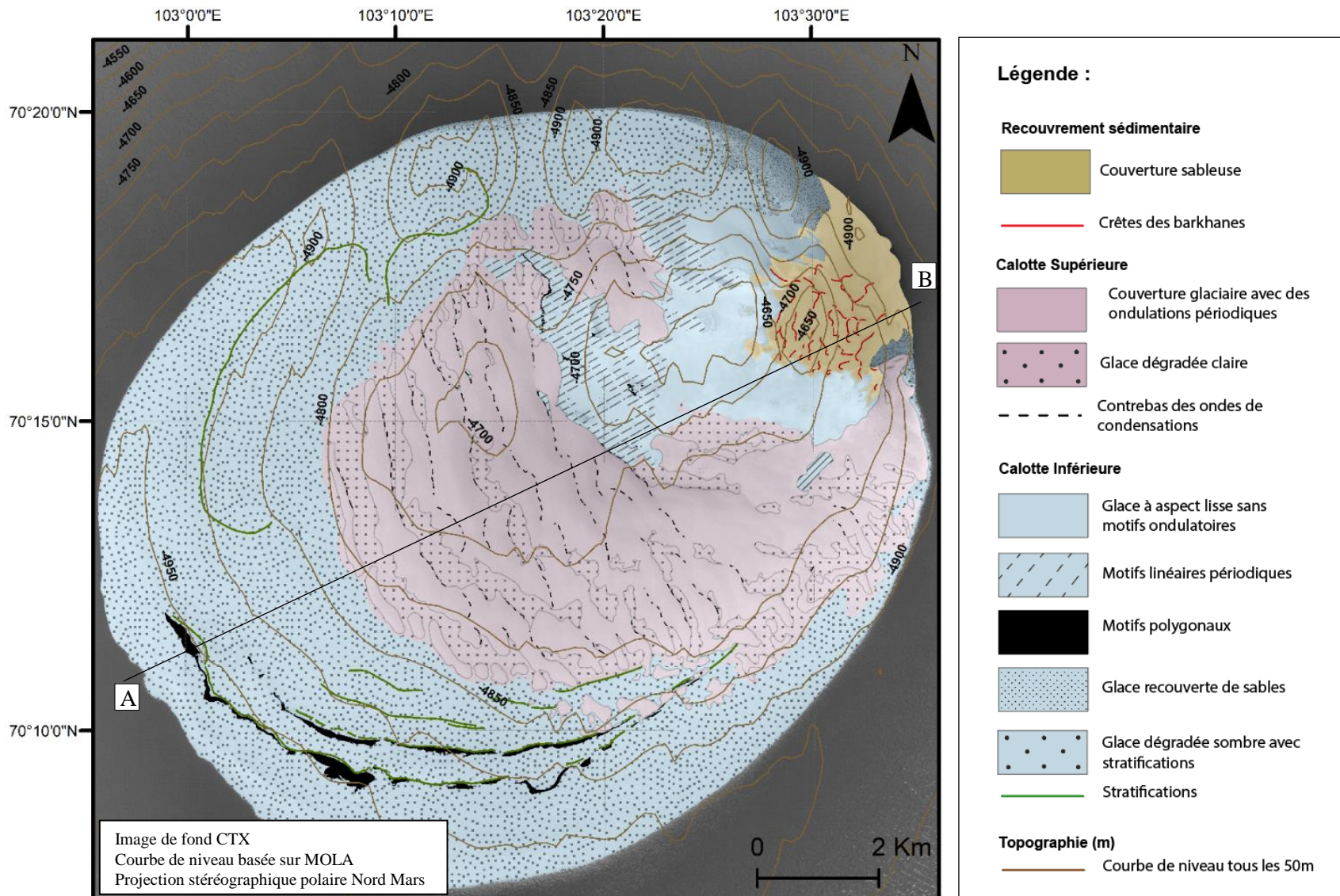
Analyse géomorphologique – Présentation des différents *bedforms*



Produit CTX

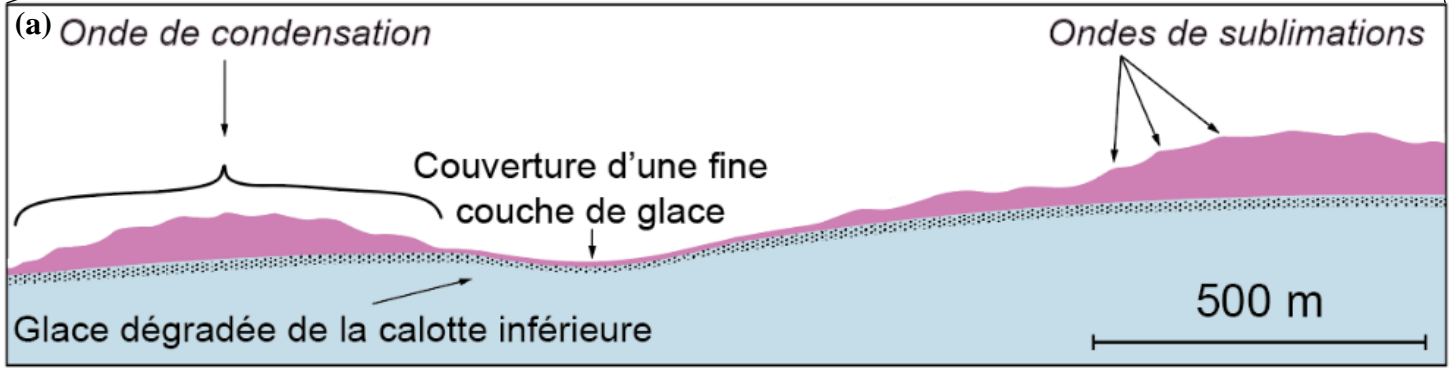
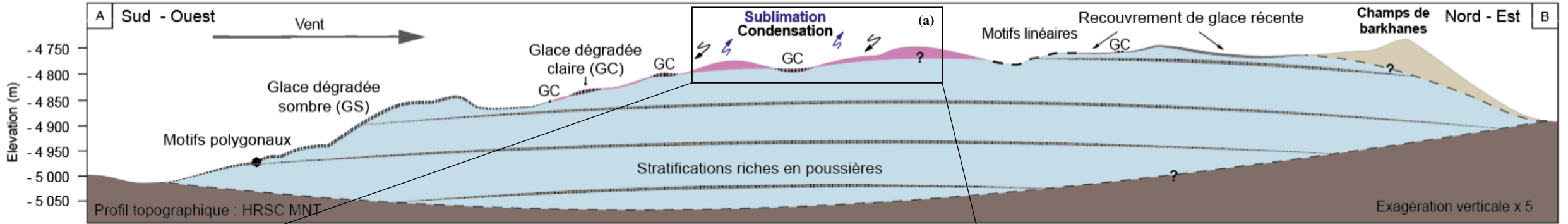


Analyse géomorphologique – Carte géomorphologique de la calotte de glace du cratère Louth

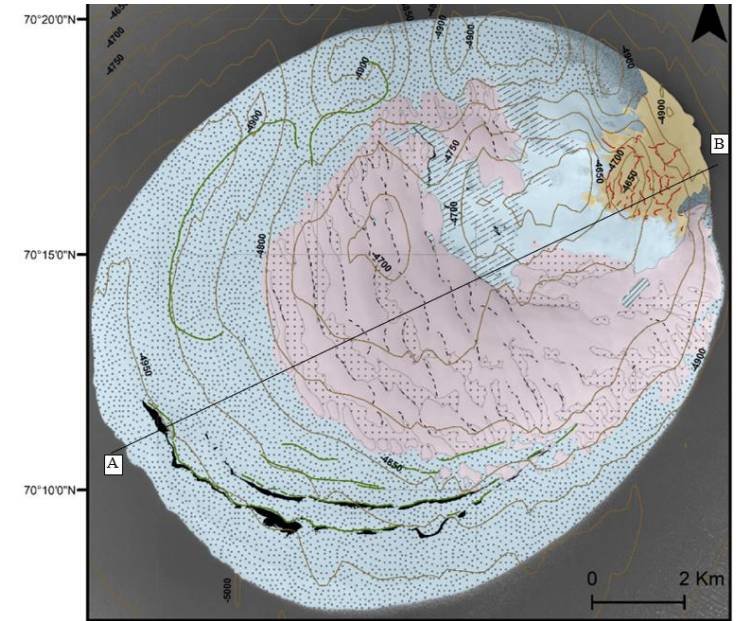


A.Collet et al. In prep

Analyse géomorphologique – Coupe interprétative du cratère Louth



Coupe prise en été basée sur le MNT HRSC. Fond de la carte HRSC. A. Collet et al. In prep



Lois d'échelles – Gammas de valeurs pour lesquelles les ondulations peuvent se former depuis l'analyse de stabilité linéaire

Paramètres	Ondes de sublimations		Ondes de condensations	
	Min	Max	Min	max
λ (m)	30	80	200	900
$\frac{v}{u_*}$ (m)	$3.2 \cdot 10^{-2}$	$8.6 \cdot 10^{-2}$	$5.2 \cdot 10^{-3}$	$2.3 \cdot 10^{-2}$
u_* (m/s)	$6.3 \cdot 10^{-3}$	$1.7 \cdot 10^{-2}$	$2.3 \cdot 10^{-2}$	$1.1 \cdot 10^{-1}$
$u_x(z=5m)$ (m/s)	$1.1 \cdot 10^{-1}$	$2.6 \cdot 10^{-1}$	$5.1 \cdot 10^{-1}$	2.0

Tableau des paramètres depuis les observations et la loi d'échelle de Bordiec et al. 2020.

Sublimation $90^\circ < L_s < 130^\circ$ (Pankine et al. 2010, Brown et al. 2016) : $u_x(z)_{MCD}$ compris entre 1m/s – 8m/s

Condensation $135^\circ < L_s < 164^\circ$ (Pankine et al. 2010, Brown et al. 2016) : $u_x(z)_{MCD}$ compris entre 1m/s – 18m/s

Lois d'échelles similitude et perspectives

Les données climatiques actuelles :

- Ne possèdent pas une résolution suffisamment fine pour la taille du cratère Louth
- Les données de vitesses $u_x(z)$ sont surestimées
- Les effets topographiques ne sont pas pris en compte dans Louth

Les ondes de sublimations et de condensations peuvent servir :

- De marqueurs géomorphologiques
- Pour valider des modèles méso-échelle dans le cratère Louth
- Les modèles pourraient être utilisées dans d'autres cratères aussi petits que Louth
- Et même sur d'autres corps planétaires