

PROPOSITION D'UN PROJET DE THÈSE A L'ÉCOLE DOCTORALE « Écologie, Géosciences, Agronomie, ALimentation »

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Titre de la thèse : contribution de l'Intelligence Artificielle à la CARTographie et à l'analyse des champs de "BEDforms"
Acronyme : IACARTBED
Champ disciplinaire 1 : Géosciences Champ disciplinaire 2 : Choisissez un élément.
Trois mots-clés : Géomorphologie ; SIG ; Intelligence artificielle ;
Unité d'accueil : LPG UMR 6112 Laboratoire de Planétologie et de Géodynamique
Nom, prénom du directeur de thèse (HDR indispensable): MOURGUES Régis Adresse mail : regis.mourgues@univ-lemans.fr Nom, prénom du co-encadrant de thèse 1 (le cas échéant) : BESSIN, Paul Adresse mail : paul.bessin@univ-lemans.fr Nom, prénom du co-encadrant de thèse 1 (le cas échéant) : POCHAT, Stéphane Adresse mail : stephane.pochat@univ-nantes.fr
Financement (origine et montant) : Contrat Doctoral Etablissement
Contact(s) (adresse postale) : paul.bessin@univ-lemans.fr
Mode de recrutement Le mode de recrutement du doctorant dépend de la nature du financement du projet de thèse. Pour identifier le mode de recrutement, veuillez consulter le site web de l'ED EGAAL - cliquez ici . Le projet de thèse ne sera pas publié si cette information est manquante. <input checked="" type="checkbox"/> Concours <input type="checkbox"/> Entretien <input type="checkbox"/> Autre (précisez) :

**Toutes les rubriques de ce document doivent être remplies.
Une fois complété, merci d'enregistrer ce document au format pdf avec le nom suivant :
Nom du Directeur thèse_Unité_Acronyme du sujet_FR.pdf**

DESCRIPTION SCIENTIFIQUE DU PROJET DE THÈSE

Contexte socio-économique et scientifique : (10 lignes)

Basé à Nantes, Angers et Le Mans, Le [Laboratoire de Planétologie et de Géodynamique](#) (LPG – UMR 6112) organise ses actions de recherche autour de 4 thèmes. La thèse se déroulera principalement au Mans (visites et séjours réguliers à Nantes) et s'inscrira principalement dans le thème "Planète Terre" (ouvertures possibles vers les thèmes "Planètes Telluriques" et "Mondes glacés"). Les chercheurs et chercheuses impliqué.e.s dans l'encadrement et les collaborations autour du sujet de thèse coopèrent activement sur des aspects de géomorphologie, sédimentologie et physique des processus au travers de différents projets (e.g. DEFORm 2015-2019, [ANR IceCollapse](#), 2019-2023; [Geoplanet](#) 2017-2019; Appels d'offre CNRS annuels). Une des constantes de ces travaux est la nécessité de cartographier et d'analyser des *bedforms*. Ce terme anglais décrit des morphologies qui se développent à l'interface entre un fluide et un matériau du fait de l'écoulement du fluide et se regroupent généralement dans de vastes champs où elles forment des assemblages de motifs périodiques (Allen, 2004; Marshak, 2019). Nous les connaissons sous différents noms : rides et dunes (transport de sédiments meubles par l'eau/le vent), moraines et linéations (e.g. drumlins, flutes; transport de sédiments meubles par l'eau et la glace) ou encore cannelures (sublimation/précipitation de la glace sous l'action du vent) à la surface de la glace (Figure 1).

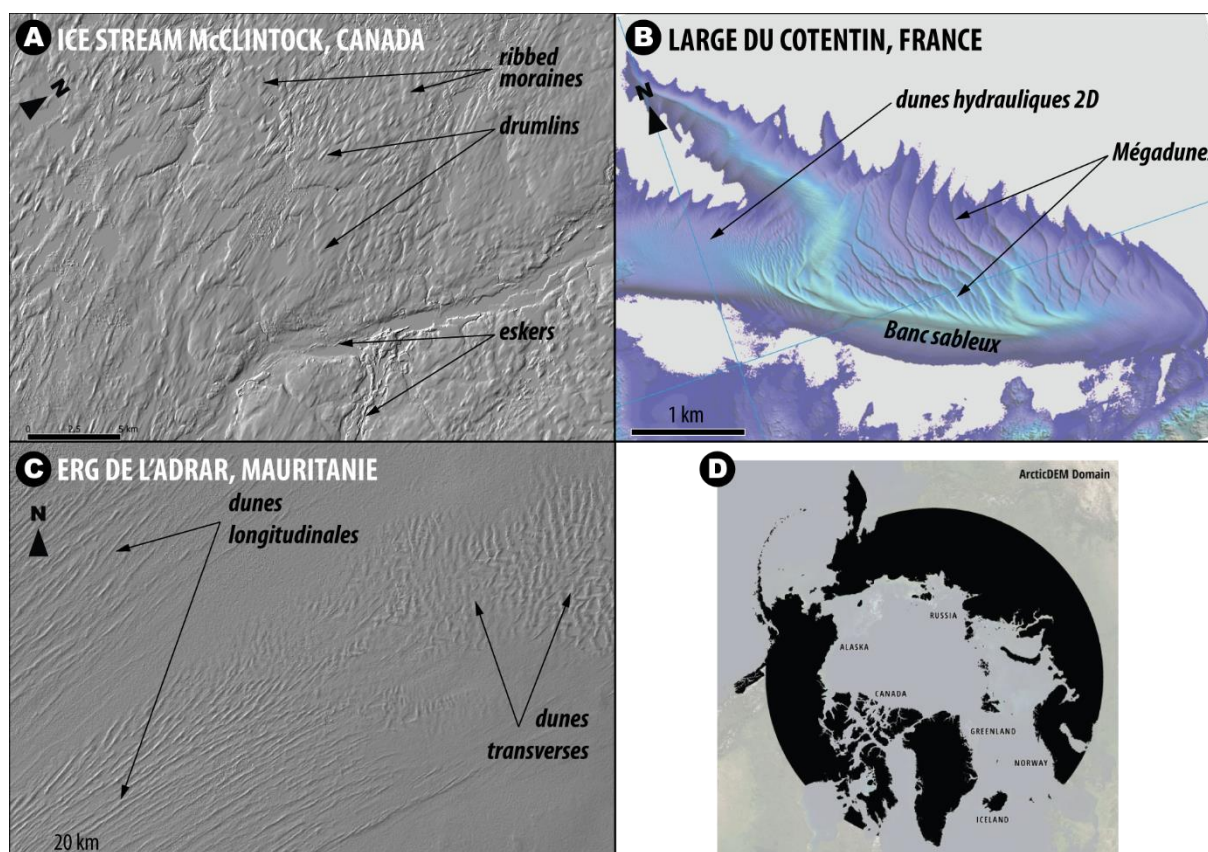


Figure 1 : Illustration de *bedforms* dans différents contextes géomorphologiques (A : sous-glaciaire, B : sous-marin, C : éolien) à partir d'ombrages de MNT (B : bathymétrie décroissante du bleu sombre au crème) et couverture des données MNT ArcticDEM (D) disponibles à une résolution spatiale de 2 m (Sources : A : ArcticDEM (Porter et al., 2018), C : Lidar Normandie Hauts-de-France 2016-2017 V.20180501 ; C : SRTM 1 arcsecond, Jarvis et al., 2008).

Le volume et la résolution importants de données aujourd'hui disponibles pour cartographier ces *bedforms* nécessite de développer des méthodes de cartographies faisant appel à l'Intelligence Artificielle (Apprentissage Machine, Apprentissage profond). Ainsi la thèse portera principalement sur le développement d'un protocole de cartographie (semi-) automatisé de *bedforms* et à son application sur un ou plusieurs cas d'étude de grande échelle (e.g. [grand erg saharien](#) ; *bedforms* sous les paléo-calottes glaciaires, champ dunaire sub-aquatique).

Hypothèses et questions scientifiques (8 lignes)

Les *bedforms* présentent un intérêt scientifique majeur car leurs caractéristiques (e.g. forme, taille, orientation, complexité) dépendent principalement de l'écoulement du fluide (e.g. vitesse, direction(s), variations spatiales et temporelles, turbulence) et qu'elles sont très répandues sur différentes surfaces planétaires dont la Terre. Cartographier les champs de *bedforms* constitue donc un moyen i) de déterminer la dynamique d'écoulement et de proposer des reconstitutions de paléodynamiques (e.g. paléoglacialogie) mais aussi ii) de comprendre leurs modes de formation et leurs relations dans l'espace et dans le temps. Aujourd'hui, de plus en plus de données de topographie (Modèles Numériques de Terrain, MNT) et d'imagerie satellite sont disponibles à des résolutions et pour des zones géographiques toujours plus importantes et constituent une base de données extraordinaire à exploiter (e.g. [ArcticDEM](#), résolution 2 m et 10 m ; Figure 1)(Porter et al., 2018)([RGE ALTI](#)[®], IGN ; données [HiRISE](#) et [HRSC](#)). Cependant, les cartographies des *bedforms* sont très majoritairement réalisées par digitalisation manuelle sous Système d'Information Géographique à partir de MNT, images satellites et de leur dérivés (pente, courbure, etc) ou par analyse pixel simple. La première méthode est très chronophage et sujette à la subjectivité du cartographe tandis que la seconde produit des rendus bruités et présente des difficultés à distinguer des *bedforms* de tailles différentes (Hillier et al., 2015; Wagner, 2018). Cette thèse a pour but i) de lever ces verrous grâce à l'utilisation de l'Intelligence Artificielle (IA) au service de la cartographie géomorphologique pour la communauté scientifique et ii) de produire une à plusieurs études de champs de *bedforms* sur des chantiers terrestres à martiens à partir des outils développés.

Principales étapes de la thèse et démarche (8 lignes)

Afin de développer puis d'appliquer un(des) protocole(s) (semi-)automatique de cartographie des *bedforms*, la personne candidate suivra une démarche de développement puis d'application selon les étapes et objectifs suivants :

- ✓ Synthèse bibliographique des protocoles de cartographie faisant appel à l'IA et formation à l'Apprentissage Machine et Apprentissage profond ;
- ✓ Développement d'un protocole de cartographie des contours et crêtes de *bedforms* (au choix : éolienne, sous-glaciaire, aquatique) par Apprentissage Machine (ou Apprentissage profond) ;
- ✓ Application du protocole développé à un champ de *bedforms* et production d'une cartographie et d'une analyse morphométrique de celles-ci pour i) comprendre et quantifier les relations spatiales entre les morphologies (e.g. amplitudes, longueurs d'ondes, angles) et/ou ii) proposer une interprétation de la dynamique d'écoulement du fluide sur son substratum ;
- ✓ Analyse de la reproductibilité du protocole de cartographie sur d'autres champs de *bedforms* avec un jeu de données similaires ;

- ✓ En fonction des verrous levés et appétences, application et adaptation du protocole : à d'autres types de *bedforms*, à des séries temporelles de données et/ou afin de produire une analyse comparative entre des morphologies terrestres et planétaires.

Au début de la thèse, le/la doctorant.e s'appuiera sur les travaux et résultats de 2 stages de master 2 réalisés au Mans et ayant initié le développement de protocoles de cartographie basés sur la segmentation-classification de données MNT et dérivées (pente, courbure, etc.) pour cartographier des morphologies sous-glaciaires.

Approches méthodologiques et techniques envisagées (4-6 lignes)

D'un point de vue méthodologique, le protocole de cartographie des *bedforms* basé sur l'IA et plus particulièrement l'Apprentissage Machine (*Machine Learning*) impliquera la segmentation de données pixels (MNT et images satellites) puis la classification des objets segmentés à parti de leurs caractéristiques (approche type *OBIA* (*Object-Based Image Analysis*), Figure 2). Ce développement sera préférentiellement réalisé sur le logiciel *eCognition developer* (Le Mans) qui propose de puissants algorithmes de segmentation (e.g. *Multiresolution segmentation*, *Multi-threshold segmentation*) (e.g. Eisank et al., 2014; Middleton et al., 2020) qu'il est notamment possible de coupler à une approche d'apprentissage profond (*Deep Learning*) de type réseau neuronal convolutif (*Convolutional Neural Network, CNN*) (Robson et al., 2020). Divers algorithmes de classification (e.g. *Random Forest*, *K-mean*, *SVM*, *Decision Tree*) seront aussi mis au banc d'essai. En fonction des compétences en programmation, télédétection et SIG de l'étudiant.e, un développement et une intégration sous Python et QGIS (en intégrant les bibliothèques et outils tels Orfeo) pourra être envisagée.



Figure 2 : illustration des principales étapes de l'analyse OBIA sur une image satellite.

Compétences scientifiques et techniques requises pour le candidat

- ✓ Diplôme de master ou ingénieur dans les domaines suivants ou affiliés nécessaire : Géomatique, Sciences de la Terre, Topographie, Géographie physique ;
- ✓ Maîtrise des Systèmes d'Information Géographique (QGIS ou ArcGIS) nécessaire ;
- ✓ Connaissances de base en programmation (Python) fortement appréciées ;
- ✓ Connaissances de base en géomorphologie, sédimentologie et/ou mécanique des fluides appréciées ;
- ✓ Bonne maîtrise (oral et écrit) de l'anglais fortement recommandée ;
- ✓ Permis B recommandé.

Références

- Allen, J.R.L., 2004. Bedform, in: Goudie, A.S. (Ed.), *Encyclopedia of Geomorphology*. Routledge - Taylor and Francis Group, London and New-York, p. 110.
- Eisank, C., Smith, M., Hillier, J., 2014. Assessment of multiresolution segmentation for delimiting drumlins in digital elevation models. *Geomorphology* 214, 452–464. <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2014.02.028>
- Hillier, J.K., Smith, M.J., Armugam, R., Barr, I., Boston, C.M., Clark, C.D., Ely, J., Frankl, A., Greenwood, S.L., Gosselin, L., Hättestrand, C., Hogan, K., Hughes, A.L.C., Livingstone, S.J., Lovell, H., McHenry, M., Munoz, Y., Pellicer, X.M., Pellitero, R., Robb, C., Roberson, S., Ruther, D., Spagnolo, M., Standell, M., Stokes, C.R., Storrar, R., Tate, N.J., Wooldridge, K., 2015. Manual mapping of drumlins in synthetic landscapes to assess operator effectiveness. *J. Maps* 11, 719–729. <https://doi.org/10.1080/17445647.2014.957251>

Jarvis, A., Reuter, H.I., Nelson, A., Guevara, E., 2008. Hole-filled SRTM for the globe, Version 4. CGIAR-CSI SRTM 90m Database. Int. Cent. Trop. Agric. Cali, Columbia. <http://srtm.csi.cgiar.org>.

Marshak, S., 2019. Earth: Portrait of a Planet: 6th Edition. WW Norton & Company, Canada.

Middleton, M., Nevalainen, P., Hyvönen, E., Heikonen, J., Sutinen, R., 2020. Pattern recognition of LiDAR data and sediment anisotropy advocate a polygenetic subglacial mass-flow origin for the Kemijärvi hummocky moraine field in northern Finland. *Geomorphology* 107212.

Porter, C., Morin, P., Howat, I., Noh, M.-J., Bates, B., Peterman, K., Keeseey, S., Schlenk, M., Gardiner, J., Tomko, K., Willis, M., Kelleher, C., Cloutier, M., Husby, E., Foga, S., Nakamura, H., Platson, M., Wethington Jr., M., Williamson, C., Bauer, G., Enos, J., Arnold, G., Kramer, W., Becker, P., Doshi, A., D'Souza, C., Cummins, P., Laurier, F., Bojesen, M.A.-N.S.F.A.-N.S.F., 2018. *ArcticDEM*. <https://doi.org/doi:10.7910/DVN/OHHUKH>

Robson, B.A., Bolch, T., MacDonell, S., Hölbling, D., Rastner, P., Schaffer, N., 2020. Automated detection of rock glaciers using deep learning and object-based image analysis. *Remote Sens. Environ.* 250, 112033. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112033>

Wagner, K., 2018. Geographic information systems and glacial environments, in: *Past Glacial Environments*. Elsevier, pp. 503–536.

ENCADREMENT DE LA THÈSE¹

Nom de l'unité d'accueil : Laboratoire de Planétologie et de Géodynamique LPG UMR 6112	Nom de l'équipe d'accueil : Géosciences Le Mans
Nom du directeur de l'unité : MOCQUET Antoine	Nom du responsable de l'équipe : ZANELLA Alain
Coordonnées du directeur de l'unité : antoine.mocquet@univ-nantes.fr	Coordonnées du responsable de l'équipe : alain.zanella@univ-lemans.fr
Directeur de thèse Nom, prénom : MOURGUES Régis Fonction : Professeur Date d'obtention de l'HDR : 2012 Employeur : Le Mans Université Taux d'encadrement doctoral dans le présent sujet : 40 % Taux d'encadrement doctoral en cours (directions et co-directions) (%) : 80 % Nombre de directions/co-directions de thèse en cours : 2	
Co-encadrant de thèse 1 (le cas échéant) Nom, prénom : BESSIN, Paul Fonction : Maître de conférences Titulaire de l'HDR : <input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non Si oui, date d'obtention de l'HDR : Employeur : Le Mans Université École doctorale de rattachement : EGAAL Taux d'encadrement doctoral dans le présent projet : 30 %	

¹ Dans l'ED EGAAL, si 1 scientifique dans la direction de la thèse = 100% d'encadrement doctoral ; si 2 personnes impliquées dans la direction de la thèse = entre 50% et 70% d'encadrement doctoral pour l'HDR directeur ; si 3 personnes impliquées dans l'encadrement de la thèse : répartition :40% - 30% - 30% de l'encadrement doctoral.

Taux d'encadrement doctoral en cours (directions/co-directions/co-encadrements) (%) : 0 %

Nombre de directions/co-directions/co-encadrements de thèse en cours : 0 %

Co-encadrant de thèse 2 (le cas échéant)

Nom, prénom : POCHAT, Stéphane

Fonction : Maître de conférences

Titulaire de l'HDR : oui non Si oui, date d'obtention de l'HDR :

Employeur : Université de Nantes

École doctorale de rattachement : EGAAL

Taux d'encadrement doctoral dans le présent projet : 30 %

Taux d'encadrement doctoral en cours (directions/co-directions/co-encadrements) (%) : 0 %

Nombre de directions/co-directions/co-encadrements de thèse en cours : 0

Devenir des anciens doctorants du directeur et co-directeur(s)/co-encadrant(s) de thèse (depuis 5 ans)

Compléter les informations suivantes pour chaque ancien doctorant

Nom, prénom : LELANDAIS, Thomas

Date de début et de fin de thèse : 01/10/2015 – 19/12/2018

Direction de thèse : MOURGUES Régis

Emploi actuel, lieu : Ingénieur, ALTRAN, Brest

Contrat (post-doc, CDD, CDI) : CDI

Liste des publications issues de ce travail de thèse : 2

Lelandais, T., Mourgues, R., Ravier, É., Pochat, S., Strzeczynski, P., Bourgeois, O., 2016. Experimental modeling of pressurized subglacial water flow: Implications for tunnel valley formation. J. Geophys. Res. Earth Surf. 121, 2022–2041. <https://doi.org/10.1002/2016JF003957>

Lelandais, T., Ravier, É., Pochat, S., Bourgeois, O., Clark, C., Mourgues, R., Strzeczynski, P., 2018. Modelled subglacial floods and tunnel valleys control the life cycle of transitory ice streams. Cryosph. 12, 2759–2772. <https://doi.org/10.5194/tc-12-2759-2018>

Nom, prénom : LARMIER, Salomé

Date de début et de fin de thèse : 01/10/2016 – 30/06/2020

Direction de thèse : MOURGUES Régis

Emploi actuel, lieu : En recherche d'emploi

Contrat (post-doc, CDD, CDI) :

Liste des publications issues de ce travail de thèse : 1

Larmier, S., Zanella, A., Lejay, A., Mourgues, R., Gelin, F., Geological parameters controlling the bedding-parallel veins distribution from Vaca Muerta Formation cored data, Neuquén basin, Argentina. AAPG bulletin, accepted

Publications majeures des 5 dernières années du directeur de thèse et co-directeur(s)/co-encadrant(s) sur le sujet de thèse :

- Vérité, J., Ravier, É., Bourgeois, O., Pochat, S., Lelandais, T., Mourgues, R., Clark, C.D., Bessin, P., Peigné, D., Atkinson, N., 2020. Ribbed bedforms in palaeo-ice streams reveal shear margin positions, lobe shutdown and the interaction of meltwater drainage and ice velocity patterns. Cryosph. Discuss. 2020, 1–31. <https://doi.org/10.5194/tc-2020-336>
- Lelandais, T., Ravier, É., Pochat, S., Bourgeois, O., Clark, C., Mourgues, R., Strzeczynski, P., 2018. Modelled subglacial floods and tunnel valleys control the life cycle of transitory ice streams. Cryosph. 12, 2759–2772. <https://doi.org/10.5194/tc-12-2759-2018>
- Le Cadre, A., Bessin, P., Kravitz, K., Braun, J., 2019. Think objects, not pixels! Semi-automated object-based analysis for geomorphic identification and mapping from digital elevation data: the case of planation surfaces, in: ASF Association Des Sedimentologues Français. 17ème Congrès Français de Sédimentologie, Beauvais.
- Bordiec, M., Carpy, S., Bourgeois, O., Herny, C., Massé, M., Perret, L., Claudin, P., Pochat, S., Douté, S., 2020. Sublimation waves: Geomorphic markers of interactions between icy planetary surfaces and winds. Earth-Science Rev. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103350>

FINANCEMENT DE LA THÈSE

Origine(s) du financement de la thèse :

Salaire : Contrat Doctoral Établissement (Le Mans Université) 2021-2024 ;
Environnement : Projet BPGO (2021, P. Bessin) ; ANR IceCollapse (2019-2024, E. Ravier) ; LPG (Le Mans) ; dépôts de projets complémentaires (e.g. INSU, ANR) ;

Salaire brut mensuel : 1769 € brut/mois – 1950 € brut/mois (avec mission complémentaire d'enseignement)

État du financement de la thèse : Acquis

Salaire : Acquis
Environnement : partiellement acquis (Projet BPGO, ANR IceCollapse)

Date du début/durée du financement de la thèse : 01/10/2021 – 36 mois

Date : 24/03/2021

Nom, signature du directeur d'unité :

Antoine MOCQUET



Nom, signature du responsable de l'équipe :

Alain ZANELLA



Nom, signature du directeur de thèse :

Régis MOURGUES

