

# Sur les traces de Paul-Emile Victor, relevés topographiques 3D au Groenland

■ Farouk KADDED – Luc MOREAU

*Expédition multidisciplinaire au Groenland en août 2013, dont une mission topographique sur le suivi de l'écoulement du glacier "Eqip Sermia", à l'aide de mesures sur cibles et sur séracs\*. Ces mesures ont permis de mettre en évidence des vitesses d'écoulement du glacier de 6 m par jour, des vitesses aussi rapides qu'en 1950 malgré le recul du glacier. Puis réalisation de la numérisation 3D de la cabane Paul-Emile Victor dans le cadre d'un projet de rénovation. Enfin, première réalisation d'un relevé 3D d'un moulin\* de glace sur l'inlandsis\* Groenlandais. Ce test positif va permettre l'étude de la formation et la déformation d'un moulin fossile. L'ensemble des mesures ont été réalisées avec une Multistation MS50 de Leica Geosystems. Aventure humaine et technique dans une région sentinelle du changement climatique.*

## MOTS-CLÉS

Multistation, Groenland, glacier, scan, mesure, moulin, Paul-Emile Victor, expédition polaire française, GPS, imagerie, topographie, climat

Aujourd'hui, presque tous les glaciers de montagne se réduisent pour retrouver un minimum non connu depuis le Moyen Age voire l'époque romaine ! On remarque surtout un processus nouveau qui intervient depuis une quinzaine d'années, bien plus important en termes de volume, la fonte de l'inlandsis groenlandais et l'accélération de l'écoulement vers la mer des glaciers. Ce phénomène est suivi aujourd'hui grâce aux images satellites d'interférométrie radar mais afin de préciser ces tendances, il devient essentiel de mesurer sur le terrain ce qui se passe réellement.

En termes de remontée du niveau des mers, il est donc très important de surveiller cette évolution au Groenland, car elle est le défi du climat futur.

Luc Moreau, glaciologue à Chamonix, travaille depuis 3 ans sur le glacier Eqip Sermia du Groenland (voir figure 2), reconnu pour rencontrer une phase d'accélération importante. Afin de mesurer de manière précise les vitesses d'écoulement du glacier, Luc Moreau m'a demandé de participer à l'expédition 2013 et de l'accompagner dans cette mission.

## Les objectifs du projet

Cette année, l'expédition s'est élargie à l'occasion de la réalisation d'un film documentaire par la production Mona Lisa pour Arte TV et comptait aussi dans ses rangs l'équipe de spéléologues des glaces *Spélé'ice*.

Au fur et à mesure que le projet se mettait en place, d'autres objectifs se sont greffés. Les protagonistes de l'expédition souhaitaient profiter d'un topographe et de ses outils technologiques de toutes dernières générations dans ces régions reculées du monde si peu topographiées avec précision.

Dans le cadre du projet de rénovation de la cabane de Paul-Emile Victor dit

## Introduction

Le Groenland fait partie du royaume du Danemark (figure 1). C'est un des pays les moins peuplés du monde avec 56 500 habitants.

En quelques chiffres, l'inlandsis (ou calotte glaciaire) est l'immense nappe de glace qui recouvre 84 % de son territoire, soit 1,8 million de km<sup>2</sup>. En quelques chiffres, l'inlandsis du Groenland s'étend sur 2 400 km du nord au sud, et 1 000 km dans sa plus grande largeur d'est en ouest. Il représente 8 % de la totalité d'eau douce du globe terrestre. L'altitude moyenne du

glacier est de 2135 m, avec une épaisseur de glace pouvant atteindre jusqu'à 3 500 m.

Si les glaciers sont les éléments naturels les plus réactifs au climat, il n'est pas pour autant si facile d'interpréter leurs variations, et encore moins de prévoir leur évolution dans un futur proche. Pourtant, il s'agit bien de ces glaciers, et de ceux du Groenland en particulier, dont dépend l'élévation du niveau des océans, qui pourrait générer le déplacement de millions de personnes sur la planète. Etudier les glaciers et mesurer leurs variations est donc aujourd'hui une activité cruciale face aux modifications des conditions climatiques et géographiques.

Même s'il est vrai que des périodes plus chaudes que celle que nous vivons actuellement ont existé par le passé avec des glaciers plus réduits et des niveaux des mers plus élevés de quelques mètres, mais c'était sans compter les 6,5 milliards d'êtres humains peuplant le globe terrestre, dont 3 milliards vivant sur les côtes ! Aujourd'hui, quand on parle de changements climatiques et de montée du niveau des océans, on se tourne vers la réserve naturelle qui produira ce surplus d'eau : la glace terrestre.



Figure 1. Le Groenland



PEV, la numérisation 3D de cette base qui se trouve à Port Victor, à proximité du glacier Eqip Sermia fut donc le second objectif. Cette cabane en bois était le camp de base des expéditions polaires françaises (ainsi que notre réfectoire au quotidien), mais depuis la fin des expéditions PEV, cette dernière se décrépit par les conditions climatiques rudes, et tombe en ruine. Marc Henry (avocat à Paris) mène depuis trois ans un projet de rénovation de ce symbole des relations entre le Groenland et la France afin de faire perdurer l'esprit scientifique et explorateur de ces expéditions qui ont permis de positionner les stations centrales sur l'inlandsis, enjeu actuel et mondial des connaissances des climats passés.

Grâce à la participation de l'association *Spélé'ice*, le projet d'expédition comporte aussi un volet d'exploration des moulins de glace sur la calotte glaciaire. Afin d'apporter de nouveaux supports pour la compréhension de la formation des moulins et l'analyse de leurs déformations au cours du temps, nous allons réaliser la topographie 3D d'un moulin, troisième objectif de cette exploration polaire.

## Résumé des objectifs à atteindre :

- 1- Mesures et analyse de la vitesse d'écoulement du glacier Eqip Sermia
- 2- Numérisation 3D de la Cabane Paul-Emile Victor dans le cadre de son projet de rénovation
- 3- Topographie d'un moulin de glace

## Requis et matériel nécessaires

Afin de répondre à ces objectifs, il fallait prévoir un appareil pour mesurer des distances longues (1 à 2 km) sans réflecteur sur des séracs de glaces et numériser en 3D une cabane puis un moulin de glace, le tout positionné par GNSS pour un géoréférencement mondial. La logistique pour une telle expédition représente un enjeu majeur, l'ensemble du matériel étant porté à dos d'homme, il est donc impératif de réduire les charges au maximum afin de pouvoir agir rapidement et se déplacer facilement. Le choix s'est donc porté



Figure 2. Cartographie du Groenland

sur la Multistation MS50 de Leica Geosystems pour réaliser les mesures d'écoulement du glacier, la numérisation 3D et le positionnement GNSS. La polyvalence, les performances et la fiabilité de cet appareil représentaient un atout pour moi : 7 kg de concentré de technologie mis à l'épreuve du vent, du froid, transporté en voiture, 4 x 4, avion, bateau, hélicoptère et enfin, sur mon dos.

### Liste du matériel utilisé (40 kg) :

- Capteur Leica GS10 base GNSS temps réel, tri-fréquence et radio UHF
- Antenne Leica GS14 mobile GNSS temps réel à intégrer sur la Multistation ou seule sur une canne

- Multistation Leica MS50
- Ensemble des accessoires : trépieds, embases, batteries, chargeur, ordinateur, etc.

L'expédition des 14 participants s'est déroulée du 18 août au 4 septembre 2013. Le cheminement fut long avec un premier vol depuis Paris pour Copenhague, puis le lendemain un deuxième vol pour Kangerlussuaq, et pour finir avec un troisième vol pour Illulissat, où nous avons passé une nuit. Ensuite, ce sont sept heures de bateau à travers les icebergs pour atteindre la baie de De Quervain puis Port Victor et découvrir enfin le glacier de l'Eqip Sermia.



Figure 3. 1948 A. Nièvre avec l'instrument wild T2

## Mission Eqip Sermia

### ■ Historique Eqip Sermia

- **1912** : Une première expédition Suisse menée par A. De Quervain avait initié les observations de la région et des photos du glacier.
- **1920** : Expédition "Mercanton"
- **1928** : Expédition américaine "Marion", à but d'étude océanographique.
- **1929** : Expédition Allemande "A. Wegner", avec un glaciologue Dr Sorgue.
- **1948 à 1953** : Albert Bauer, chef de la section géodésie des expéditions polaires françaises avait effectué des mesures topographiques sur le glacier Eqip Sermia qui fait face au point de débarquement de "Port Victor". L'ensemble de ces mesures angulaires ont été réalisées avec un Wild T2 pour calculer les vitesses d'écoulement du glacier. (voir figure 3 et figure 4)

### Et maintenant ?

L'étude du glacier d'Eqip Sermia est de premier ordre car on dispose d'un historique de mesures que nous pouvons ainsi utiliser et poursuivre 60 ans après. Ce glacier a été décrit, exploré et mesuré par les Expéditions Polaires Françaises (EPF) de 1947 à 1960 qui ont établi leur base Port Victor au fond de la Baie, lieu de départ des traversées de la calotte glaciaire.

Le glacier Eqip Sermia (littéralement "commisure" des lèvres) se jette en mer au fond de la baie De Quervain sur



Figure 4. 2013 F. Kadded avec la Leica Multistation

la côte ouest du Groenland vers 69° 5' N. Il fait partie des émissaires glaciaires importants de ce secteur ouest qui évacue par gravité le trop plein de glace qui se forme sur l'inlandsis groenlandais. Suite au réchauffement climatique actuel, il est constaté, grâce aux images satellitaires (interférométriques, E. Rignot, 2012) que tous les glaciers à front de vêlage\* du Groenland s'écoulent plus rapidement depuis une quinzaine d'années. En parallèle, on note de forts retraits en longueur alors que généralement, des vitesses d'écoulement plus rapides sont remarquées plutôt lors de crues glaciaires avec avancées de fronts.

Luc Moreau étudie depuis trois ans, dans un contexte global de remontée du niveau des mers et de changement de salinité, l'évolution annuelle de la dynamique du glacier Eqip Sermia (longueur et vitesse d'écoulement) grâce à différentes méthodes : photographique et topographique. Il s'intéresse aussi à l'impact local quant aux tsunamis créés par d'importants vêlages d'iceberg qui engendrent des dangers pour les activités maritimes (pêche et tourisme) et les populations groenlandaises.

L'étude photographique consiste en la pose d'appareil photo pour des prises de vue par intervalles réguliers ou timelapse. Ces appareils photos sont très utiles pour comprendre la dynamique globale du glacier et se rendre compte

des changements entre deux visites, soit une année. Il est même possible aujourd'hui de suivre des balises ou fanions posés sur le glacier avec des photos prises à différents moments dans le temps. Depuis août 2012, l'appareil photo réalise des clichés quotidiennement, qui ont été regroupés pour réaliser le film "timelapse\* 2012".

Cependant, ce type d'opération prend toute son ampleur lorsqu'il est accompagné de mesures topographiques précises pour quantifier vitesses et déplacements.

En 2012, Luc Moreau avait réalisé seul quelques mesures avec un GNSS Leica Uno à des intervalles de 24 h et avait constaté un écoulement de 3 m par jour. S'il est relativement facile de mesurer des points topographiques sur les glaciers alpins qui ne se déplacent que de quelques centimètres par jour, cela devient acrobatique et dangereux lorsqu'on doit serpenter sur un glacier qui se déplace de plusieurs mètres par jour, avec une fracturation intense !

### ■ Mesures de la vitesse d'écoulement du glacier

La première étape a consisté à trouver un point de référence GNSS pour la zone de travail (7 km x 4 km) et de lancer un enregistrement de données brutes afin de pouvoir rattacher ce travail aux référentiels mondiaux. Pour cela, un GNSS Leica GS10 a fonctionné pendant 36 heures cadencé à 30s, malgré la curiosité des renards polaires intrigués par ces "drôles d'engins".

Ensuite, il a fallu positionner des cibles réfléchissantes sur le glacier et les mesurer par GNSS. Ces cibles ont été mesurées pendant quatre jours consécutifs à la même heure avec la Multistation depuis la rive gauche, évitant ainsi de revenir à pieds sur le glacier, le cheminement étant très périlleux et dangereux (voir figure 5). Pour la mesure des cibles, une zone photo réfléchissante au centre des cibles permet une mesure rapide et facile (voir figure 6). La vitesse d'écoulement du glacier pourra être suivie après l'expédition, tant que les cibles seront visibles, par calcul photogramétrique grâce aux deux appareils photo installés en rive gauche sur le site de l'étude.



Figure 5. La Multistation devant le glacier Eqip Sermia (pointé sur cible)



Afin d'étendre ces mesures aux zones inaccessibles, très crevassées et chaotiques à cause de l'écoulement rapide, j'ai utilisé la mesure sans réflecteur de la Multistation sur des distances allant jusqu'à 1.3 km sur la glace. L'avantage de cette méthode est que nous pouvons mesurer le glacier depuis une seule position de l'appareil, alors qu'à l'époque, des mesures angulaires étaient nécessaires depuis deux positions pour calculer les intersections. Cela prenait des heures et avec un avancement du glacier de 10 cm à 25 cm par heure, on comprend que la mise en œuvre doit être rapide.

J'ai repéré des séracs sur le glacier que j'ai photographié avec les deux appareils intégrés dans la Multistation, soit



Figure 6. Cible en bois peinte avec cible réfléchissante au centre

une image grand angle et une image zoomée, l'appareil ajoute le réticule sur le point visé (voir figure 7). Ces photos m'ont beaucoup aidé à retrouver ces mêmes séracs les jours suivants (lumière et ombre différentes). Sans ces images, il m'aurait été vraiment très difficile de mesurer exactement les

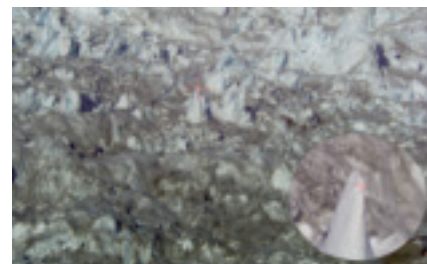


Figure 7. Image prise par la Multistation



Figure 8. Ecart en temps réel sur la MS50

mêmes points. Une fois le sérac retrouvé, il est facile de le mesurer à nouveau et d'avoir les écarts en temps réel des déplacements (voir figure 8). Si deux heures de marche étaient nécessaires pour aller jusqu'au site, l'ensemble de ces mesures ne prenait qu'une heure environ.



Figure 9. Chute de sérac

**Vitesse d'écoulement en mètres par jour sur cible (mesure 1 fois par jour à 17 h 00 sur 4 jours)**

	Cible 1		Cible 2		Cible 3		Cible 4	
	XY	Z	XY	Z	XY	Z	XY	Z
Jour 1	Mesure de référence							
Jour 2	+1.30	-0.04	+0.74	0.00	+0.40	-0.02	+0.21	-0.03
Jour 3	+1.50	-0.02	+0.80	-0.02	+0.40	-0.04	+0.20	-0.06
Jour 4	+1.51	-0.02	+0.89	-0.02	+0.44	-0.04	+0.21	-0.06

**Vitesse moyenne d'écoulement en mètres par jour sur séracs (mesure 1 fois par jour à 17 h 00 sur 4 jours)**

Sérac 2 :	1.52
Sérac 3 :	4.69
Sérac 4 :	4.30
Sérac 5 :	5.64
Sérac 6 :	6.34
Sérac 7 :	5.50
Sérac 11 :	4.32
Sérac 12 :	4.95

Durant quatre jours, j'ai mesuré quatre cibles et 12 points de séracs, seulement 8 séracs auront pu être mesurés, les autres s'étant effondrés (voir figure 9 et figure 10). La précision des mesures est de 5 mm sur cibles et 5 cm sur les séracs.

### ■ Interprétations des résultats

Luc Moreau : "Suite aux mesures topographiques effectuées cette année avec la Multistation, on constate en effet que le glacier présente un écoulement très rapide, aussi fort que dans les années 1950 alors que la position de son front

est en retrait de presque 2 km. C'est donc bien un fait nouveau et singulier. De plus, en juillet 2013, le front du glacier a perdu par endroits plus de 500 m. Ces deux facteurs engendrent d'importants vêlages d'icebergs qui créent de forts tsunamis dans la Baie de Quervain (juillet 2013, raz de marée de 12 mètres). Toujours en termes de danger, signalons que ce glacier barre un grand lac sur sa rive droite à 5 km en amont du front et en altitude (+ 400 m), lac qui pourrait être déstabilisé, voire même engendrer une débâcle du glacier si le front du glacier recule trop. L'objectif est donc, dans un premier temps, de mesurer chaque année les vitesses d'écoulement et leurs évolutions afin de préciser la dynamique du glacier, ce qui permettra de mieux estimer les volumes de glace (d'eau douce) vêlés par ce glacier qui contribuent in fine au volume global vêlé par l'inlandsis. En parallèle, nous suivons chaque année l'évolution de la variation du front grâce à deux appareils photographiques automatiques (fréquences de deux photos par jour). L'idée est de pouvoir également déterminer une situation "critique" pour la vidange du lac amont en cas de fort retrait. Ces vitesses ont déjà été mesurées précisément par les EPF par A. Bauer et chaque année depuis 1948. Cependant, la longueur du glacier était différente et les températures de la mer plus froides (voir figure 21). En effet, suite à l'augmentation des températures d'eau de mer, on s'aperçoit que les glaciers fondent cent fois plus par-dessous que par-dessus (dixit E. Rignot), ce qui enlève de la friction au glacier, qui donc s'accélère. La cause de ces fortes vitesses d'écoulement (jusqu'à 5 à 6 m par jour) est donc différente de celle des années 1950. La salinité est également changée puisque l'eau douce arrive en plus grande quantité en mer (vêlage plus important et retrait du front), les courants marins sont donc affectés par ces changements. Ces mesures que nous effectuerons chaque année préciseront la tendance de cette dynamique. Le front du glacier présentait une proéminence centrale probablement due à un haut fond (profondeur de 5 à 10 m, sonar des bateaux) qui freinait le front de glace. Ce frein s'étant brisé, l'écoulement s'est

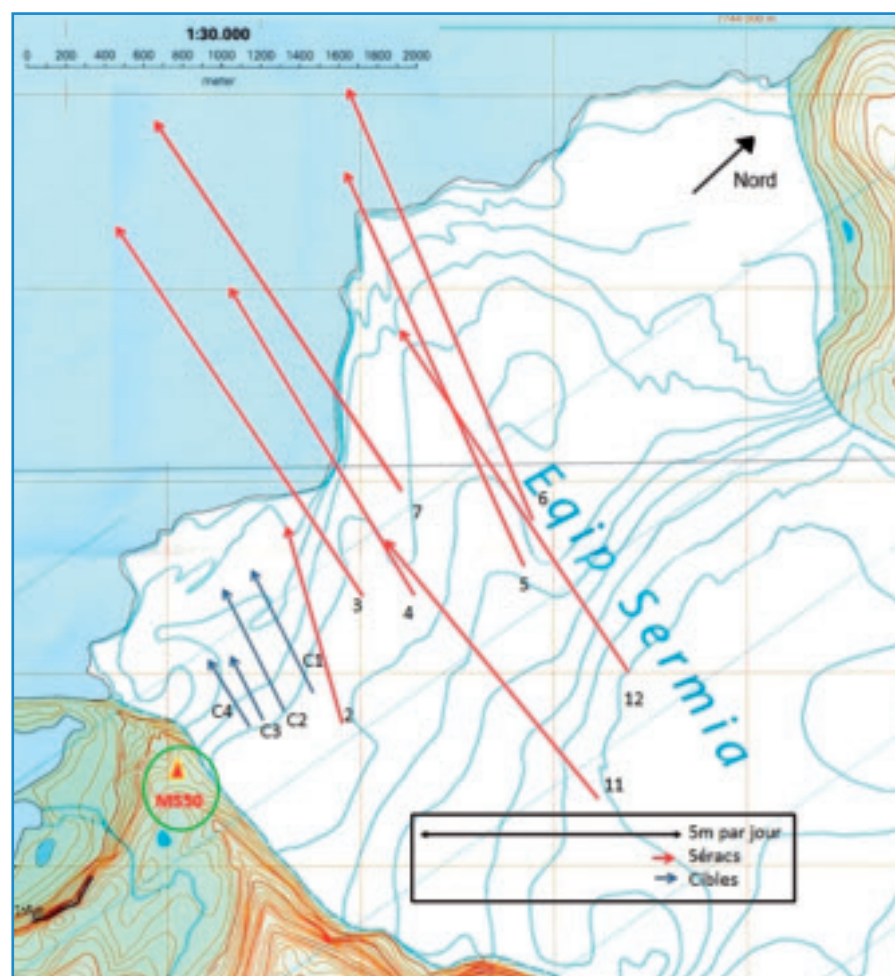


Figure 10. Vitesse d'écoulement du glacier (mesure cibles et séracs)



Figure 11. Multistation lors de l'acquisition au scanner laser de la cabane PEV

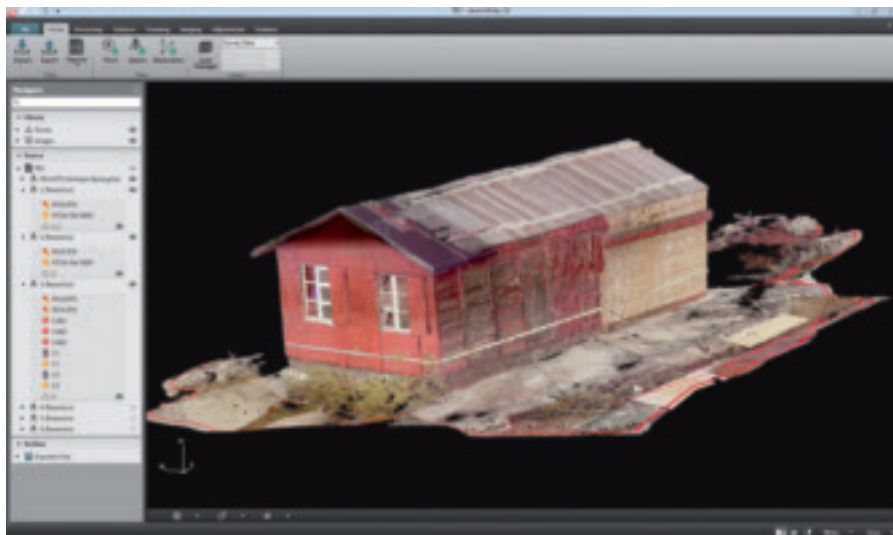


Figure 12. Visualisation du nuage de points 3D sous Leica Infinity



libéré et accéléré. La fracturation intense a engendré de forts vêlages créant quelques forts raz de marée sur la côte, brisant les pontons d'accostage de Port Victor. En moins de trois ans, le front du glacier a reculé au total de plusieurs centaines de mètres et laisse apparaître une épaisseur du glacier de plus de 200 m (mesuré cette année avec la Multistation Leica)."

## Mission rénovation de la Cabane Paul-Emile Victor

Le second objectif de l'expédition est le projet de restauration de la cabane Paul-Emile Victor qui a été construite en 1950 et restaurée en 1988. "Ce lieu est chargé de toute l'histoire des expéditions polaires françaises, il a vocation de refuge au sens montagnard du

terme, et de base scientifique avancée pour toutes les disciplines s'intéressant à la calotte glaciaire" Jean Louis Etienne (2007). Au-delà du devoir de mémoire, il est vrai qu'à 300 km au nord du cercle polaire, les abris sont rares et c'est donc d'une très grande utilité que ce projet de restauration voit le jour.

D'un point de vue de la mesure, le but est de numériser en 3D la cabane avec ses couleurs réelles, pour avoir son état actuel tant au niveau forme (déformation), de la taille (projet de restauration), de l'aspect visuel (état des peintures et bois). L'extérieur de la cabane a donc été scanné via quatre mises en stations. Depuis une station extérieure, un point à l'intérieur a été déterminé. Depuis ce point j'ai scanné une première pièce intérieure et avec deux autres mises en station déterminées par des stations

libres sur des cibles collées au mur, j'ai scanné les deux autres pièces de la cabane, soit au total 205 000 points scannés (voir figure 11). Pour chaque position de l'instrument, des photos panoramiques ont été enregistrées afin d'avoir les rendus en couleurs réelles et de pouvoir compléter la mesure par photogrammétrie si nécessaire. Le tout fut réalisé en trois heures. Grâce à la polyvalence de la Multistation, un relevé exhaustif de cette cabane a été fait, sans rien oublier, car le retour sur un site si éloigné n'est évidemment pas possible.

A l'issue de l'acquisition de ces mesures, un plan topographique 2D sous Autocad ainsi qu'une vidéo d'animation seront réalisés. La numérisation 3D permettra de réaliser les métrés (longueur, surface...) pour évaluer les coûts de restauration. L'ensemble de ces supports vont permettre de compléter un dossier complet pour les appels de fonds et l'obtention de financements du projet de rénovation (voir figure 12).

## Mission topographie d'un moulin

Le dernier objectif se déroule sur la calotte glaciaire, à 8 km à vol d'oiseau ou une journée de marche de "Port Victor". Nous avons suivi le chemin des EPF, ce chemin même que Paul-Emile Victor a trouvé pour accéder à la calotte glaciaire avec ses engins chenillés. C'est comme un pèlerinage que nous avons effectué, durant les heures de marche nous avons pu ressentir ce que les premiers explorateurs ont vécu et vu sur ces sentiers escarpés et vivre l'arrivée majestueuse sur la calotte glaciaire, immensité blanche qui s'étend à perte de vue. Nous avons établi un camp de base sur la calotte glaciaire (voir figure 14). Les équipes de l'association *Spélé'ice* sont parties à la recherche de moulin de glace. Le but étant l'exploration des moulins et l'expérimentation de la mesure fine d'un moulin fossile (c'est-à-dire sec).

Après avoir choisi le moulin qui allait être topographié, il a fallu scanner sa partie visible depuis la surface par trois mises en stations avec orientation clas-

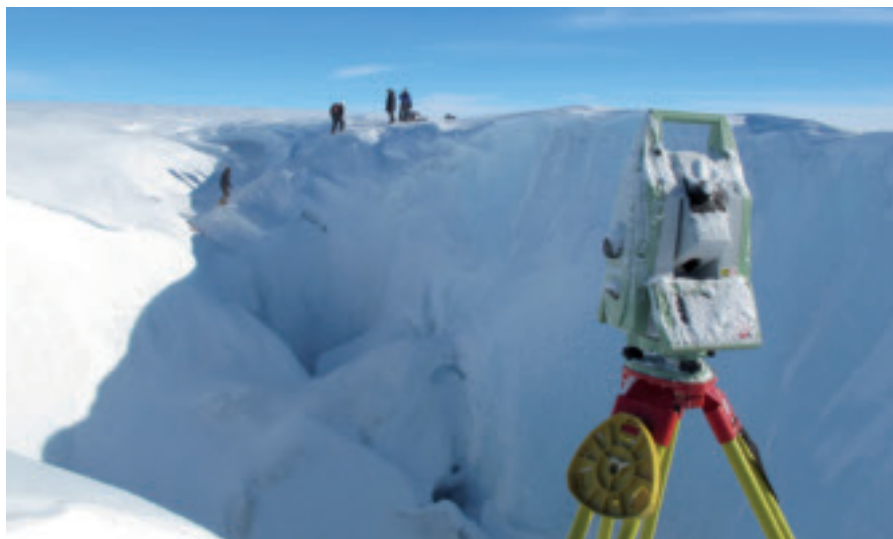


Figure 13. Multistation devant le moulin, après la tempête



Figure 14. Camp de base sur la calotte glaciaire

sique, c'est la partie facile du travail. Puis pour la partie verticale, Luc Moreau et moi avons fixé sur la paroi du moulin une plate-forme avec des broches à glaces permettant de stationner la Multistation (voir figure 15) dans la partie haute du moulin. La position de la plate-forme a été déterminée classiquement car elle est visible depuis la surface, par contre pour lancer un point au fond du moulin et sur les bords dans la partie basse j'ai dû utiliser une application permettant de mesurer quand l'appareil n'est pas vertical. J'ai donc réalisé une mise en station tout au bord du moulin avec l'appareil penché à 45°, d'où je voyais le fond et j'ai pu ainsi déterminer la position de l'appareil par station libre et lancer un point au fond

du moulin matérialisé par une broche à glace. En même temps j'ai mesuré trois cibles sur les bords du moulin. Ensuite, depuis la plate-forme, j'ai pu lancer le scan des parois avec des résolutions de 5 cm pour les parties étroites et de 10 cm pour les parties plus vastes. La précision des mesures est de l'ordre du mm, mais cela a peu d'importance car d'un jour à l'autre la neige s'accumule plus ou moins.

Pour finir, il m'a fallu descendre l'appareil et un trépied pour scanner le fond du moulin (figure 16). Depuis le fond j'ai réalisé une mise en station sur le point déterminé et je me suis orienté sur les trois cibles sur les bords du moulin. J'ai pu directement vérifier le travail de numérisation car tous les scans sont



Figure 15. Début descente et Multistation sur la plate-forme

assemblés directement dans la Multistation (voir figure 17) avant de remonter à la surface. L'ensemble de ces opérations fut complexe en logistique car tout se fait sur corde dans un monde vertical. Chaque geste doit être prévu et réfléchi. Pour l'anecdote, nous avons fait ces manipulations sur deux jours, car nous avons dû essuyer le premier jour une tempête de neige. Sur la figure 13, l'appareil encore dans sa gangue de glace peut enfin commencer à sécher sous le soleil qui a fait son apparition. Il nous a fallu environ une journée pour réaliser l'ensemble de cette mission à cause de la logistique majeure pour atteindre le fond du moulin contrairement à l'acquisition des données qui n'a demandé que 10 minutes par position.

Nous avons vu que la mesure fine d'un moulin était possible avec la Multistation, transportable dans des zones difficiles d'accès et surtout grâce à sa robustesse lui permettant de supporter des conditions extrêmes (-15°C). Le fait de pouvoir scanner à l'intérieur même d'un moulin ouvre de belles perspectives. Les glaciologues et autres chercheurs ne disposent que de très peu d'informations quant à la déformation des moulins. Ce test a permis d'entrevoir l'avenir et d'imaginer, par exemple, la mesure d'un moulin plusieurs fois par an afin d'en étudier sa déformation et les valeurs et vitesses de creusement par les eaux.

Aussi, grâce à la modélisation du moulin (voir figure 18), nous avons pu rapidement disposer des volumes : 100 m<sup>3</sup>



pour la partie étroite la plus profonde et 1 800 m<sup>3</sup> pour le reste (voir figure 19). Profondeurs 12.5 m pour le grand moulin et 21 m pour le moulin étroit et le plus profond. La modélisation par mesh ou maillage permet de définir le circuit de l'eau et donc de comprendre la formation de ce moulin et sa dynamique.

Ce modeste moulin (en taille) a permis de valider de nouvelles méthodes de travail. D'un point de vue de la mesure, un grand moulin (plus de 100 m de profondeur et plus de 10 m de large) aurait opposé moins de difficultés, le temps de mesure aurait juste été plus long. Le test est validé avec succès.

Luc Moreau : *"L'idée de cette mesure est d'avoir toutes les dimensions du moulin et d'apprécier son évolution au cours du temps, éventuellement chaque année en termes d'espace intérieur mais aussi en termes de déformation de la glace, avec en parallèle les mesures de températures de glace. L'opération s'est avérée efficace et la facilité d'utiliser ensuite les résultats illustrés sur l'ordinateur montre que les perspectives sont grandes et l'instrument bien adapté à ce genre de cavités, à condition d'avoir une bonne météorologie lors des mesures !"*

## Conclusion

Cette expédition aura permis de valider la polyvalence et la robustesse de la Multistation dans un cadre historique, scientifique, extrême, symbolique et magique par la beauté des paysages rencontrés. L'aventure humaine a été très enrichissante : côtoyer et vivre avec les équipes de Mona Lisa pour le tournage du documentaire faisant partie d'une collection "planète glace" ARTE/Mona Lisa production qui sera diffusé en 2014. Echanger avec l'équipe de trois chercheurs en biologie du CNRS (A. Couté, C. Perrette, R. Brayner) qui ont avancé leurs travaux sur les "tardigrades"\* et l'étude de la cryocoonites\* (cf. : article dans le magazine "ESPECE" sept 2013, A. Couté, C. Perrette, R. Brayner, G. Sarazin).

La descente dans un moulin de glace équipée par *Spélé'ice* est une expérience unique, on entre dans les entrailles de la glace. Cette fameuse glace de quelques dizaines de milliers d'années qui a enregistré toutes les variations climatiques.

Un grand merci à Luc Moreau pour m'avoir permis de participer à une expédition comme celle-ci, j'ai pu mettre au service de la recherche les toutes dernières technologies de Leica Geosystems et découvrir une topographie dans des conditions extrêmes. Merci à tous les membres de l'équipe qui tour à tour ont servi de porte prisme et se sont initiés à la topographie avec intérêt. Merci à *Spélé'ice* et Mona Lisa (voir figure 20).

Pour la suite de l'étude du glacier, le suivi des mesures d'écoulement



Figure 16. Descente en technique spéléo

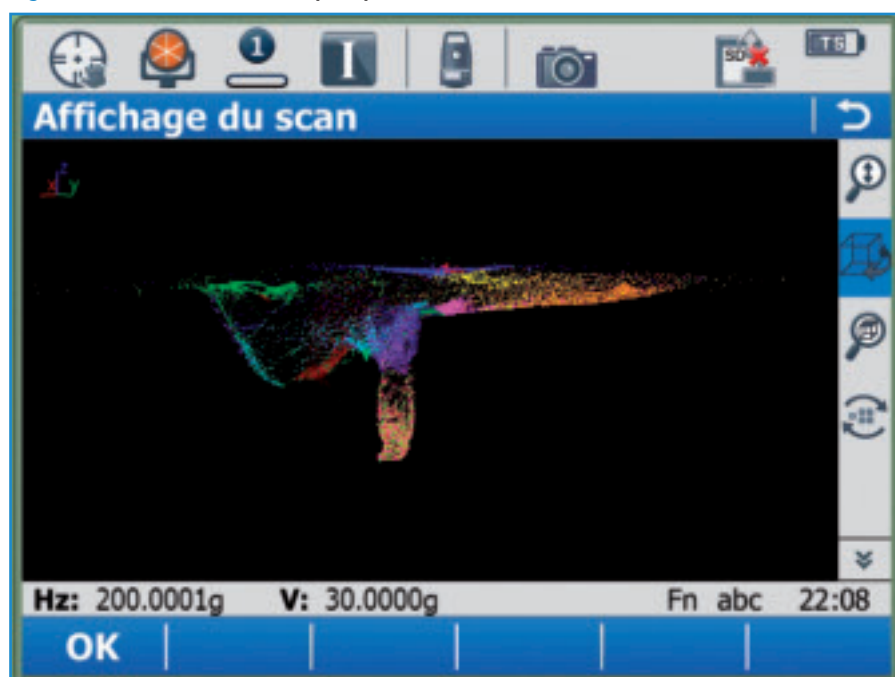


Figure 17. Ecran de la Multistation lors du scan du moulin

devraient se prolonger. Avec l'évolution des technologies, on pourrait imaginer combiner ce travail avec des mesures de volumes de glace grâce à des vols de drones par exemple. Aussi, compléter les mesures par des mesures sous-marines grâce à des scans sous-marins, permettrait d'avoir le modèle d'écoulement de l'ensemble du glacier. L'ensemble des données et leur comparaison dans le temps rendrait possible l'analyse précise des déformations.

Grâce aux nouveaux outils intégrant des technologies de plus en plus performantes, la mesure devient complète, rapide, sécurisée et donne ainsi des éléments chiffrés précis aux chercheurs. L'association d'entreprises à la pointe de la technologie dans leur domaine comme Leica Geosystems avec le monde de la recherche ne peut qu'aider les scientifiques à avancer pour comprendre l'évolution de notre climat. En attendant, une chose est sûre, l'homme a modifié les compositions de l'atmosphère et par-là même le cours naturel de l'évolution du climat, aussi le Groenland en subit quelques conséquences. Réduire notre empreinte sur le climat ne peut être que bénéfique pour les générations futures, au moins pour qu'elles puissent encore admirer les belles glaces polaires du Groenland magnifiées par les lumières polaires du soleil de minuit qui en font un rêve, et qui nous ont largement aidées à supporter les rudes conditions de l'expédition. ●

## \*Glossaire

**Cryoconite** : au Groenland, des rafales de vents appelés catabatiques peuvent atteindre plus de 180 km/h et balayer le sol près des

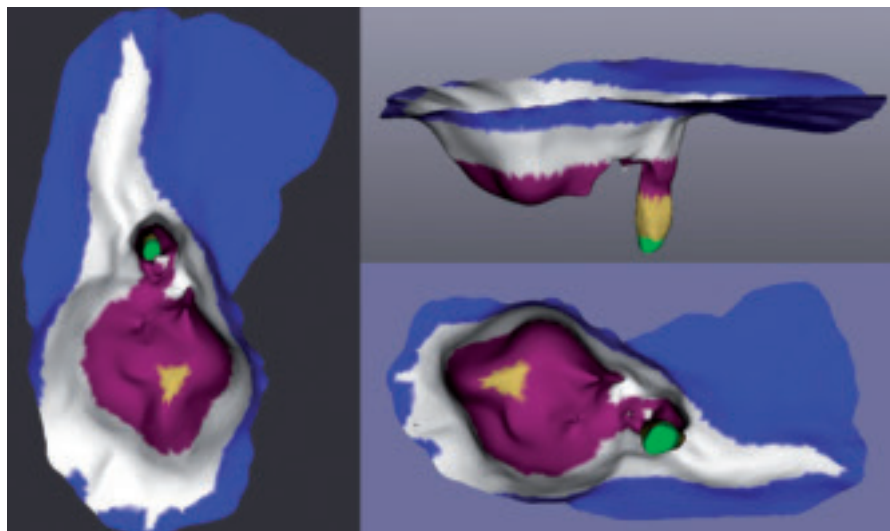


Figure 18. Rendu 3D vue de dessus, maillage réalisé avec Leica Cyclone

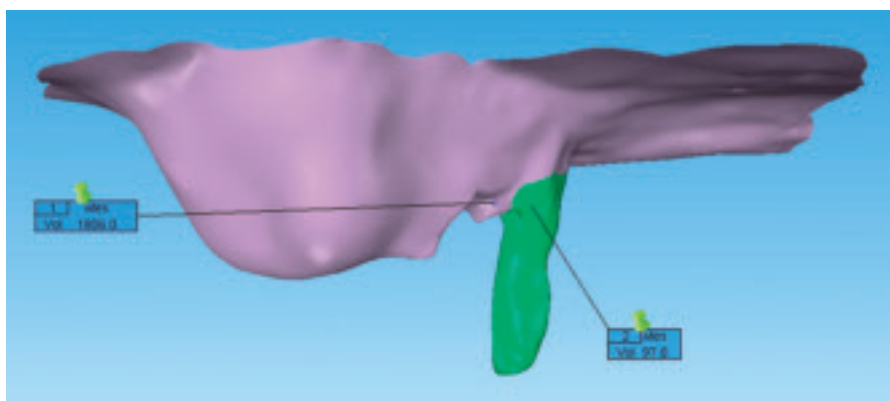


Figure 19. Calcul des volumes et distances avec 3DReshapper

côtes en arrachant des particules animales, minérales et végétales. Celles-ci se déposent ensuite à la surface du manteau glacé. Sous l'action des rayons du soleil, elles s'échauffent plus vite que la glace environnante et entraînent la fusion de cette dernière dans leur voisinage immédiat. C'est ainsi que naissent, progressivement, de petits trous, parfaitement circulaires à l'origine, d'un diamètre compris entre 0,2 et 12 cm. Petit à petit, de nouveaux matériaux tombent sur l'eau et décrivent un

mouvement rotatoire occasionné par le vent, façonnant ainsi un véritable cylindre creux. La profondeur de ces formations, appelées "trous de cryoconite" (cryo, froid ; conite, poussière, autrement dit "trous de poussière du froid"), peut atteindre 50-60 cm.

**Inlandsis** : Littéralement, "glace à l'intérieur du pays", calotte glaciaire d'une superficie égale ou supérieure à 50 000 km<sup>2</sup> pour le Groenland

**Moulin** : Puits taillé dans une crevasse de glacier par les eaux de fonte ou de pluie se trouvant en surface et par lequel elles transitent pour atteindre un réseau de galeries intra- et sous-glaciaires.

**Sérac** : Un sérac est un bloc de glace de grande taille formé par la fracturation

**Tardigrade** : Les tardigrades sont de minuscules animaux translucides qui vivent un peu partout sur la planète. Ils mesurent en moyenne un demi-millimètre (500 micromètres) de longueur. Les tardigrades, eux, se déplacent avec lenteur, escaladant posément de minuscules débris. Leur nom vient du latin



Figure 20. Fin d'expédition



“tardigrada”, qui signifie “marcheur lent”. Ils possèdent huit petites pattes boudinées, situées sous leur corps et ne dépassant pas sur les côtés, d’où leur démarche nonchalante et pataude. Les tardigrades sont surtout

connus pour leur aptitude à supporter des conditions extrêmes.

**Timelapse** : Un time-lapse est une animation vidéo réalisée par une série de photographies prises à des moments différents pour

présenter en un laps de temps court l’évolution de l’objet photographié sur une période longue. Pour voir le film du déplacement de 2012, le lien : <http://www.moreauluc.com/Video%20-%20Eqi%20-%20Sermia%202012.htm>

**Vêlage** : Fragmentation d’une masse de glace appartenant à un glacier, un iceberg ou une plate-forme de glace

## Contacts

**Farouk KADDED**

Ingénieur ESGT

Leica Geosystems - Responsable technique

Produit TPS/GNSS

[farouk.kadded@leica-geosystems.fr](mailto:farouk.kadded@leica-geosystems.fr)

Site : [www.Leica-geosystems.fr](http://www.Leica-geosystems.fr)

**Luc MOREAU**

Glaciologue, membre associé

au laboratoire Edytem CNRS,

Enseignant à l’ENSA Chamonix,

[moreauluc@club-internet.fr](mailto:moreauluc@club-internet.fr)

Site [www.moreauluc.com](http://www.moreauluc.com)

## ABSTRACT

*Multi-discipline scientific expedition to Greenland in August 2013, having as main objective the surveying mission of the Eqip Sermia glacier. Following the glacier’s flow based on target measurements and measurements on seracs. Those measurements allowed us to highlight the glacier speed equal to 6 meters per day. The speed of the glacier is as fast today as it was in 1950 despite the fact the glacier is actually moving back. A second aspect of the expedition was the 3D Scanning of the Paul-Emile Victor hut for renovation purposes. The third and final aspect of the mission was to make a 3D scanning of an ice moulin on the inlandsis in Greenland. This first initiative will allow the scientific study of the formation of an ice moulin and the movements of its moulin fossile. All measurements were made with Leica Geosystems Multistation MS50. Both a strong human and scientific adventure in a challenged region when it comes to climatic changes.*

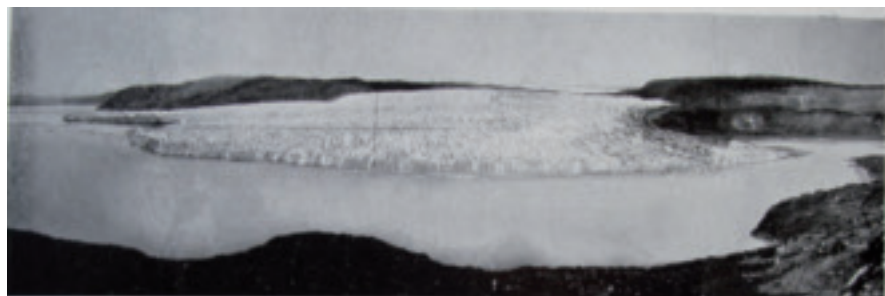


FIG. 54. — Panorama de l’Eqip Sermia vu de A<sub>1</sub> (Photo Mercanton, Expédition A. de Quervain, 18-19 avril 1912).



FIG. 55. — Panorama de l’Eqip Sermia vu de A<sub>2</sub> (Photo Gloggi, Expédition A. Wegener, 15 juin 1929).



FIG. 57. — Panorama de l’Eqip Sermia vu de A<sub>3</sub> (Photo Bauer, 5 juin 1946).



FIG. 59. — Panorama de l’Eqip Sermia, vu de A<sub>2</sub> (Photo Chauchon, 29 juin 1953).



Panorama de l’Eqip Sermia, vu de A<sub>2</sub> (Photo F.KADDED août 2013)

**Figure 21.** Evolution du glacier Eqip Sermia sur un siècle