

Documenter par la 3D un site en contexte arctique, entre recherche archéologique et changements environnementaux : Kuukpak, Territoires du Nord-Ouest, Canada

Documenting a site in the Arctic using 3D, between archaeological research and environmental changes: Kuukpak, Northwest Territories, Canada

Rémi Méreuze¹, Adam Jarhaus², Pete Dawson², T. Max Friesen³

¹ Université Paris 1 Panthéon, Sorbonne, UMR 8096 Archéologie des Amériques, France, remi.mereuze@univ-paris1.fr

² Department of Anthropology and Archaeology, Digital Heritage Research, University of Calgary, Canada, adamjahraus@gmail.com, pcdawson@ucalgary.ca

³ Department of Anthropology, University of Toronto, Canada, max.friesen@utoronto.ca

RÉSUMÉ. Dans l'Arctique canadien, comme dans l'ensemble du monde septentrional, les récents changements climatiques ont grandement affecté l'environnement. Les sous-sols gelés fondent, le niveau moyen des mers augmente et l'érosion est accrue un peu plus chaque année. Dans ce contexte sensible, le projet Arctic CHAR a pour mission de sauvegarder au mieux le patrimoine inuvialuit du delta du Mackenzie. Parallèlement au monitorat des côtes et à la prospection, le site de Kuukpak fait l'objet de fouilles depuis l'été 2014. La structure fouillée, une maison principalement composée de bois, est fragile, le bois commençant à se décomposer dès sa mise au jour, et complexe, l'effondrement de la charpente ayant abouti à l'amalgame de ces pièces structurales. Deux méthodes de relevé 3D ont été utilisées pour soutenir cette opération de fouille, la lasergrammétrie et la photogrammétrie. La première, dans le but de conserver le plus fidèlement possible ce patrimoine voué à la destruction ; la deuxième pour assurer un enregistrement régulier durant l'avancée des fouilles.

ABSTRACT. In the Canadian Arctic, as in the whole northern world, recent climate change has greatly affected the environment. Permafrost thawing, rising of the sea level and increasing erosion have become more destructive every year. In this sensitive context, the Arctic CHAR project aims to save at best the Inuvialuit heritage in the Mackenzie Delta. Parallel to the coast mentoring and prospecting, the Kuukpak site is excavated since summer 2014. The excavated structure, a house mainly composed of wood, is a fragile, wood starting to decay as soon as it is exposed, and complex task, the frame collapse led to the amalgamation of these structural pieces. Two 3D recording methods were used to support the excavations operation, laser scanning and photogrammetry. The first, in order to ensure a conservation as faithfully as possible of this doomed heritage; the second to provide a regular registration of the excavations as they progress.

MOTS-CLÉS. Photogrammétrie, Lasergrammétrie, Archéologie arctique, patrimoine en danger, Maison inuit.

KEYWORDS. Photogrammetry, Lasergrammetry, Arctic Archaeology, Endangered Patrimony, Inuit dwelling.

C'est à l'extrême nord-ouest des Territoires du Nord-Ouest au Canada, dans le delta du Mackenzie, que se situe Kuukpak (figure 1). Avec des occupations qui s'étalent sur les six cents dernières années (Morrison 2000), au moins, ce site représente un intérêt majeur pour la compréhension du passé des Inuvialuit qui peuplent actuellement la région. Malheureusement, avec les récents changements climatiques qui affectent notamment l'Arctique, les vestiges archéologiques du delta du Mackenzie sont particulièrement menacés. Le projet Arctic CHAR (*Arctic Cultural Heritage at Risk*¹) vise ainsi à enregistrer le patrimoine culturel du delta qu'il ne soit trop tard (Friesen 2016).

¹ « Héritage culturel de l'Arctique en danger »

Les fouilles archéologiques prenant place dans ce projet ont ainsi deux principaux objectifs ; l'un étant la collecte de données archéologiques d'une région clé pour la compréhension du passé inuvialuit (Betts 2008), l'autre, peut-être moins classique, consistant en une archéologie de sauvetage contre les changements environnementaux. Avec de tels enjeux, la conservation des données occupe une place importante. Dans la sauvegarde du patrimoine en danger, les techniques d'enregistrement en 3D ont déjà fait leurs preuves (Tapete *et al.* 2013) et nous semblait donc particulièrement adaptées à nos besoins. Ainsi, lors des fouilles du site de Kuukpak, nous avons utilisé deux techniques de relevé 3D, la lasergrammétrie et la photogrammétrie.



Figure 1. Emplacement de Kuukpak, Territoires du Nord-Ouest
(fond de carte, OSM, Réalisation : R. Méreuze)

Une région clé dans la compréhension du passé inuvialuit

D'un point de vue linguistique, les Inuvialuit font partie du *continuum* inuit (Therrien 1987). C'est-à-dire que, bien que possédant un dialecte qui leur est particulier, ils font partie du même groupe de langues que l'ensemble des Inuits qui peuplent l'Arctique nord-américain, du détroit de Béring au Groenland. À ce titre, ils partagent énormément de traits culturels avec ces autres groupes, notamment leur passé archéologique avec une culture ancestrale commune, celle de Thulé.

Le delta du Mackenzie est une zone particulière dans le passé des Thuléens qui s'y établissent dès le XIII^e siècle de notre ère (Friesen & Arnold 2008). Alors que leur culture matérielle dans cette région est analogue à celles de l'ensemble de la zone occupée par les ancêtres des Inuit, un phénomène de régionalisation est opéré à partir du XV^e siècle. Parallèlement au Petit Âge glaciaire qui démarre alors dans cette région² (Farmer *et al.* 2011), la population augmente (Friesen 1999) et certaines pratiques économiques et sociales se démarquent fortement de celles des thuléens vivant dans les régions alentour, en témoigne l'utilisation du filet de pêche (Betts 2008) ou la pratique importante de la chasse au béluga (McGhee 1985). Les maisons d'hiver, notamment, voient leur plan au sol et leur organisation spatiale complètement bouleversés. Alors que les plus anciennes du delta sont de type « Barrow³ » (Friesen 2009), ces nouvelles habitations qui apparaissent dès le XV^e siècle (Arnold 1994) sont composées d'une pièce centrale carrée, flanquée de trois alcôves qui, avec le tunnel placé sur le quatrième côté, forme la silhouette d'une croix, d'où le nom de ce type, « cruciforme » (Petitot 1887). C'est à partir de cette période que le mode de vie des ancêtres des Inuvialuit prend une forme proche de celle des descriptions ethnographiques de la fin du XIX^e siècle et du début du XX^e siècle

² Les principaux effets de cet événement climatique sont un refroidissement des températures et surtout l'augmentation du volume de la banquise.

³ Le type de maison le plus répandu dans la culture thuléenne de l'Arctique occidental. Ces maisons sont constituées d'une unique pièce, d'un tunnel d'entrée et d'une cuisine extérieure ou parfois reliée au tunnel, mais pas à la pièce principale (Slaughter 1982).

(*ibid*, Stefansson 1919). La compréhension du passé archéologique de cette région est donc fondamentale pour la population inuvialuit actuelle qui y puise ses origines et ses particularités culturelles.

Un patrimoine menacé

Mais, comme nous le disions, les récents changements climatiques ont mis ce patrimoine en danger. Les sites de l'île Herschel, voisine du delta du Mackenzie, sont, par exemple, placés depuis 2008 sur la liste de surveillance des cent sites les plus en danger du World Monuments Fund (WMF 2008). Plusieurs éléments entrent en cause dans la destruction de sites de la région. Le premier phénomène est la montée du niveau des eaux due au réchauffement des océans et à la fonte des calottes glaciaires ; on estime qu'il augmente en moyenne de 2mm par an depuis une trentaine d'années sur l'ensemble du globe terrestre (Nicholls & Cazenave 2010). Parallèlement, ce réchauffement cause aussi la fonte du pergélisol, le sous-sol gelé présent dans l'ensemble de l'Arctique et du Subarctique. Pour les archéologues, la présence du pergélisol est une bénédiction car il permet une conservation exceptionnelle des sites. Les matériaux organiques peuvent ainsi rester en parfait état après avoir été enfouis pendant plus de 500 ans. Sa disparition progressive implique donc une forte dégradation des vestiges et une perte inévitable d'informations. De plus, celle-ci rend les côtes plus vulnérables à l'érosion car le gel leur permettait de résister aux fortes tempêtes ; depuis quelques années, l'érosion peut atteindre plusieurs mètres par an dans l'Arctique occidental (Mars & Houseknecht 2007). Enfin, couplée à ces premiers phénomènes, l'érosion massive des rivages du fleuve Mackenzie provoque le dépôt de très importantes quantités d'alluvions dans le delta. Ce nouveau poids vient modifier le phénomène isostatique⁴, suffisamment pour légèrement enfoncer le delta (Lemmen et al. 2016). L'accumulation de ces facteurs rend ainsi le delta du Mackenzie particulièrement vulnérable (figure 2) et vient augmenter l'urgence d'étudier et d'enregistrer le patrimoine archéologique avant qu'il ne soit trop tard. Dans cette ambiance particulière, le projet Arctic CHAR associe, depuis 2013, prospections générales de la zone, monitorat de secteurs considérés comme importants par les Inuvialuit - avec mesures de l'avancée de l'érosion - et fouille d'un site archéologique (Friesen 2015).

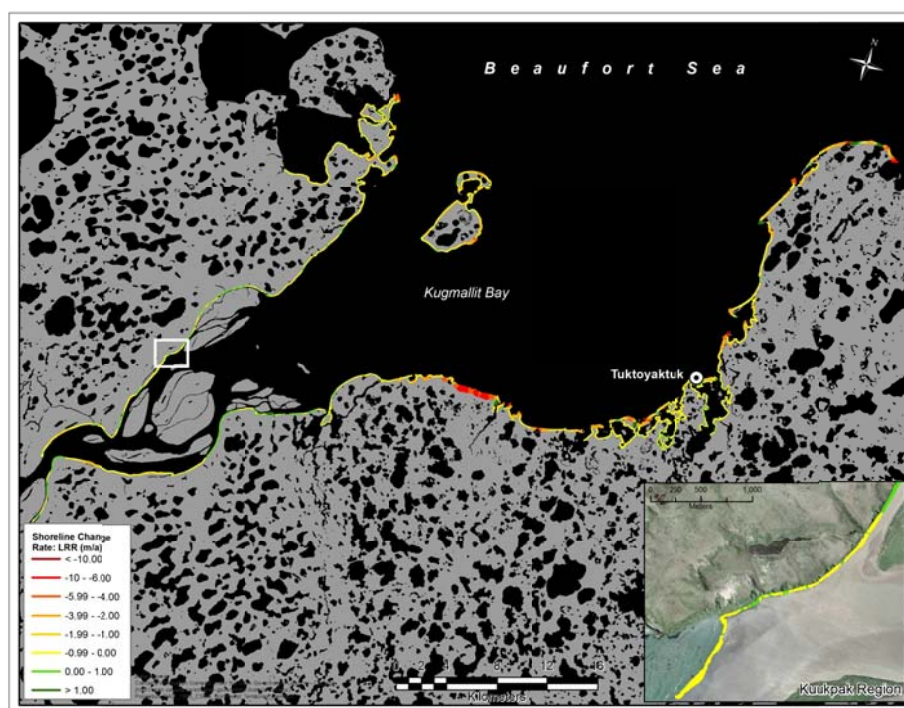


Figure 2. Carte de l'érosion côtière du secteur de Kuukpak (Réalisation : M. O'rourke, Department of Anthropology, University of Toronto)

⁴ La façon dont les plaques continentales s'équilibrent

Utilisation de la 3D dans l'Arctique nord-américain

Le choix d'utiliser la 3D pour aider à l'enregistrement du site fut fait selon deux axes principaux ; l'un était de compléter les relevés effectués lors des fouilles, l'autre, de créer un modèle venant alimenter un conservatoire virtuel des sites en danger de l'Arctique nord-américain (Dawson 2015). Face aux difficultés d'accès aux sites, au temps limité de fouilles (les saisons possibles dépassent rarement de l'intervalle mi-juin à début août) et à la complexité des structures dont une partie de l'élévation est le plus souvent encore présente, la documentation scientifique à l'aide de relevés 3D permettait de suppléer à ces difficultés (Dawson 2009).

Fouilles du site de Kuukpak

Jusqu'à la fin du XIXe siècle, Kuukpak (figure 1) était l'un des principaux villages du delta du Mackenzie, habité par les *Kuukpangmiut*⁵. La position du site, au nord du delta, en faisait un lieu très favorable pour la chasse aux bélugas, l'une des activités traditionnelles centrales des Inuvialuit, qui continuent occasionnellement d'y marquer une étape lors de leur migration estivale. Ce site avait déjà attiré les archéologues par l'importance des vestiges encore décelables sur quasiment un kilomètre, le long du bras est du fleuve Mackenzie (Arnold 1994). Déjà, l'avancée de l'érosion avait inquiété les chercheurs (Arnold 1988).

Dans le cadre du projet Arctic CHAR, les fouilles du site de Kuukpak ont débuté durant l'été 2014 (Friesen 2016). Au cours de cette première campagne, deux *igluryuaq*⁶ d'hiver ont été partiellement mis au jour, les structures A5H1 et A3H5. Le travail d'enregistrement 3D n'ayant pas été tout à fait le même sur ces deux structures, nous allons les présenter séparément.

A5H1, relevé et plans dans un contexte d'urgence

La maison A5H1 est la plus récente des deux. Sa fouille partielle a été décidée afin d'estimer son importance dans la mesure où une partie de sa structure a déjà été érodée (figure 3). Une équipe restreinte a ainsi mis au jour le niveau supérieur de cette occupation, permettant d'en mieux saisir l'importance et les limites au sol.



Figure 3. Erosion menaçant la structure A5H1 (Cliché : R. Méreuze)

⁵ Littéralement, « les gens de Kuukpak ».

⁶ « Maison de tourbe » en inuvialuktun, la langue actuelle des Inuvialuit (Fortescue *et al.* 2010).

Entre un temps très limité pour l'étude de cette structure et l'avancée plus qu'inquiétante de l'érosion, nous avons choisi d'utiliser la photogrammétrie en plus des relevés traditionnels pour assurer la meilleure conservation possible des données. Le relevé photographique était contraint par la végétation dans laquelle le site était engouffré, la fragilité des vestiges, mais aussi le banc d'érosion qui empêchait d'en faire le tour aisément, d'où le choix de multiplier des stations avec prises de vues multiples (figure 4). Il s'agit d'une tactique dont les résultats sont souvent incorrects ; pourtant, si le nombre de stations est suffisant et les clichés se recoupent suffisamment entre les différentes stations, les modèles obtenus peuvent être tout à fait suffisants pour les relevés archéologiques. Les 54 prises de vues ont ensuite été traitées sur place avec Photoscan - pour la création du nuage de point -, CloudCompare (Girardeau-Montaut, D. 2011) - pour le nettoyage du nuage - et Meshlab (Cignoni *et al* 2008) - pour créer la surface du modèle -. Un premier plan a pu être obtenu rapidement d'après ce relevé et, plus important encore, la forme des éléments présents sur cette surface de fouilles, sa topographie générale, a été conservée (figure 5).

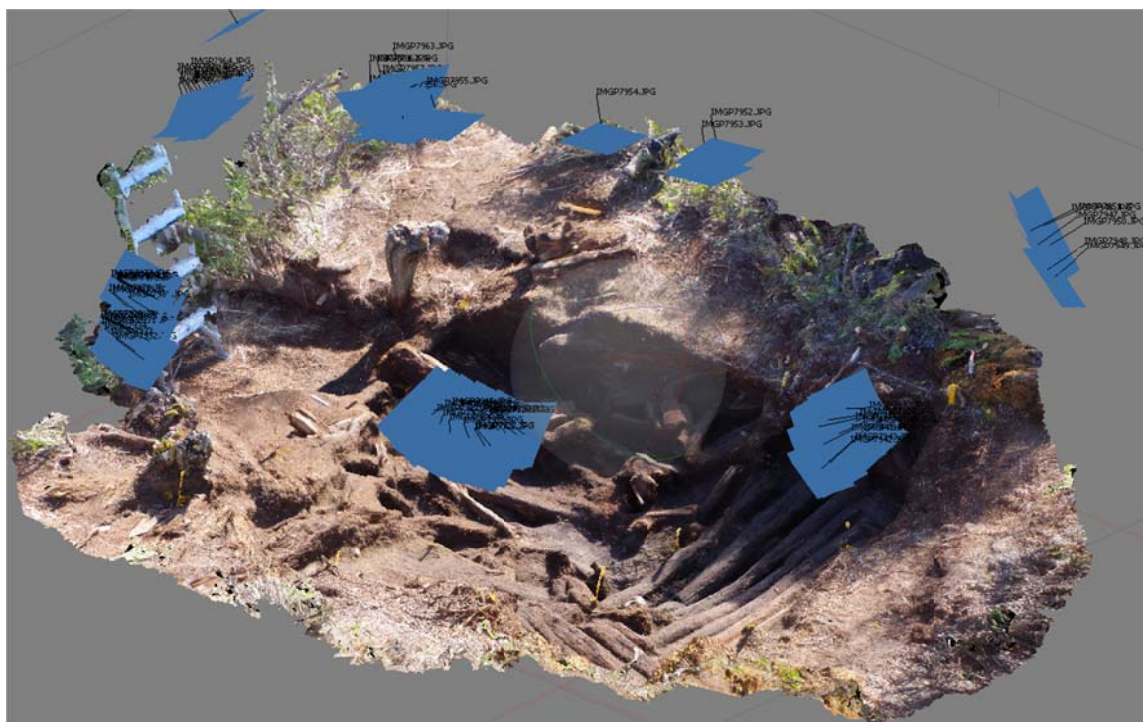


Figure 4. A5H1, position des prises de vue dans Photoscan (Réalisation : R. Méreuze)

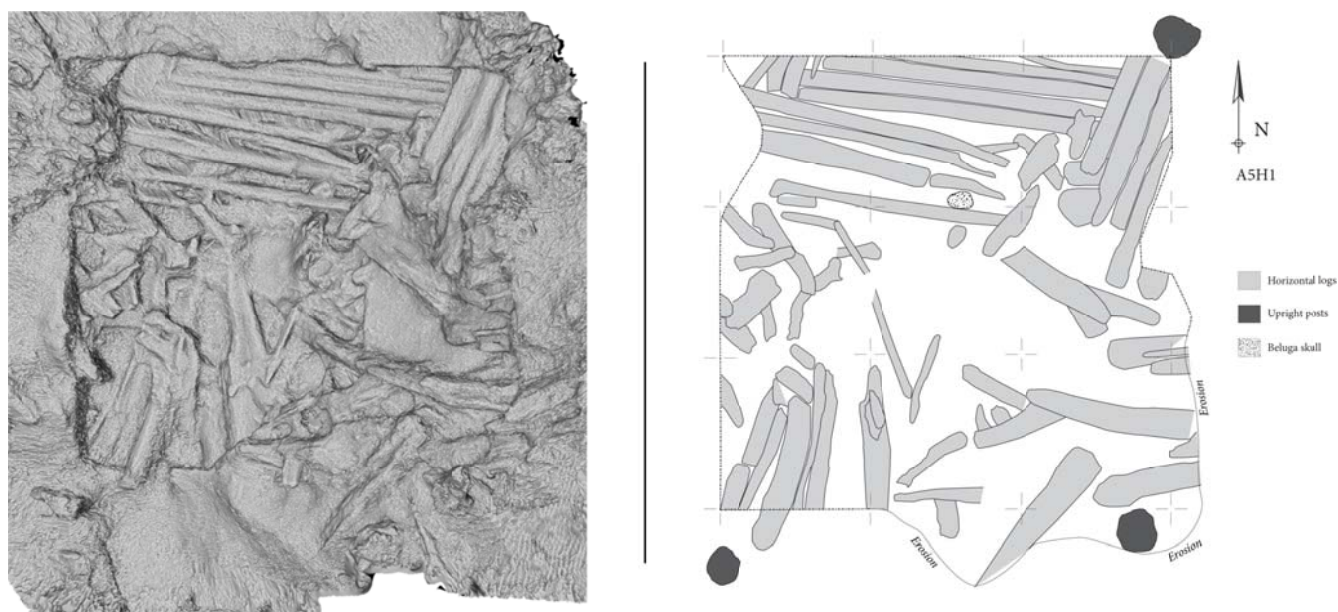


Figure 5. Plan et topographie de A5H1 (Réalisation : R. Méreuze)

Avec la structure A3H5 (figure 6), les enjeux étaient légèrement différents. En plus de pratiquer une fouille d'urgence, l'ambition du projet était de documenter la fouille complète d'une maison cruciforme, information alors encore inédite pour ce type de structure (Friesen 2016). De plus, cette dernière étant menacée par l'érosion, nous voulions conserver un maximum d'information avec une forte acuité et robustesse d'enregistrement afin d'obtenir la meilleure qualité possible d'information dans la mesure où ces vestiges sont amenés à disparaître.



Figure 6. *Vue de la structure A3H5 (Cliché : R. Méreuze)*

C'est sur cette structure que nous avons utilisé deux méthodes d'enregistrement 3D, la lasergrammétrie et la photogrammétrie. La première étant réservée à la création du modèle le plus précis, celui destiné à maintenir une documentation du niveau principal de la maison après sa destruction ; la deuxième serait utilisée pour enregistrer les faits archéologiques et les étapes intermédiaires de fouilles sans pour autant être aussi précise que le relevé laser puisque des plans manuels seraient aussi réalisés parallèlement à la photogrammétrie.

Avec une conservation des matériaux organiques aussi exceptionnelle, les bois d'architecture des maisons de l'Arctique occidental sont encore, pour la plupart, présents. Depuis leur abandon, les toitures se sont effondrées, certains éléments de charpente ont été récupérés pour réemploi et les sous-sols ont souvent abrité quantité de rongeurs. Ce type de site est donc particulièrement complexe et délicat à fouiller, d'autant que les matériaux organiques commencent à se décomposer dès leur mise au jour.

Pour comprendre l'effondrement de ces maisons, et ainsi leur architecture, nous devons établir le plan de chaque niveau de démolition, définir chaque élément de charpente, dans l'espoir de reconstituer ce puzzle à la fin des fouilles. Ces pièces de structure sont, le plus souvent, enchevêtrées et fragiles d'où la nécessité d'enregistrer leurs positions et leurs connexions mutuelles dès qu'une quantité suffisamment importante de ces vestiges est dégagée. Avec un temps limité sur le terrain, l'enregistrement de structures complexes est un véritable défi. Pour gagner du temps et sauvegarder le plus de données possible, nous avons utilisé la photogrammétrie qui conserve les mesures avec une résolution comparable aux plans traditionnels faits avec une nivelle et un fil à plomb (tab. 1). Le matériel impliqué étant suffisamment léger pour être emporté sur le site tous les jours et le temps nécessaire pour prendre les photographies ne durant jamais plus de 15 minutes, ce qui ne retarde pas l'avancée des fouilles. Nous n'avons effectué que des relevés photographiques pédestres (figure 7).

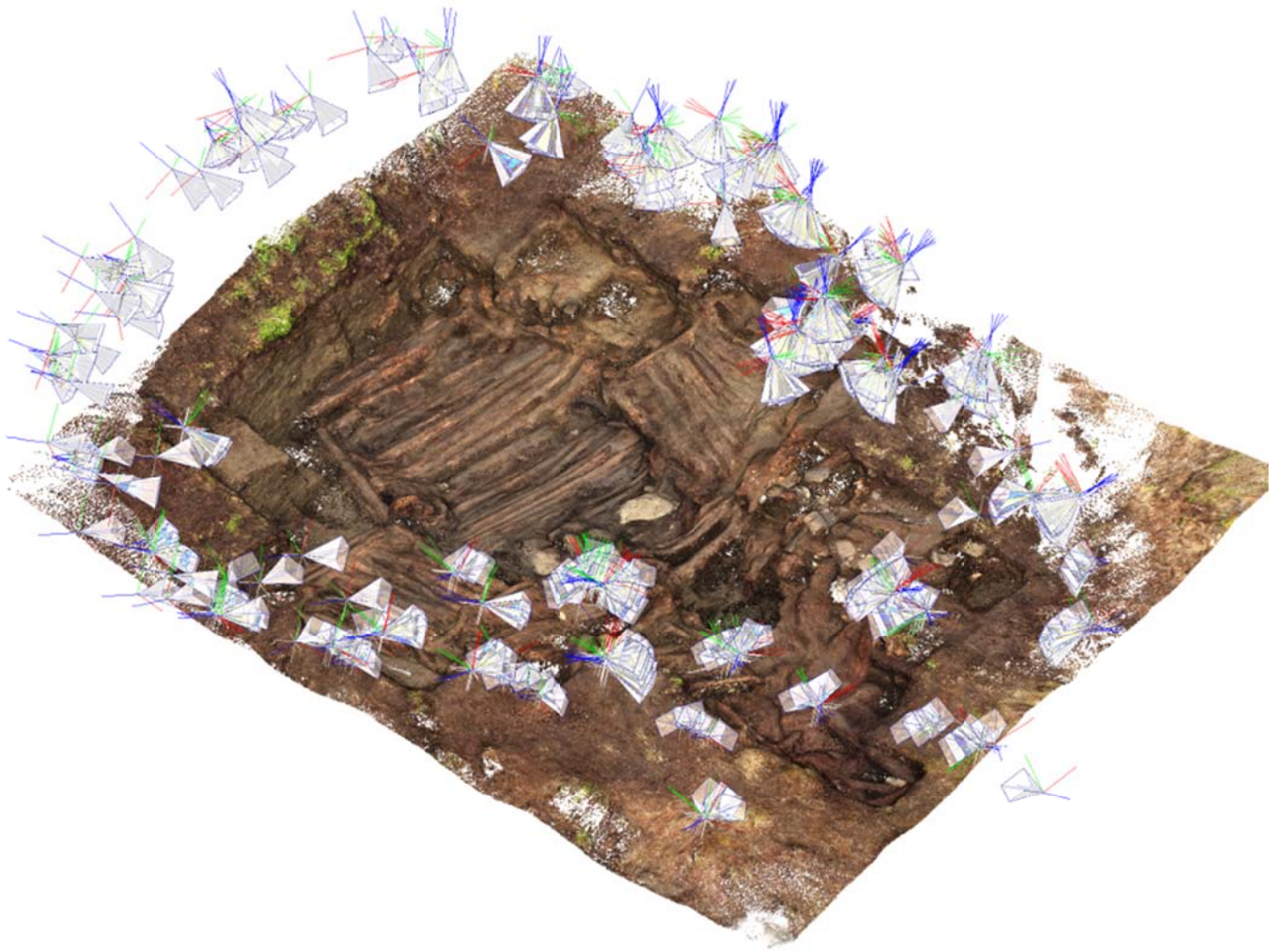


Figure 7. A3H5, emplacement des prises de vue dans Meshlab (Réalisation : R. Méreuze)

Une partie du traitement des relevés fut faite sur le terrain, nous permettant de vérifier la fiabilité des données. Au total, ce sont treize niveaux qui ont été enregistrés et replacés dans un même système de coordonnées locales. Les techniques employées sont les mêmes que celles décrites pour la maison A5H1 avec une étape supplémentaire lors du nettoyage du nuage de points dans cloudCompare. Puisque nous voulions pouvoir afficher les différentes surfaces dans un même projet, nous devons donc les alléger au maximum, ce qui nous a été permis par l'outil de décimation de cloudCompare ; nous permettant de diviser par 10 ou 20 le volume des mesh sans pour autant perdre la précision nécessaire que nous avons établie à 2 cm, une erreur comparable aux relevés manuels. Ceci fait, il devient possible de déconstruire la fouille et d'observer les liens entre tous les éléments mis au jour, en trois dimensions et avec la facilité de manipulation permise par les logiciels actuels (figure 8).



Figure 9. *Superposition des couches (Réalisation : R. Méreuze)*

Parallèlement, à la fin de cette campagne de fouilles, la lasergrammétrie fut utilisée pour enregistrer le plus ancien niveau d'occupation alors découvert (figure 9). Comme nous l'avons dit, le but de ce relevé était la conservation la plus précise et la plus fine de cet important élément du patrimoine inuvialuit. Pour ce relevé, le choix du laser fut porté sur le Faro Focus 3D pour son faible encombrement. Les résultats obtenus avec un Leica HDS7000 auraient pu être meilleurs, mais les possibilités de transport sur place (tout le matériel de fouille doit être apporté par hélicoptère avant d'être acheminé à pied sur le site) nous forçaient à choisir le matériel le moins encombrant possible.

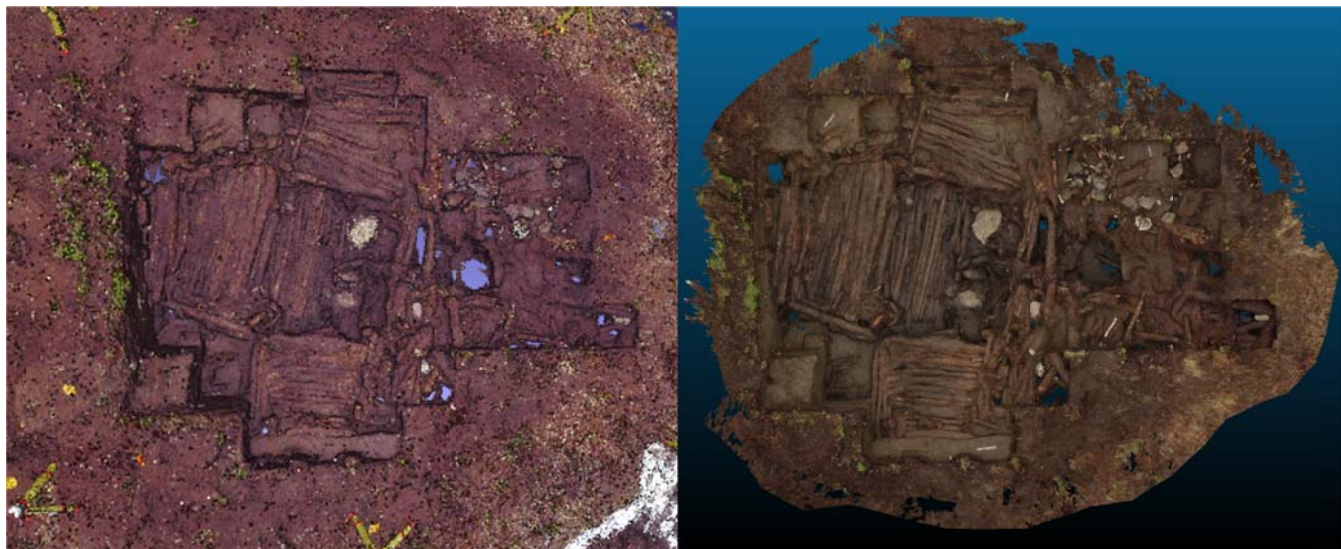


Figure 9. *Modèles obtenus en lasergrammétrie (à gauche) et photogrammétrie (à droite)*
(Lasergrammétrie par A. Jahraus, photogrammétrie par R. Méreuze)

L'utilisation du laser était ainsi motivée par les possibilités offertes par cette technique de contrôler de la qualité du relevé tout au long du processus. Durant l'utilisation d'un SLT⁷, l'échelle est mesurée indépendamment pour chaque point et peut être vérifiée avec différents outils de calibrations. Il devient alors possible d'obtenir un modèle géométriquement juste, dans lequel chaque prise de mesure est correcte, quel que soit le secteur du nuage de points concerné.

De plus, dans l'Arctique, comme dans la plupart des environnements côtiers, la météo est très variable ; cela implique des changements fréquents de lumière ce qui n'influe pas sur le relevé laser, contrairement à la photogrammétrie. La comparaison des deux techniques est résumée dans le tableau suivant (tableau 1).

Récapitulatif et comparaisons

L'utilisation de deux techniques différentes venait donc répondre à deux enjeux parallèles. D'un côté la photogrammétrie, peu encombrante et souple dans son utilisation, qui nous a permis de relever les différentes étapes de fouilles. De l'autre, le scanner qui, dans une perspective bien plus métronomique, nous garantissait la sauvegarde d'un maximum d'information avec une fiabilité parfaitement maîtrisée.

⁷ « Scanner Laser Terrestre »

| Technique | Avantages | Inconvénients |
|------------------------|--|--|
| Lasergrammétrie | <ul style="list-style-type: none"> - Contrôle de la qualité de l'enregistrement des données au cours du relevé - Robustesse d'enregistrement sous lumières changeantes - Précision à 5 mm (voire plus précis) | <ul style="list-style-type: none"> - Équipement très coûteux (plusieurs dizaines de milliers d'euros) - Procédé long sur le terrain (plusieurs heures) - Matériel relativement encombrant |
| Photogrammétrie | <ul style="list-style-type: none"> - Rapidité d'exécution sur le terrain - Très faible coût - Peu encombrant - Précision centimétrique | <ul style="list-style-type: none"> - Contrôle de la qualité moins fort (échelle relative) - Quantité de données limitée au moment du traitement - Faiblesse de la technique sous des lumières changeantes |

Tableau 1. Récapitulatif de la comparaison entre lasergrammétrie et photogrammétrie

Deux modèles pour une maison

Dans un contexte sensible, celui d'un site primordial dans la compréhension du passé des Inuvialuit menacé de disparition prochaine par l'érosion, l'utilisation de la 3D s'est révélée être un outil précieux. Il nous a permis d'accélérer les relevés de structures complexes tout en nous assurant une conservation des mesures. Nous pouvions prendre des risques dans notre stratégie de fouille tout en sachant que nous pourrions revenir sur le modèle pour déconstruire la fouille en cas de besoin. L'enregistrement tridimensionnel était aussi là pour enregistrer le plus fidèlement possible cette maison constituant un élément clé du patrimoine inuvialuit.

La confrontation des deux techniques nous a confortés dans leur utilité sur le terrain, tout en gardant à l'esprit que chacune est adaptée à des besoins spécifiques. La lasergrammétrie a ainsi prouvé son intérêt pour la conservation fine et précise d'un patrimoine qui n'existera bientôt plus. Parallèlement, la photogrammétrie répondait aux besoins des archéologues en termes de souplesse d'utilisation, de légèreté du matériel requis et même de la précision qui correspond à celle des relevés manuels traditionnels.

Bibliographie

- ARNOLD Ch. D., 1988. « Vanishing Villages of the Past: Rescue Archaeology in the Mackenzie Delta », *The Northern Review*, 1: 40-58.
- ARNOLD, C., 1994. « Archaeological investigations on Richards Island », *Bridges Across Time: The NOGAP Archaeological Project*. Canadian Archaeological Association Occasional Paper, 2 : 85-93.
- BETTS M., 2008, *Subsistence and Culture in the Western Canadian Arctic : A Multicontextual Approach*. Mercury Series 169, Canadian Museum of Civilization, Gatineau.
- CIGNONI, P., CALLIERI, M., CORSINI, M., DELLEPIANE, M., GANOVELLI, F., & RANZUGLIA, G., 2008. « Meshlab: an open-source mesh processing tool », *Eurographics Italian Chapter Conference*, vol. 2008 : 129-136.
- DAWSON, P. D., R.M. LEVY, G. OETELAAR, C. ARNOLD, D. LACROIX, & G. MACKAY, 2009. « Documenting Mackenzie Inuit architecture using 3D laser scanning », *Alaska Journal of Anthropology*, 7 (2) : 29-44.
- DAWSON, P., M. BERTULLI, L. DICK & L. COUSINS, 2015. « Heritage Overlooked and Under Threat: Fort Conger and the Heroic Age of Polar Exploration » in Biehl, P. F. & C. Prescott (dir.) *Identity and Heritage: Contemporary Challenges in a Globalizing World*, Springer: 107-115.
- FARMER, J. R., T.M. CRONIN, A. DE VERNAL, G. S. DWYER, L. D. KEIGWIN & R. C. THUNELL, 2011. « Western Arctic Ocean temperature variability during the last 8000 years », *Geophysical Research Letters*, 38 (24).

- FORTESCUE, M., S. JACOBSON & L. KAPLAN, 2010. *Comparative Eskimo dictionary : with Aleut cognates*, Alaska Native Language Center, University of Alaska Fairbanks, 2^e édition.
- FRIESEN, T. M., 1999. « Resource structure, scalar stress, and the development of Inuit social organization », *World Archaeology*, 31(1): 21-37.
- FRIESEN, T. M., 2009. « Dynamic Inuit social strategies: Environment and society during the Thule Migration. », *Unpublished Nunavut Archaeology Permit Report*.
- FRIESEN, T. M., 2015. « The Arctic CHAR Project: Climate Change Impacts on the Inuvialuit Archaeological Record », *Les nouvelles de l'archéologie*, (141) : 31-37.
- FRIESEN T. M., ARNOLD Ch. D. 2008. « The Timing of the Thule Migration : New Dates from the Western Canadian Arctic », *American Antiquity*, 73 (3): 527-538.
- GIRARDEAU-MONTAUT, D., 2011. Cloudcompare-open source project. *OpenSource Project*.
- LEMMEN, D.S., F.J. WARREN, T.S. JAMES & C.S.L. MERCER CLARKE, 2016. *Canada's Marine Coasts in a changing Climate*, Government of Canada.
- MARS, J. C., & D. W. HOUSEKNECHT, 2007. « Quantitative remote sensing study indicates doubling of coastal erosion rate in past 50 yr along a segment of the Arctic coast of Alaska », *Geology*, 35 (7): 583-586.
- MCGHEE, R., 1988. *Beluga Hunters: An archaeological reconstruction of the history and culture of the Mackenzie Delta Kittingaryumiut*, Canadian Museum of Civilization.
- MORRISON, D. (2000). « The Arrival of the Inuit: Amundsen Gulf and the Thule migration », *Identities and cultural contacts in the Arctic. Danish Polar Center Publication*, 8 : 221-228.
- NICHOLLS, R. J., & A. CAZENAVE, 2010. « Sea-level Rise and its Impact on Coastal Zones », *Science*, 328 (5985) : 1517-1520.
- PETITOT, E., 1887. *Les grands esquimaux*. Plon, Nourrit
- TAPETE, D., N. CASAGLI, G. LUZI, R. FANTI, G. GIGLI, D. & LEVA, 2013. « Integrating radar and laser-based remote sensing techniques for monitoring structural deformation of archaeological monuments », *Journal of Archaeological Science*, 40(1): 176-189.
- SLAUGHTER, D. C., 1982. « The Point Barrow type house: An analysis of archaeological examples from Siraagruk and other sites in Northern Alaska », *Anthropological Papers of the University of Alaska*, 20 (1-2): 141-158.
- STEFANSSON, V., 1919. *The Stefansson-Anderson arctic expedition of the American Museum: Preliminary ethnological report* (Vol. 11).
- THERRIEN, M. (1987). *Le corps inuit*, Presses Universitaires de Bordeaux.
- WMF 2008. World Monuments Watch 2008: List of 100 Most Endangered Sites. World Monuments Fund, New York.