

Demande d'allocation de thèse – école doctorale SEPT.

Sujet proposé : Réponses glaciaires et périglaciaires aux contraintes climatiques contemporaines dans le haut-Arctique européen (Archipel du Svalbard)

Contexte : Le processus d'amplification arctique a pour conséquence le fait que les hautes latitudes septentrionales du globe sont celles qui connaissent actuellement les changements climatiques de la plus grande ampleur (Overland *et al.*, 2018). L'archipel du Svalbard, dans le haut-Arctique européen, est la zone où ces évolutions sont les plus sensibles (Hanssen-Bauer *et al.*, 2019). Ces contraintes climatiques conditionnent très directement les différents compartiments de la cryosphère que sont la neige, la glace et le pergélisol (AMAP, 2017). Les conséquences de ce contexte sur les glaciers polaires sont fortes (Radić *et al.*, 2013) et à mesure que ces derniers reculent les dynamiques périglaciaires prennent de l'importance (Midgley *et al.*, 2018). Les espaces nouvellement déglacés sont soumis à des processus multiples qui affectent parfois de manière drastique la géomorphologie de ces zones (Midgley *et al.*, 2013), et ce d'autant plus que les dynamiques hydrologiques globales sont elles aussi perturbées (Bernard *et al.*, 2018).

Le bassin glaciaire du glacier Austre Lovén, au Svalbard, a fait l'objet de recherches scientifiques françaises et internationales depuis plus de 50 ans (Marlin *et al.*, 2017). Ce site fait aujourd'hui l'objet d'un suivi de long terme en tant que glacier observatoire labellisé nationalement et internationalement et soutenu par l'Institut Polaire Français (Institut Paul-Emile Victor). Les spécificités du site et son instrumentation en continu depuis 2006 en font un terrain privilégié d'expérimentation.

Problématique et objectifs : Dans un contexte de recul généralisé de la cryosphère dans les régions polaires, les dynamiques à l'œuvre à l'interface entre les glaciers et les océans se renforcent. Si ces processus ont des impacts marqués sur les milieux locaux, leurs répercussions ne se cantonnent pas à l'Arctique (augmentation du niveau des mers, augmentation des gaz à effet de serre, rétroactions climatiques à large échelle). Alors qu'ils reculent nettement, les glaciers ne sont plus qu'une des dimensions du problème et les autres compartiments du continuum terre-mer requièrent une attention accrue. C'est donc à ce niveau que réside l'originalité principale du sujet proposé ici : aborder grâce aux développements instrumentaux les plus récents (Lidar, drones, télédétection) des processus encore mal connus et peu étudiés.

Ce projet de thèse vise donc (i) à identifier et quantifier les multiples impacts qu'ont les évolutions climatiques contemporaines sur la cryosphère arctique et (ii) à mettre en évidence les principaux facteurs qui conditionnent ces évolutions pour enfin (iii) les replacer dans le contexte climatique global et en révéler les implications à large échelle.

Plusieurs axes forment le cœur de ce projet de recherche :

- 1. Les modifications en cours dans la morphologie glaciaire jouent un rôle très important dans les processus périphériques. Les glaciers ne reculent pas de manière uniforme. Leur topographie, la rugosité de leur surface, leur sensibilité au manteau neigeux et aux écoulements des eaux de fonte, viennent modifier leur rôle dans le système que constitue le bassin-versant. Quantifier ces évolutions et en mesurer l'impact sur les zones d'interface (versants, front) constitue un préalable important. Cela mettra également en perspective les modifications constatées dans les régimes hydrologiques.
- 2. Les processus géomorphologiques périglaciaires constatés sont de nature et d'amplitude différentes. Alors que les avalanches rocheuses constatées sur les versants qui bordent le glacier sont des événements ponctuels et rapides, elles n'ont pas les mêmes déterminants que la fonte progressive de la glace morte présente dans la moraine. Les techniques de relevé morphologique de précision permettront dans un premier temps d'inventorier et de quantifier les modifications en cours puis dans un second temps de les qualifier afin d'en dresser une typologie.
- 3. Une fois libérées de leur couverture glaciaire, les zones nouvellement apparues n'en restent pas moins soumises à la couverture neigeuse annuelle. En milieu polaire cette dernière joue un grand rôle de stockage et de redistribution de l'eau. Si l'influence du manteau neigeux sur les glaciers est plutôt bien connue, il n'en est pas de même pour les zones plus marginales que constituent les versants et la moraine. L'eau issue de la neige

peut, par regel, figer certaines zones périglaciaires pendant une partie de l'année, mais elle peut également, par écoulement, contribuer à des déplacements de matière (des sédiments notamment).

Données et méthodes : Un vaste corpus de données a été constitué au fil des dernières années grâce notamment à trois programmes financés par l'ANR. Ces données portent sur la climatologie, la glaciologie, la nivologie, l'hydrologie et la géomorphologie du glacier Austre Lovén et de son bassin. Le besoin spécifique lié au relevé et à la quantification des évolutions de surface s'est traduit par la mise en œuvre de mesures novatrices par lasergrammétrie (Lidar) et par photogrammétrie. La quantité de données acquises n'a pour l'heure fait l'objet que d'une mise en valeur partielle et constitue une ressource importante déjà disponible pour la réalisation de la thèse proposée ici.

Dans le cadre de ce doctorat le candidat sera amené à participer à des missions de terrain. Une bonne connaissance du site d'étude est une condition indispensable à la bonne compréhension des processus identifiables à partir des données. Ces séjours seront également l'occasion pour le doctorant de participer activement à la mise en place de nouveaux protocoles d'acquisition de données et de proposer des nouvelles pistes d'analyse. Le programme en cours prévoit par exemple l'utilisation de drones. L'optimisation des possibilités offertes par ces drones et par les nouveaux instruments qu'ils peuvent embarquer (caméra multispectrale, caméra thermique) est un des attendus importants liés à ce travail de thèse.

Au laboratoire, tout l'arsenal méthodologique permettant, depuis la donnée brute en passant par les traitements préparatoires (pouvant nécessiter d'avoir recours au mésocentre de l'université) et menant aux analyses et interprétations finales, sera mobilisé. Le laboratoire Théma, par les personnes-ressources qui y sont présentes, constitue un cadre privilégié pour ce type d'approche.

Résultats attendus : Le traitement des modèles de surface topographique à haute résolution nécessite une approche rigoureuse et une validation stricte. Ce n'est qu'à ces conditions que la détection et la quantification d'évolutions diachroniques peut se faire de manière fiable. Ceci est d'autant plus primordial que certains des processus à l'œuvre n'ont qu'une signature spatiale discrète et peuvent facilement être ignorés par erreur. Tout au long du travail de thèse, une attention toute particulière sera prêtée à la géovisualisation des modèles numériques de surface. Le doctorant sera encouragé à apporter des solutions innovantes permettant une représentation optimale des données, et plus spécifiquement des données en 3D ou pseudo-3D qu'il sera amené à manipuler. Le recours à des outils de réalité virtuelle constitue à ce titre une piste à explorer.

L'axe 1 aura pour résultat principal l'analyse du recul glaciaire et de ses déterminants. Exprimées en valeur absolue de différence d'altitude mais également en équivalent en eau de fonte, ces résultats seront complétés par une analyse approfondie de la topographie de la glace et des tendances que celle-ci révèle. Les tendances glaciologiques révélées montreront en outre la contribution des volumes d'eau libérés à l'élévation du niveau des mers.

L'axe 2 permettra une approche exhaustive des processus périglaciaires qui affectent en permanence la zone d'étude. Les résultats cartographiques seront doublés d'analyses quantitatives de type budget sédimentaire par exemple. L'analyse descriptive sera également importante en cela qu'elle permettra de distinguer des phénomènes qui ont parfois des signatures spatiales similaires sans pour autant être de même nature (fonte de glace morte ou altération du pergélisol par exemple). Ce travail d'inventaire sera complété d'une mise en contexte de chacun des facteurs de changement identifiés dans la typologie proposée, notamment pour les replacer dans le contexte plus global du continuum terre-mer.

L'axe 3 donnera des éléments de compréhension de la contribution du manteau neigeux annuel au bilan hydrologique total du bassin versant. Dans les zones où la couverture neigeuse est la plus hétérogène, en épaisseur et en densité (versants, moraine), une analyse à haute résolution spatiale complétée par des mesures synchrones sur le terrain apportera des informations précieuses sur les interactions complexes entre la topographie locale et la mise en place et la redistribution de la neige. Couplés avec les déplacements sédimentaires ou rocheux constatés, ces résultats viendront révéler l'influence plus ou moins grande et plus ou

moins directe des dynamiques nivologiques sur les dynamiques topographiques. Plus généralement l'augmentation importante des précipitations que connaît actuellement le site d'étude a de multiples conséquences (augmentation des effluents, modification de l'albédo saisonnier, climatologie locale et large échelle) sur lesquelles il conviendra d'apporter des éléments d'analyse.

Environnement scientifique et collaborations : L'équipe du laboratoire Théma travaillant sur les milieux polaires a actuellement un programme en cours permettant le financement de campagnes de terrain pour les 3 prochaines années. Ce soutien est apporté par l'Institut Polaire Français pour les déplacements et la logistique sur place, et par la région Bourgogne Franche-Comté pour les développements instrumentaux et l'équipement technique et scientifique.

Une collaboration en cours avec le laboratoire Femto-ST constitue un appui très important pour tous les développements instrumentaux en cours et à venir.

A l'échelle nationale, un partenariat avec l'IGE de Grenoble porte sur les dimensions nivologiques et hydrologiques abordées par télédétection. La thèse proposée ici s'inscrit naturellement en complément de ces travaux tout en permettant de valider, par des mesures in situ, les protocoles engagés.

Une autre collaboration avec le laboratoire LETG de Nantes porte sur les conséquences côtières et marines des apports en eau douce et en sédiments issus du bassin versant étudié. Là encore la complémentarité entre la thèse ici présentée et ces problématiques est évidente.

La labellisation du site d'étude de l'Austre Lovén au sein de l'infrastructure de recherche OZCAR constitue un gage supplémentaire de pertinence et de légitimité des travaux projetés.

Sur le plan international cette fois, plusieurs des paramètres qui seront abordés dans cette thèse pourront venir abonder les données fournies annuellement par notre équipe à la base de données mondiale des glaciers du WGMS (World Glacier Monitoring Service).

Le contexte très international des recherches menées au Svalbard se matérialise par plusieurs coopérations actuellement en cours entre l'équipe encadrante de cette thèse et des chercheurs étrangers. Nos collègues Autrichiens apportent leur expertise dans les domaines du traitement Lidar et en géomorphologie. Ce sont sur les problématiques glaciologiques que nous travaillons avec nos collègues Norvégiens et Chinois. Cet environnement de travail, très stimulant, constitue un point fort pour le travail et l'insertion future du candidat et nécessitera préférentiellement une bonne maîtrise de l'anglais.

Calendrier de la thèse :

1^{ère} année : Etat de l'art, apprentissage méthodologique et levée des verrous scientifiques. 2 missions sur le terrain.

2^{ème} année : Traitement et analyse des données. Rédaction d'un premier article. 2 missions sur le terrain.

3^{ème} année : Rédaction d'un second article. Rédaction du mémoire de thèse. Soutenance.

Références bibliographiques :

- Overland, J., Dunlea, E., Box, J.E., Corell, R., Forsius, M., Kattsov, V., Olsen, Morten, Skovgå., Pawlak, J., Reiersen, L.-O., Wang, M.: The urgency of Arctic change, *Polar Science* (2018)
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E.J., Hisdal, H., Mayer, S., Sandø, A.B., Sorteberg, A. (Eds): *Climate in Svalbard 2100 – a knowledge base for climate adaptation*. NCCS report no. 1. Norwegian Environment Agency (2019)
- AMAP: *Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA)*. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway (2017)
- Radić, V., Bliss, A., Beedlow, A.C., Hock, R., Miles, E., & Graham Cogley, J.: Regional and global projections of twenty-first century glacier mass changes in response to climate scenarios from global climate models. *Climate Dynamics*, 42(1–2), 37–58 (2013)
- Midgley, N.G., Tonkin, T.N., Graham D.J., Cook, S.J.: Evolution of high-Arctic glacial landforms during deglaciation, *Geomorphology*, Volume 311, 63–75 (2018)
- Midgley, N. G., Cook, S. J., Graham, D. J., & Tonkin, T. N.: Origin, evolution and dynamic context of a Neoglacial lateral-frontal moraine at Austre Lovénbreen, Svalbard. *Geomorphology*, 198., 96–106 (2013)
- Bernard, E., Friedt, J.M., Schiavone, S., Tolle, F., Griselin, M.: Assessment of periglacial response to increased runoff: An Arctic hydrosystem bears witness. *Land Degrad Dev.* 1–12 (2018)
- Marlin, C., Tolle, F., Griselin, M., Bernard, E., Saintenoy, A., Quenet, M., Friedt, J.-M.: Change in geometry of a high Arctic glacier from 1948 to 2013 (Austre Lovénbreen, Svalbard). *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, February. Taylor & Francis, 1–24 (2017)

Encadrement :

Daniel Joly : Directeur de recherche au CNRS. Géographe climatologue. Responsable de l'équipe Paysage et cadre de vie du laboratoire Théma. Compétence reconnue dans le développement de méthodes novatrices d'analyse de données spatiales. Expérience des recherches en milieux polaires avec 21 missions de terrain menées au Spitsberg.

56 articles dans des revues à comité de lecture. 15 chapitres d'ouvrage. 37 communications dans des congrès.

Direction de thèse :

Erika Upegui Cardona – Thèse soutenue.

Sophie Schiavone – Thèse en cours.

Examineur ou rapporteur de 9 jurys de thèse.

Florian Tolle : Maître de Conférences en géographie au laboratoire Théma. Responsable de la licence de géographie et aménagement. Responsable du projet ANR Jeune Chercheur PRISM (Permafrost Rock Ice and Snow Monitoring) 2013-2016. Spécialisé en analyse spatiale et géostatistiques. En charge des recherches actuellement menées au Spitsberg en collaboration avec Eric Bernard, Chargé de Recherche CNRS au laboratoire Théma. Impliqué dans plusieurs projets internationaux de recherche polaire. Responsable de missions de terrain en collaboration avec l'Institut Polaire Français. 18 missions de terrain menées au Spitsberg depuis 2004.

11 articles dans des revues internationales à comité de lecture. 4 chapitres d'ouvrage. 52 communications dans des congrès.

Co-encadrement de thèse : Sophie Schiavone – Thèse en cours.

Encadrement de plusieurs stages de M2 Recherche.

Encadrement de nombreux mémoires de M1.