

Les différents phénomènes à l'origine des flux sédimentaires importants observés dans le Kongsfjorden, Svalbard



Rapport de stage - Master 1 BEE MAD

Présenté par Luc MOULINE

03/04/2023 – 02/06/2023

Maître de stage : Corentin GUILHERMIC

Tutrice du stage : Hélène HOWA

Année universitaire : 2022 – 2023

Promotion : MAD – Mer Anthropisation Diagnostic

Entreprise d'accueil : LPG – Laboratoire de Planétologie et de Géosciences

Université d'Angers
Faculté des Sciences
LPG UMR CNRS 6112
2/11 boulevard Lavoisier
49045 Angers



Maître de stage : Corentin GUILHERMIC
Tutrice du stage : Hélène HOWA
Entreprise d'accueil : LPG – Laboratoire de Planétologie et de Géosciences

Les différents phénomènes à l'origine des flux sédimentaires importants observés dans le Kongsfjorden, Svalbard

Rapport de stage de type 1 - Master 1 BEE MAD

Mer Anthropisation Diagnostique

Luc MOULINE

2022 - 2023

Résumé :

Le réchauffement climatique causé par l'anthropisation affecte de nombreux milieux dont certains des plus touchés étant les fjords arctiques de l'hémisphère Nord. Ces environnements sont particulièrement touchés car ceux-ci sont définis par les glaciers continentaux et surtout tidaux qui les composent. Ces changements donnent lieu à de plus longues saisons chaudes ce qui signifie une plus forte fonte de leurs glaciers, une érosion plus importante de leurs massifs montagneux par de plus fréquentes dépressions et par extension un transport de particules sédimentaires beaucoup plus important. Le but de cette étude est de découvrir quels sont les flux de sédiments les plus importants observés au Kongsfjorden pour en déduire l'impact sur les populations benthiques de foraminifères. Pour se faire, on étudie la granulométrie des sédiments provenant de carottes sédimentaires prélevées depuis 8 stations dans le bassin du Kongsfjorden. On passe les échantillons créés à partir des tranches de la carotte au granulomètre pour obtenir des mesures granulométriques des sédiments étudiés en fonction de la profondeur. L'étude au granulomètre nous apprend que les sédiments de surface (0.25 cm) sont similaires dans toutes les stations étudiées mais aussi que, en fonction de la profondeur et de la proximité avec la côte, et donc les glaciers continentaux, les stations les plus proche de la côte (StT2, StT3 et St11 avec la Station 3 comme seule exception) avec la Station 8 montrent des intervalles de sable fin que l'on ne retrouve pas dans celles qui sont au large (St7, St5 et St2). Ces différences sont probablement dues à la distance entre les stations et les glaciers continentaux. La décantation des plumes turbides, créées par les flux importants de sédiments générés eux-mêmes par la fonte des glaciers, est probablement le flux de sédiment le plus important observé dans le Kongsfjorden.

Mots clefs : sédiments, glaciers, saisonnalité, érosion, transport.

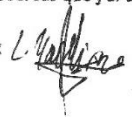
Abstract:

The global warming induced by human activities has a powerful impact on many environments. Among them, some of the most affected are the North hemisphere arctic fjords. These habitats are strongly affected because they are defined by the different continental and tidal glaciers that compose them. These meteorological changes create summer seasons that are much longer than they used to be, which leads to a higher melting rate for glaciers, a stronger erosion phenomenon of continental glaciers and neighboring mountains due to more frequent and powerful rains, which will lead to a much higher transport of sediment and other particles. The main goal of the paper is to understand what are the main sources of sediments in the Kongsfjorden and how they impact the benthic habitats and the foraminifera populations living in it. We study the granulometry of the sediments from the sedimentary carrots recovered from 8 stations found inside the Kongsfjorden inner-pool. We then insert samples created from slices made from the sedimentary carrots into a particle size analyzer to obtain granulometric measures of the studied sediments by their depth. The particle size analyzer shows us that the sediments found at the surface of each station (0.25 cm) are very similar to each other. However, when looking deeper, the stations closest to the coast (StT2, StT3 and St11 with the exception Station 3) with Station 8 show intervals of very fine sand that are not found in the farthest stations, which are St7, St5 et St2. That difference is probably the product of the distance between the stations and the continental glaciers. The decantation process of the turbid plumes, which are made from the great sediment flows caused by the melting of the glaciers, are probably the most important source of sediment in the Kongsfjorden.

Key words: sediment, glaciers, seasonality, erosion, transport.

ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Je, soussigné (e) Luc MOULINE,
déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un
document publiés sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation
des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer
toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce rapport ou mémoire.

Signature : 

Remerciements :

Je voudrais particulièrement remercier Corentin GUILHERMIC et Hélène HOWA pour l'aide incommensurable qu'ils ont pu m'apporter lors de l'écriture de ce rapport et plus particulièrement lors de l'analyse des données. Leur aide pour l'écriture et la structuration du travail m'a été d'un grand secours. Corentin m'a beaucoup aidé pour les parties pratiques et l'obtention des données ainsi qu'à leur analyse. Hélène, de son côté, m'a beaucoup aidé pour l'interprétation des différents données obtenues et m'a permis d'approfondir mes connaissances sur l'origine des flux sédimentaires. Elle m'a aussi apporté une aide précieuse pour la rédaction et la forme de ce rapport.

Sommaire :

1. Introduction :
2. Matériel et méthodes :
 - 2.1. Procédure d'échantillonnage
 - 2.2. Analyses de laboratoire
 - 2.3. Analyses statistiques
3. Résultats :
 - 3.1. Etude granulométrique des sédiments de surface
 - 3.2. Etude granulométrique des sédiments des carottes selon la profondeur
4. Interprétation :
5. Conclusion :

Liste des figures et tableaux :

Figure 1 : Localisation des stations étudiées lors de la mission de Août 2022.

Figure 2 : Représentation graphique de la proportion des grains sédimentaires par rapport à leur taille à la surface du sédiment (0.25 cm de profondeur).

Figure 3 : Représentation graphique des modes principaux et secondaires des grains sédimentaires des stations étudiées selon la profondeur.

Préambule :

Ce stage a été effectué dans le laboratoire LPG "Laboratoire de Planétologie et Géosciences" qui est une Unité Mixte de Recherche, sigle UMR-CNRS 6112, plus particulièrement dans l'équipe de recherche de l'Université d'Angers. Cette équipe est centrée sur le thème de recherche "Systèmes Littoraux et Marins". Au sein de ce thème de recherche, cette étude s'inscrit dans le sous-thème "**Fonctionnement des écosystèmes marins actuels**".

Le travail présenté ici a été effectué dans le cadre de la **thèse de Corentin GUILHERMIC** (2020-2023 ; Stabilité physique et chimique des habitats benthiques des fjords du Svalbard) et dans le cadre du **projet INSU BEGIN** (Benthos under Arctic melting Glacier Influence) dirigé par Dr. NARDELLI Maria Pia. Le but de ces projets est d'étudier l'impact de la fonte et du retrait progressif des glaciers arctiques sur les habitats benthiques et par extension sur les populations de foraminifères qui s'y développent.

Dans le cadre de ce stage, j'ai travaillé principalement sur les analyses granulométriques des sédiments récoltés pendant la mission KONBHAS d'Août 2022 par l'équipe de Dr. NARDELLI Maria-Pia. Pour ce faire, j'ai utilisé le granulomètre laser MASTER SIZER 3000 du laboratoire angevin. L'objectif est de caractériser les sédiments issus des fontes glaciaires qui se déposent dans les environnements benthiques et peuvent ainsi perturber les faunes.

1. Introduction :

Le rapide réchauffement climatique provoqué par les activités anthropogéniques a un impact important sur nos océans. L'hémisphère Nord en particulier souffre énormément de ces changements à cause notamment d'un apport en eaux Atlantiques and Pacifiques chaudes plus important et des saisons estivales plus longues et plus chaudes augmentant les dépressions et réduisant la régénération des glaciers tidaux et continentaux. Le Svalbard, archipel situé à l'Est du Groënland et au Nord de la Norvège, est un cas d'étude particulièrement intéressant à ce sujet.

Dans le cadre de ce stage, j'ai travaillé sur les sédiments d'interface récoltés depuis 8 stations réparties de 2 à 10 km du front du glacier Kronebreen, lors de la mission KONBHAS d'Août 2022.

La zone d'étude de la Mission KONBHAS est située dans un des nombreux fjords qui découpent la côte Ouest du Svalbard. Les fjords arctiques, autrefois recouverts de banquises, sont libres de glace pendant presque toute l'année depuis près de 10 ans, et les glaciers qui l'entourent, glaciers continentaux (terminaison à terre) et tidaux (terminaison en mer), rétrécissent petit à petit chaque année. Le Kongsfjorden, sujet de cette étude, est un fjord de près de 52 km de long accueillant à sa tête deux massifs glaciers tidaux : le Kongsbreen et le Kronebreen. Le recul important de ses langues de glaces flottantes a causé la création d'un bassin profond qui est un réceptacle parfait pour tous les sédiments glaciaires érodés et transportés vers le fjord par les glaciers tidaux. En conséquence, l'environnement benthique, impacté par des dépôts sédimentaires annuels de plusieurs centimètres d'épaisseur, est en constant changement physico-chimique. L'objectif est de caractériser la granulométrie des sédiments issus des fontes glaciaires et d'identifier les différents phénomènes à l'origine de ces flux de sédiments qui s'accumulent depuis quelques années dans le Kongsfjorden

2. Matériel et Méthode :

2.1. Procédure d'échantillonnage :

Les différents échantillons étudiés ont été prélevés entre le 17 et 24 Août 2022 et proviennent de 8 différentes stations : la station 2, 5, 7, 8, 3, 11, T2 et T3 respectivement situés à 52, 65, 63, 130, 38, 51, 76 et 103m de profondeur (Fig. 1).

Les échantillons ont été collectés à l'aide d'une benne de prélèvement (Day Grab crée par KC Denmark AS) manœuvré à partir du bateau océanographique « Teisten », avec l'exception de la station St2 dont la carotte a été prélevé à l'aide d'une carotte longue GéMAX. Le bateau de recherche est tout d'abord placé aux coordonnées GPS exactes de chaque station et la benne est ensuite descendue jusqu'au fond. Lorsqu'elle touche le fond, un mécanisme permet de refermer la benne pour collecter les sédiments jusqu'à environ 20cm de profondeur. Ensuite, en laboratoire, des carottes sont découpées en tranches de 0.5 à 1 cm d'épaisseur (voir en annexe 3 le plan de découpe).

Les sédiments récupérés ainsi sont placés dans des tubes en plastique (d'environ 60 cl) dotés de bouchons jusqu'à en remplir les 3 quarts. Ensuite, les échantillons sont lyophilisés pour

éliminer toute trace d'eau ou d'humidité. Cette étape qui stoppe toute réaction biogéochimique dans les sédiments permet de les stocker secs jusqu'aux analyses de laboratoire.

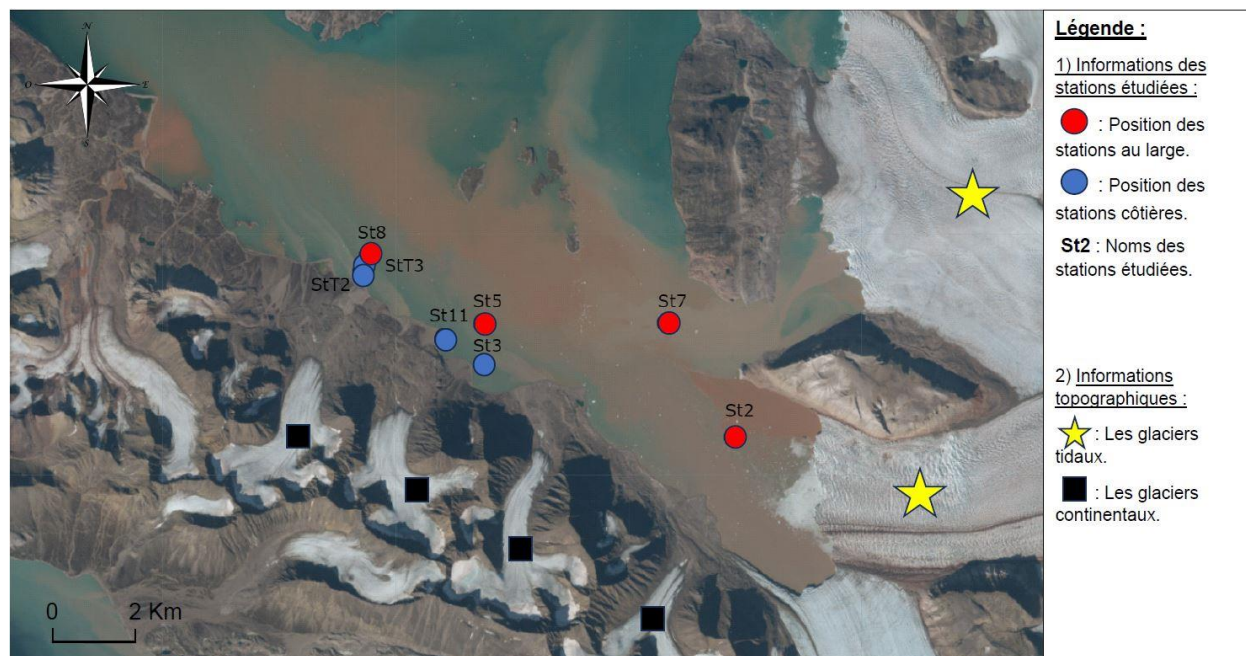


Fig. 1 : Localisation des stations du Kongsfjorden, étudiées lors de la mission KONBHAS - Août 2022. Les signes ★ indiquent les glaciers tidaux, du haut vers le bas : le Kongsbreen et le Kronebreen. Les signes ■ indiquent la position des glaciers continentaux sur la côte sud du fjord, de la gauche vers la droite : Vestre Lovenbreen, Midtre Lovenbreen, Auste Lovenbreen et Pedersenbreen.

2.2. Analyses en laboratoire :

Avant toute mesure, les échantillons secs sont réduits en morceaux grossiers à l'aide d'une spatule puis en grains très fins à l'aide d'un pilon dans un mortier. Une partie de l'échantillon est destinée à l'étude granulométrique et une autre partie est réservée pour les tests ascorbates réalisés par deux de mes collègues de M1 MAD, Ninon Le Bras et Enzo Huet.

Pour l'étude granulométrique, les échantillons sont homogénéisés à l'aide de la spatule avant de prélever entre 2 et 3 cuillères de sédiment qui sont ensuite placées dans des piluliers de 40 ml dotés de bouchons. On y ajoute ensuite un peu d'eau distillée pour humidifier l'argile et rendre le processus de création des prochains échantillons pour l'analyse granulométrique plus simple.

Ensuite, une portion importante (environ $6/8^e$) des morceaux est remplacée dans leur tube d'origine pour de possible futurs tests et le reste est réduit en grains très fins à l'aide d'un pilon. L'argile très fine obtenue de cette façon est placée dans de petits récipients en plastique rectangulaires d'environ 10ml que j'ai ensuite donné à mes collègues pour qu'ils puissent réaliser leur tests ascorbates.

A partir des échantillons humidifiés seront créés des solutions qui sont un mélange d'eau et de sédiment. Pour chaque échantillon, 0.2g de sédiments sont prélevés et placés dans des célestines en verre de 20 ml avant d'être remplie avec de l'eau distillée. Les solutions obtenues

ainsi doivent être passées à l'agitateur pendant 3 minutes pour maximiser leur homogénéité et détruire les possibles amas de particules fines qui pourraient donner des valeurs erronées lors des mesures. Après le passage à l'agitateur, les solutions sont introduites dans le bassin du granulomètre. Pour plus de sûreté il est recommandé de passer chaque échantillon introduit aux Ultra-sons pendant près de 30s pour désolidariser les amas de particules persistantes.

L'analyse granulométrique consiste en 3 mesures par échantillons, si une des mesures semble incohérente ou absurde, il suffira de repasser l'échantillon aux ultra-sons pendant 30s avant de relancer la séquence de mesure. Si les mesures sont encore inutilisables après le second passage aux ultra-sons, il est conseillé de vider le granulomètre, de le nettoyer soigneusement et refaire une solution.

2.3. Analyses statistiques :

Toutes les données issues du granulomètre laser seront ensuite exportées au format Excel. Ce tableau de données est analysé grâce au logiciel GRADISTAT développé par Dr Simon J Blott pour le calcul des paramètres granulométriques : moyenne, écart-type, quartiles, médiane (D50), décile D10 et D90, asymétrie et le mode, avec les méthodes Arithmétique et Géométrique. Seuls les résultats calculés par la méthode Arithmétique ont été sélectionnés pour la caractérisation des sédiments du Kongsfjorden.

3. Résultats :

3.1. Etude granulométrique des sédiments de surface :

Les résultats détaillés sont donnés en annexe 3 : un tableau rassemblant les paramètres granulométriques de tous les échantillons analysés.

La description de résultats ci-dessous sera ciblée sur l'analyse des modes principaux et secondaires car ces paramètres sont considérés comme les plus représentatifs des distributions granulométriques des sédiments étudiés.

L'étude granulométrique montre que les sédiments de surface, à toutes les stations étudiées, présentent un pourcentage silt/argile > 94% (Annexe 3), avec une distribution granulométrique unimodale. Les modes sont tous compris entre 7 et 10 microns et les D90 ne dépassent nullement 46 microns (Fig. 2 et Annexe 3). Aussi, bien que la St2 montre une population plus hétérogène en générale elle reste dans la même portée de données que les autres stations. Les sédiments de surface à l'amont du Kongsfjorden, jusqu'à 10 km du front du glacier Kronebreen, sont donc des silts très fins, bien classés. Ces dépôts proviennent de la décantation des plumes turbides qui se rependent dans le fjord. L'eau de fonte des glaciers, notamment sous glaciaire, transporte vers le fjord les particules fines (cf. farine glaciaire) provenant du broyage du substratum par le fluage du glacier. Les silts fins projetés dans le fjord dans la plume turbide se déposent sous forme de crème de vase d'une épaisseur de 1 à 2 cm (observation de terrain de Guillhermic C.).

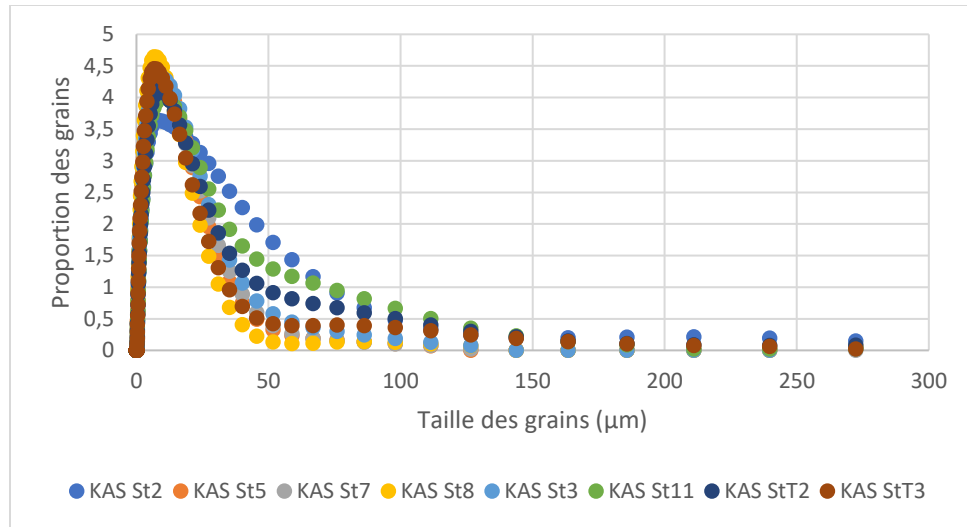


Fig. 2: Distribution granulométrique des sédiments de surface des 8 stations du Kongsfjorden.

3.2. Etude granulométrique des sédiments des carottes :

L'étude granulométrique des sédiments dans les carottes (Fig. 3) montrent que les sédiments sont identiques aux sédiments de surface sur toute la longueur des carottes des trois stations 2, 5 et 7.

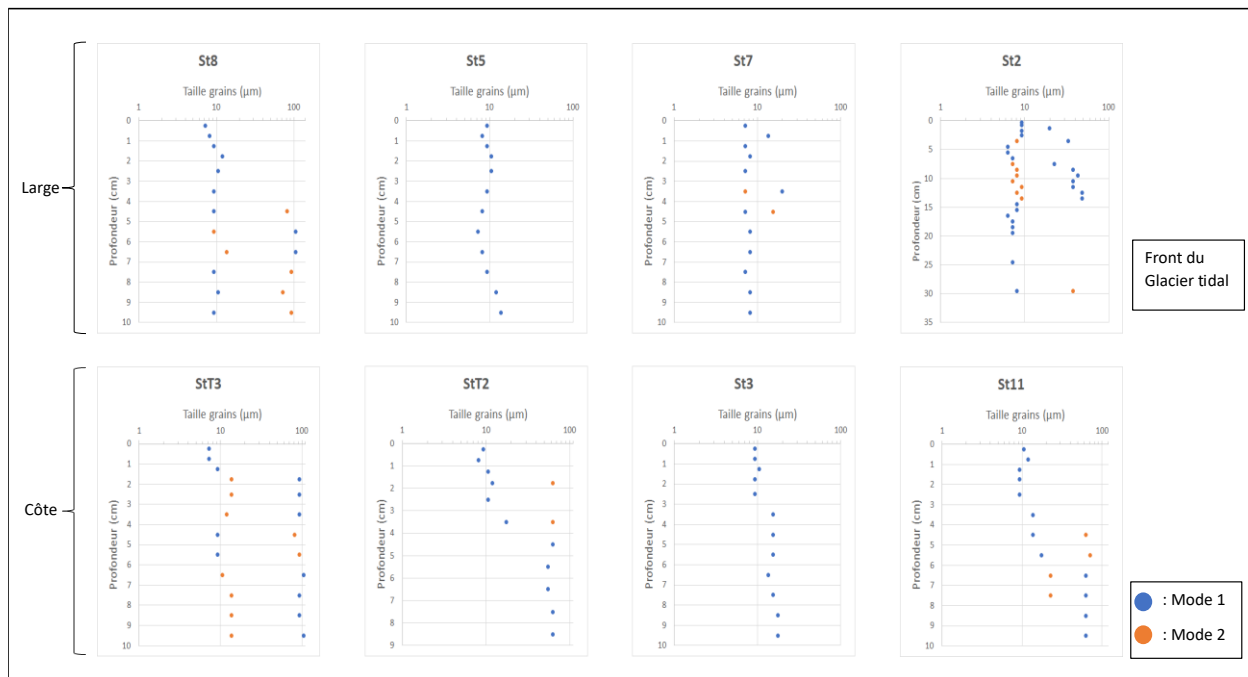


Fig. 3: Profils des modes principaux et secondaires (μm) de la granulométrie des sédiments prélevés en Aout 2022 dans le Kongsfjorden.

Donc dans les zones profondes de l'axe du fjord aucune variation de sédimentation n'est enregistrée. A la station 3 plus côtière, abritée à l'amont d'un delta, la sédimentation de silts très

fins est aussi homogène, sans variabilité temporelle. Pour les stations 8, 11, T2 et T3, situées à proximité de la côte sud du fjord, des intervalles de plusieurs cm de sable fin s'intercalent dans les dépôts de silts très fins identiques à ceux décrits en surface. Ces sables fins, à mode principal compris entre 55 et 104 μ , montrent le plus souvent des distributions granulométriques qui deviennent bimodales, avec un 2^{ème} mode à 10 μ .

4. Interprétation :

Concernant l'étude des carottes sédimentaires, il est important de connaître leur durée d'enregistrement, mais nous n'avons pas de datation (type ^{14}C ou ^{210}Pb) à notre disposition. D'après Angelo et al. (2018) et Cottier et al. (2005 et 2010) le taux de sédimentation dans le Kongsfjorden est extrêmement variable, d'une année à l'autre, et présente aussi une variabilité spatiale. Néanmoins, des études récentes (Fossile et al., 2022 ; et observations de terrain de C. GUILHERMIC) indiquent un ordre d'idée du taux de sédimentation, à l'amont du fjord, qui peut être estimé à quelques centimètre par an. Donc les carottes étudiées de 10 cm de long (sauf pour la station 2 de 24,5 cm de long) ont enregistré les dépôts des 3 à 4 dernières années. Toutes les stations côtières (StT2, StT3, St11 et St3) avec la station 8 sont sous l'influence de l'écoulement des rivières du Sud du Kongsfjorden qui drainent les glaciers continentaux du Vestre Lovenbreen, Midtre Lovenbreen, Auste Lovenbreen et Pedersenbreen. Bien qu'il y ait un apport notable en sable fin, la proportion de silt fin reste toujours au-dessus de 65% (Annexe 3). La disparité granulométrique entre les stations du large et côtières est probablement due à leur distance par rapport à la côte sud, occupée de reliefs couverts de glaciers continentaux.

La très forte saisonnalité de la fonte des glaciers (D'Angelo et al, 2018 ; Trusel et al, 2010 ; Meslard et al, 2018 ; Husum et al, 2019, Dallman, 2015) est due à la variabilité des dépressions et des températures estivales. Les conditions atmosphériques des périodes chaudes et pluvieuses augmentent les fontes glaciaires et donc les débits de ruissellement, et augmentent aussi l'érosion des substrats à l'affleurement. Ainsi les flux sédimentaires sont alors probablement plus importants mais aussi composés de sédiments plus grossiers (cf. annexe 2), dans notre cas, les sables fins. Les carottes des stations proches de la côte sud auraient donc enregistré des dépôts estivaux marqués par une nette inter-annualité, qui n'est pas visible dans les stations profondes de l'axe du fjord.

5. Conclusion :

Mes résultats et mes observations, en conjonction avec les différents articles lus suggèrent que les origines des flux sédimentaires sont diverses. Le flux le plus important observé est issu de la décantation des grandes plumes turbides alimentées des eaux de fonte glaciaires. Des flux secondaires plus grossiers (sable fin) proviennent du drainage des glaciers continentaux qui montrent une variabilité interannuelle qui reste à caractériser en plus grand détail.

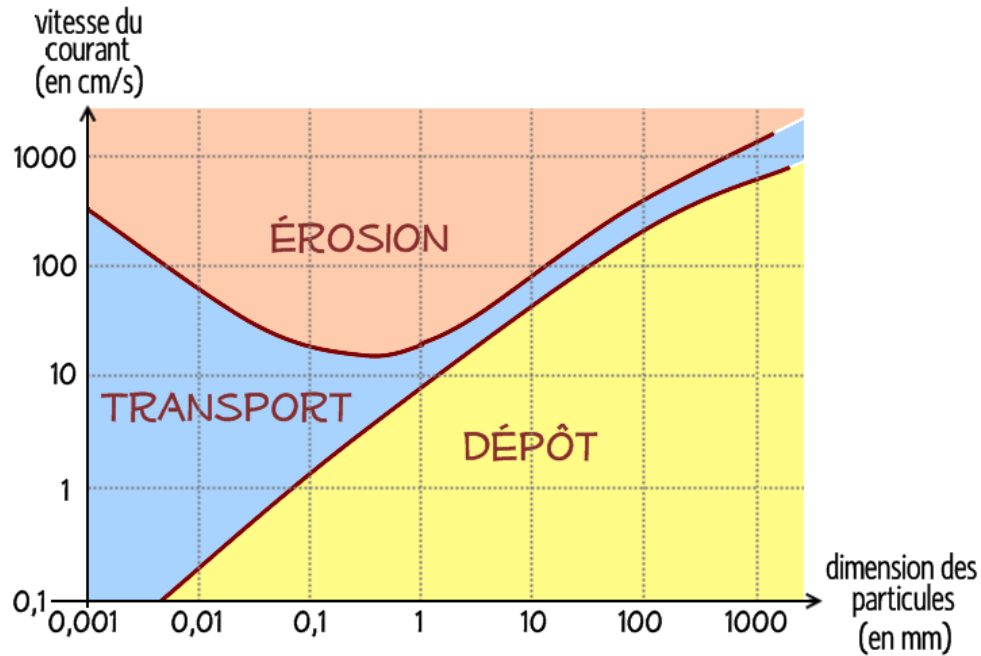
Les dépôts épais et fréquents de silt et sable perturbent la stabilité physico-chimique des habitats benthiques, en premier lieu à cause de l'enfouissement physique du fond et aussi par de très probables changements des caractéristiques géochimiques des sédiments importés.

De plus, avec l'augmentation de la durée des saisons estivales et l'augmentation associée en intensité des événements de floraisons algales (Lydersen et al, 2018), on peut s'attendre à un apport plus important en particules organiques vers les fonds du fjord.

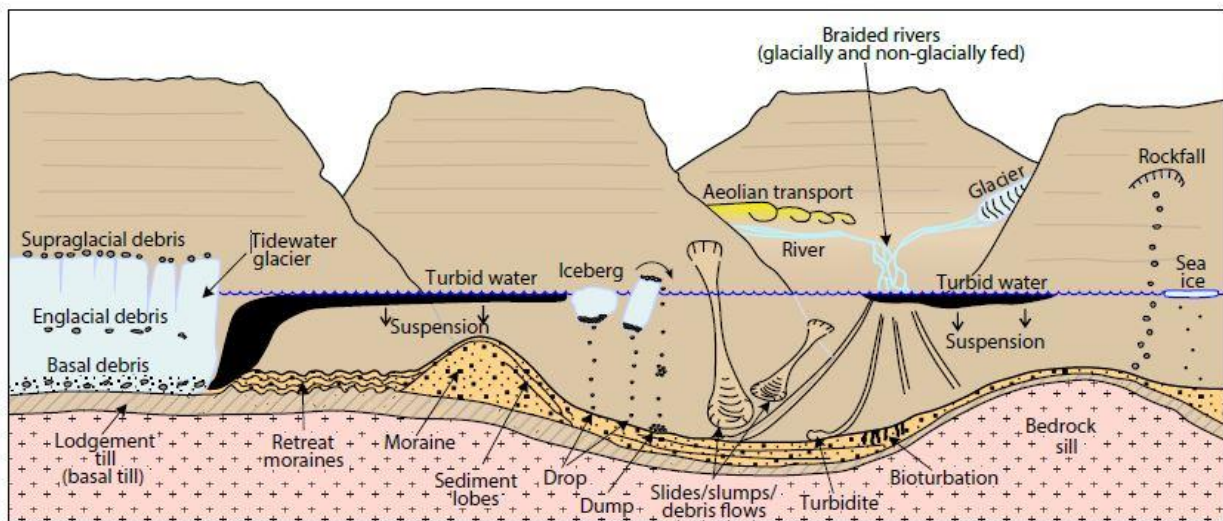
Bibliographie :

- Cottier, F. R., Nilsen, F., Skogseth, R., Tverberg, V., Skarðhamar, J., & Svendsen, H. (2010). Arctic fjords: a review of the oceanographic environment and dominant physical processes. Geological Society, London, Special Publications, 344(1), 35-50.
- Cottier, F. R., Tverberg, V., Inall, M., Svendsen, H., Nilsen, F., & Griffiths, C. (2005). Water mass modification in an Arctic fjord through cross-shelf exchange: The seasonal hydrography of Kongsfjorden, Svalbard. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 110(C12).
- Dallmann, W. K. (2015). Geoscience atlas of Svalbard.
- D'Angelo, A., Giglio, F., Miserocchi, S., Sanchez-Vidal, A., Aliani, S., Tesi, T., ... & Langone, L. (2018). Multi-year particle fluxes in Kongsfjorden, Svalbard. *Biogeosciences*, 15(17), 5343-5363.
- Fossile, E., Nardelli, M. P., Howa, H., Baltzer, A., Poprawski, Y., Baneschi, I., ... & Mojtahid, M. (2022). Influence of modern environmental gradients on foraminiferal faunas in the inner Kongsfjorden (Svalbard). *Marine Micropaleontology*, 173, 102117.
- Husum, K., Howe, J. A., Baltzer, A., Forwick, M., Jensen, M., Jernas, P., ... & Troelstra, S. R. (2019). The marine sedimentary environments of Kongsfjorden, Svalbard: an archive of polar environmental change.
- Lydersen, C., Assmy, P., Falk-Petersen, S., Kohler, J., Kovacs, K. M., Reigstad, M., ... & Zajaczkowski, M. (2014). The importance of tidewater glaciers for marine mammals and seabirds in Svalbard, Norway. *Journal of Marine Systems*, 129, 452-471.
- Meslard, F., Bourrin, F., Many, G., & Kerhervé, P. (2018). Suspended particle dynamics and fluxes in an Arctic fjord (Kongsfjorden, Svalbard). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 204, 212-224.
- Simon J Blott, GRADISTAT
- Trusel, L. D., Powell, R. D., Cumpston, R. M., & Bringham-Grette, J. (2010). Modern glacimarine processes and potential future behaviour of Kronebreen and Kongsvegen polythermal tidewater glaciers, Kongsfjorden, Svalbard. Geological Society, London, Special Publications, 344(1), 89-102.

Annexe :



Annexe 1 : Diagramme de Hjulström indiquant les processus de dépôt, transport ou érosion affectant des particules en fonction de leur taille et de la vitesse du courant.



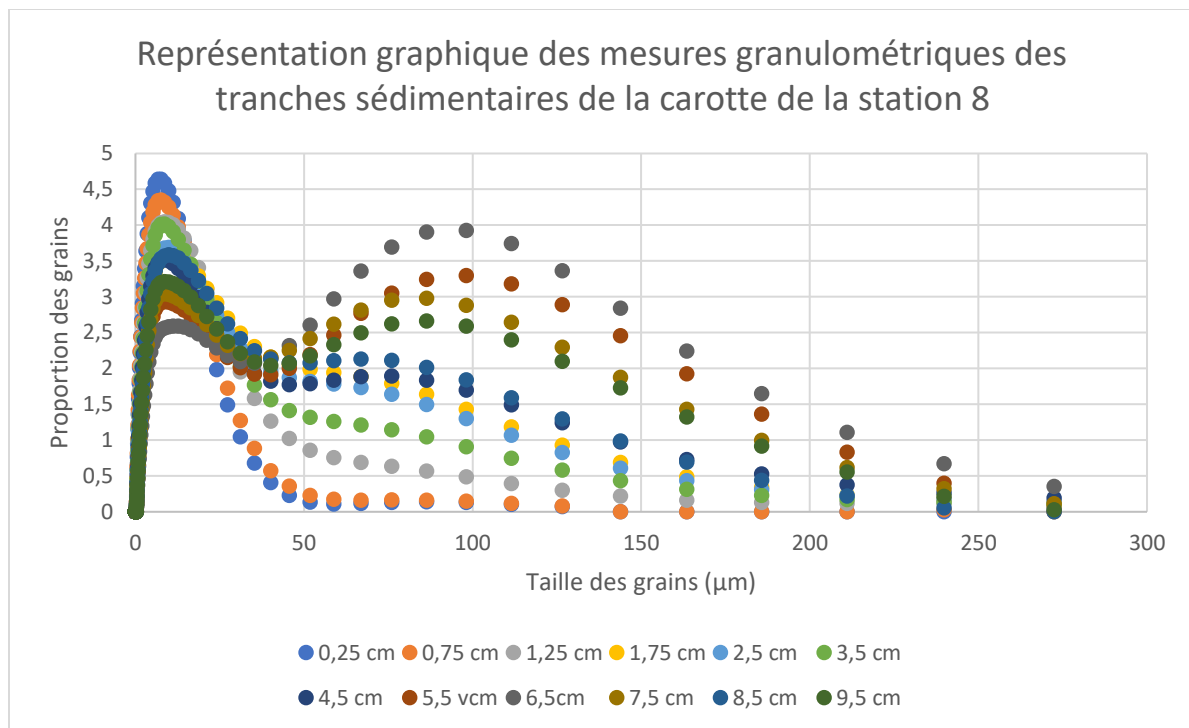
Annexe 2 : Les différentes sources sédimentaires et processus de dispersion et érosion des fjords arctiques (*redessiné d'après Hambrey 1994 and Howe et al. 2010*). Dessiné Jan P. Holm. Tiré de Dallmann, W. K. (2015). Geoscience atlas of Svalbard.

	PROFONDEUR (cm):	MODE 1 (µm):	MODE 2 (µm):	D ₉₀ (µm):	% GRAVEL:	% SAND:	% MUD:
KAS St2 1	0,25	9,267		46,15	0,0%	5,8%	94,2%
KAS St2 2	0,75	9,267		51,92	0,0%	7,5%	92,5%
KAS St2 3	1,25	19,93		39,23	0,0%	2,9%	97,1%
KAS St2 4	1,75	9,267		35,15	0,0%	3,1%	96,9%
KAS St2 5	2,5	9,267		33,31	0,0%	1,9%	98,1%
KAS St2 6	3,5	33,22	8,157	53,43	0,0%	6,9%	93,1%
KAS St2 7	4,5	6,319		35,19	0,0%	3,7%	96,3%
KAS St2 8	5,5	6,319		27,58	0,0%	2,1%	97,9%
KAS St2 9	6,5	7,179		31,47	0,0%	2,5%	97,5%
KAS St2 10	7,5	22,65	7,179	39,19	0,0%	2,8%	97,2%
KAS St2 11	8,5	37,74	8,157	57,55	0,0%	7,9%	92,1%
KAS St2 12	9,5	42,88	8,157	65,51	0,0%	11,3%	88,7%
KAS St2 13	10,5	37,74	7,179	55,71	0,0%	7,6%	92,4%
KAS St2 14	11,5	37,74	9,267	59,33	0,0%	8,8%	91,2%
KAS St2 15	12,5	48,72	8,157	71,66	0,0%	14,3%	85,7%
KAS St2 16	13,5	48,72	9,267	68,58	0,0%	12,7%	87,3%
KAS St2 17	14,5	8,157		48,83	0,0%	5,8%	94,2%
KAS St2 18	15,5	8,157		49,85	0,0%	6,4%	93,6%
KAS St2 19	16,5	6,319		33,14	0,0%	3,3%	96,7%
KAS St2 20	17,5	7,179		32,97	0,0%	4,2%	95,8%
KAS St2 21	18,5	7,179		39,91	0,0%	5,3%	94,7%
KAS St2 22	19,5	7,179		59,84	0,0%	9,3%	90,7%
KAS St2 23	24,5	7,179		49,32	0,0%	6,3%	93,7%
KAS St2 24	29,5	8,157	37,74	58,72	0,0%	8,8%	91,2%
KAS St5 1	0,25	9,267		24,97	0,0%	2,0%	98,0%
KAS St5 2	0,75	8,157		26,78	0,0%	2,4%	97,6%
KAS St5 3	1,25	9,267		28,13	0,0%	2,6%	97,4%
KAS St5 4	1,75	10,53		30,27	0,0%	2,6%	97,4%
KAS St5 5	2,5	10,53		39,17	0,0%	5,4%	94,6%
KAS St5 6	3,5	9,267		34,48	0,0%	4,0%	96,0%
KAS St5 7	4,5	8,157		26,21	0,0%	1,8%	98,2%
KAS St5 8	5,5	7,179		26,85	0,0%	2,2%	97,8%
KAS St5 9	6,5	8,157		36,54	0,0%	4,3%	95,7%
KAS St5 10	7,5	9,267		34,94	0,0%	3,7%	96,3%
KAS St5 11	8,5	11,96		40,48	0,0%	4,9%	95,1%
KAS St5 12	9,5	13,59		42,59	0,0%	5,1%	94,9%
KAS St7 1	0,25	7,179		26,09	0,1%	1,9%	98,0%
KAS St7 2	0,75	13,59		29,71	0,0%	1,4%	98,6%
KAS St7 3	1,25	7,179		26,27	0,0%	1,5%	98,5%
KAS St7 4	1,75	8,157		26,71	0,0%	1,3%	98,7%
KAS St7 5	2,5	7,179		27,55	0,0%	1,6%	98,4%
KAS St7 6	3,5	19,93	7,179	33,46	0,0%	1,5%	98,5%
KAS St7 7	4,5	7,179	15,44	34,25	0,0%	2,4%	97,6%
KAS St7 8	5,5	8,157		33,00	0,0%	2,1%	97,9%
KAS St7 9	6,5	8,157		31,41	0,0%	1,6%	98,4%
KAS St7 10	7,5	7,179		33,26	0,0%	3,2%	96,8%
KAS St7 11	8,5	8,157		34,00	0,0%	3,5%	96,5%
KAS St7 12	9,5	8,157		33,19	0,0%	3,1%	96,9%
KAS St8 1	0,25	7,179		21,15	0,0%	1,4%	98,6%
KAS St8 2	0,75	8,157		23,91	0,0%	2,5%	97,5%
KAS St8 3	1,25	9,267		35,29	0,0%	4,9%	95,1%
KAS St8 4	1,75	11,96		72,90	0,0%	12,3%	87,7%
KAS St8 5	2,5	10,53		67,51	0,0%	11,1%	88,9%
KAS St8 6	3,5	9,267		50,23	0,0%	7,7%	92,3%
KAS St8 7	4,5	9,267	81,18	84,05	0,0%	14,4%	85,6%
KAS St8 8	5,5	104,8	9,267	126,0	0,0%	26,7%	73,3%
KAS St8 9	6,5	104,8	13,59	138,6	0,0%	32,6%	67,4%
KAS St8 10	7,5	9,267	92,23	113,2	0,0%	23,3%	76,7%
KAS St8 11	8,5	10,53	71,45	81,99	0,0%	14,5%	85,5%
KAS St8 12	9,5	9,267	92,23	107,5	0,0%	20,9%	79,1%

Annexe 3 – partie 1 : Plan de découpe et principaux paramètres granulométrique des tousles échantillons KONBHAS 2022 (mode principal et secondaire, D90 et proportion de classe de taille).

KAS St3 1	0,25	9,267		27,92	0,0%	2,1%	97,9%
KAS St3 2	0,75	9,267		29,41	0,0%	3,0%	97,0%
KAS St3 3	1,25	10,53		29,56	0,0%	2,9%	97,1%
KAS St3 4	1,75	9,267		27,52	0,0%	2,0%	98,0%
KAS St3 5	2,5	9,267		29,80	0,0%	2,7%	97,3%
KAS St3 6	3,5	15,44		40,51	0,0%	4,6%	95,4%
KAS St3 7	4,5	15,44		47,20	0,0%	6,2%	93,8%
KAS St3 8	5,5	15,44		46,65	0,0%	6,1%	93,9%
KAS St3 9	6,5	13,59		46,97	0,0%	6,4%	93,6%
KAS St3 10	7,5	15,44		44,94	0,0%	5,6%	94,4%
KAS St3 11	8,5	17,55		49,88	0,0%	6,6%	93,4%
KAS St3 12	9,5	17,55		50,40	0,0%	6,6%	93,4%
KAS St11 1	0,25	10,53		43,38	0,0%	6,1%	93,9%
KAS St11 2	0,75	11,96		43,59	0,0%	6,1%	93,9%
KAS St11 3	1,25	9,267		38,28	0,0%	5,7%	94,3%
KAS St11 4	1,75	9,267		39,58	0,0%	5,8%	94,2%
KAS St11 5	2,5	9,267		42,81	0,0%	6,5%	93,5%
KAS St11 6	3,5	13,59		85,19	0,0%	15,4%	84,6%
KAS St11 7	4,5	13,59	62,89	92,37	0,0%	17,2%	82,8%
KAS St11 8	5,5	17,55	71,45	101,9	0,0%	20,6%	79,4%
KAS St11 9	6,5	62,89	22,65	101,7	0,0%	21,1%	78,9%
KAS St11 10	7,5	62,89	22,65	106,4	0,0%	22,0%	78,0%
KAS St11 11	8,5	62,89		109,7	0,0%	23,5%	76,5%
KAS St11 12	9,5	62,89		109,6	0,0%	23,7%	76,3%
KAS St12 1	0,25	9,267		38,85	0,0%	5,9%	94,0%
KAS St12 2	0,75	8,157		32,77	0,0%	5,0%	95,0%
KAS St12 3	1,25	10,53		70,40	0,0%	11,6%	88,4%
KAS St12 4	1,75	11,96	62,89	89,96	0,0%	16,9%	83,1%
KAS St12 5	2,5	10,53		79,93	0,0%	14,5%	85,5%
KAS St12 6	3,5	17,55	62,89	95,01	0,0%	19,3%	80,7%
KAS St12 7	4,5	62,89		98,18	0,0%	21,9%	78,1%
KAS St12 8	5,5	55,35		96,66	0,0%	20,9%	79,1%
KAS St12 9	6,5	55,35		95,96	0,0%	21,4%	78,6%
KAS St12 10	7,5	62,89		102,7	0,0%	24,0%	76,0%
KAS St12 11	8,5	62,89		101,7	0,0%	23,4%	76,6%
KAS St13 1	0,25	7,179		25,49	0,0%	3,0%	97,0%
KAS St13 2	0,75	7,179		23,58	0,0%	2,5%	97,5%
KAS St13 3	1,25	9,267		35,28	0,0%	5,0%	95,0%
KAS St13 4	1,75	92,23	13,59	124,6	0,0%	29,8%	70,2%
KAS St13 5	2,5	92,23	13,59	127,2	0,0%	32,7%	67,3%
KAS St13 6	3,5	92,23	11,96	120,3	0,0%	29,0%	71,0%
KAS St13 7	4,5	9,267	81,18	108,3	0,0%	21,9%	78,1%
KAS St13 8	5,5	9,267	92,23	109,8	0,0%	21,2%	78,8%
KAS St13 9	6,5	104,8	10,53	128,0	0,0%	27,8%	72,2%
KAS St13 10	7,5	92,23	13,59	131,8	0,0%	32,1%	67,9%
KAS St13 11	8,5	92,23	13,59	134,6	0,0%	31,9%	68,1%
KAS St13 12	9,5	104,8	13,59	137,0	0,0%	34,4%	65,6%

Annexe 3 – partie 2 : Plan de découpe et principaux paramètres granulométrique des tousles échantillons KONBHAS 2022 (mode principal et secondaire, D90 et proportion de classe de taille).



Annexe 4 : exemple de la carotte de la station 8 montrant les passages de sables fins dans la matrice de silt très fins