



Norois

Environnement, aménagement, société

194 | 2005/1

Les milieux polaires et subpolaires de l'Atlantique

L'évolution morphologique récente du réseau hydrographique sur les marges des glaciers Lovén, presqu'île de Brøgger (Spitsberg, 79° N)

The recent morphological hydrographic network evolution of the Lovén glaciers margins, Brøgger peninsula (Spitsbergen, 79° N)

Erwan Roussel



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/norois/659>

DOI : 10.4000/norois.659

ISBN : 978-2-7535-1542-0

ISSN : 1760-8546

Éditeur

Presses universitaires de Rennes

Édition imprimée

Date de publication : 1 mars 2005

Pagination : 85-96

ISBN : 978-2-7535-0100-3

ISSN : 0029-182X

Référence électronique

Erwan Roussel, « L'évolution morphologique récente du réseau hydrographique sur les marges des glaciers Lovén, presqu'île de Brøgger (Spitsberg, 79° N) », *Norois* [En ligne], 194 | 2005/1, mis en ligne le 13 août 2008, consulté le 19 avril 2019. URL : <http://journals.openedition.org/norois/659> ; DOI : 10.4000/norois.659

Ce document a été généré automatiquement le 19 avril 2019.

© Tous droits réservés

L'évolution morphologique récente du réseau hydrographique sur les marges des glaciers Lovén, presqu'île de Brøgger (Spitsberg, 79° N)

The recent morphological hydrographic network evolution of the Lovén glaciers margins, Brøgger peninsula (Spitsbergen, 79° N)

Erwan Roussel

NOTE DE L'ÉDITEUR

Cet article a été reçu le 28 septembre 2004 et définitivement accepté le 2 mars 2005.

Remerciements : Je tiens à remercier pour leur aide l'ensemble des membres de l'équipe polaire du laboratoire GÉOLAB de Clermont-Ferrand. Plus particulièrement, merci à Denis Mercier pour avoir dirigé mon étude. Je remercie aussi Martin Paegelow du laboratoire GÉODE de l'université de Toulouse 2 pour sa direction et son soutien technique. Merci également aux relecteurs de la revue Norois pour les conseils avisés ayant permis d'améliorer la première version de ce texte.

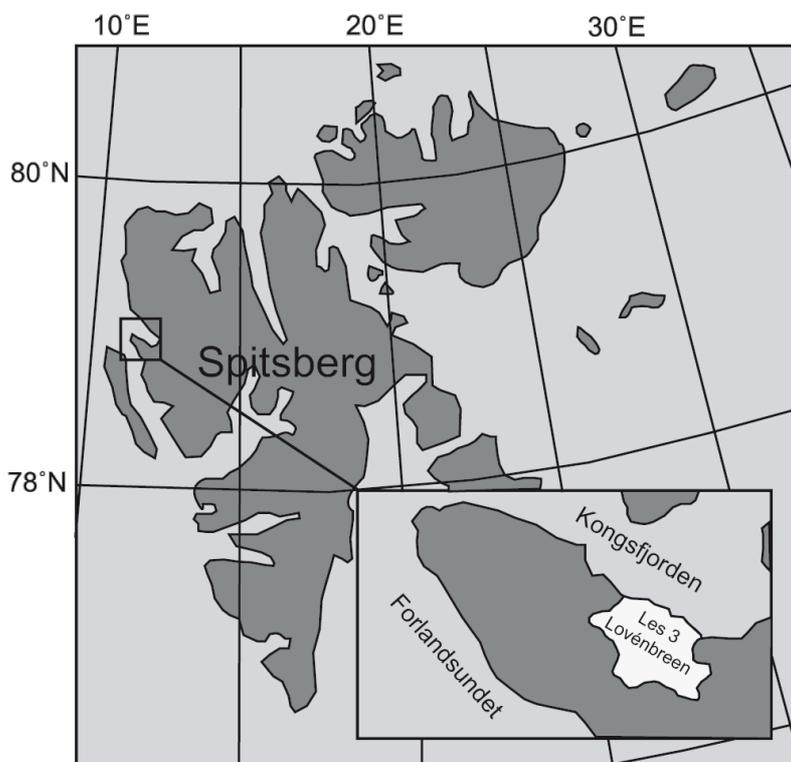
- 1 Les glaciers de la presqu'île de Brøgger ont beaucoup reculé depuis la fin du Petit Âge Glaciaire, comme l'attestent les importantes valeurs de leur vitesse de décrue (entre 8 et 13 mètres par an depuis un siècle). Ils libèrent ainsi une quantité considérable d'eau liquide et mettent au jour de larges plaines intra-morainiques dont les superficies avoisinent plusieurs centaines d'hectares (Mercier, 2000). L'eau de fonte qui ruisselle depuis le front des glaciers va modeler ces « nouveaux » espaces pour regagner les sandurs¹, façonnant ainsi des réseaux hydrographiques aux ramifications nombreuses.

- 2 L'ensemble de ces réseaux hydrographiques, ainsi que les chenaux qui les composent, ont subi une série de transformations morphologiques directement liée à l'augmentation du volume d'eau de fonte (glacier, neige et couche active au-dessus du pergélisol) consécutivement au réchauffement postérieur au Petit Âge Glaciaire. L'objectif de cet article est d'évaluer quantitativement l'impact des modifications du climat actuel (s'exprimant par une augmentation du ruissellement estival) sur l'organisation des réseaux hydrographiques proglaciaires.

Terrain d'étude

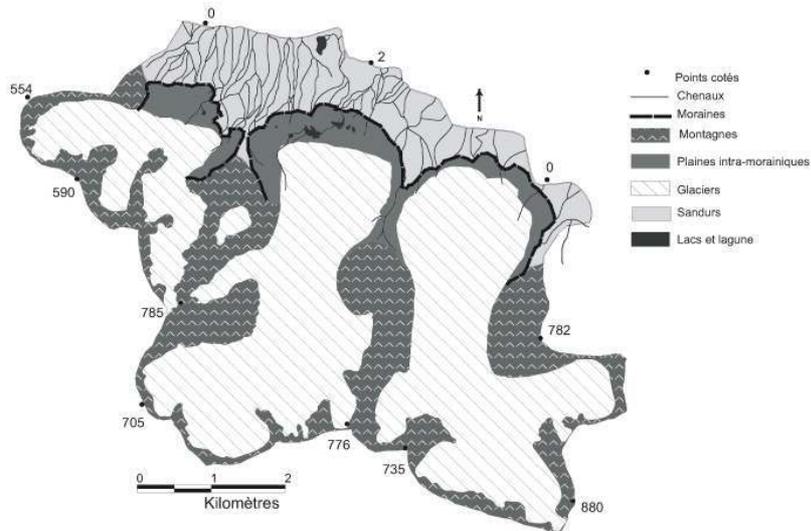
- 3 Notre terrain d'étude se trouve sur la presqu'île de Brøgger (fig. 1), au nord-ouest de l'île du Spitsberg, dans l'archipel du Svalbard, à environ 650 km au nord du cap Nord (Norvège). Il appartient aux milieux polaires à faciès maritime puisqu'il est bordé par les eaux du Kongsfjord à l'est et par le bras de mer du Forlandsundet à l'ouest, adoucies par les eaux moins froides de la dérive nord-atlantique.

Figure 1 : Localisation de la presqu'île de Brøgger et des 3 Lovénbreen
The Brøgger's peninsula and 3 Lovénbreen localization



- 4 Nous avons choisi de travailler sur une zone particulière de la façade Nord de la presqu'île de Brøgger. Il s'agit du bassin versant correspondant aux trois glaciers Lovénbreen (fig. 2) au sud de Ny-Ålesund, près de la base française. Nous étudierons donc l'évolution du réseau hydrographique sur les marges proglaciaires des glaciers Vestre, Midre et Austre Lovénbreen (respectivement est, centre et ouest Lovénbreen en français). Ces appareils occupent encore une superficie importante du bassin versant (environ 53 %) malgré une décrue relativement rapide depuis un siècle (Hansen, 1999 ; Lefauconnier *et al.*, 1999).

Figure 2 : Le bassin versant des trois Lovénbreen
The three Lovénbreen's watershed

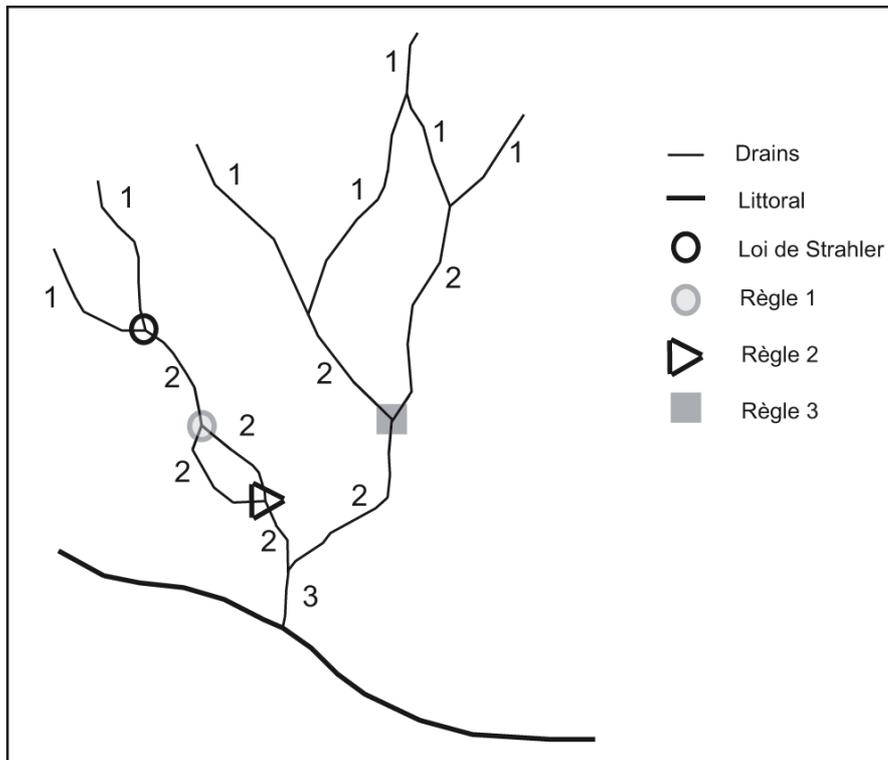


Méthode

5 Pour démontrer les transformations morphologiques du réseau hydrographique de la marge proglaciaire des trois Lovénbreen, nous avons travaillé à partir de trois photographies aériennes de la côte nord-est de la presqu'île de Brøgger prises en 1966, 1977 et 1990 par le Norsk Polarinstitut (NPI). Les cartes topographiques au 1/100 000 et au 1/10 000 établies par le NPI ont été utilisées pour géoréférencer les photographies aériennes. Ensuite, nous avons digitalisé le réseau hydrographique sur chacune des photographies afin de calculer le nombre de drain qui le compose à chaque date et appréhender la dynamique de hiérarchisation qui l'affecte. Nous avons donc attribué un rang à chaque drain selon la méthode d'ordination de Strahler (Strahler, 1957). Cette méthode peut se formuler ainsi : deux segments de rang n donne un segment de rang $n + 1$ après leur confluence. Cependant, en raison de la forte propension à la divergence du réseau hydrographique du bassin versant des trois Lovénbreen, nous avons dû adapter cette méthode. Les trois règles que nous avons ajoutées sont les suivantes (fig. 3) :

1. Les segments divergents ont le rang du segment mère dont ils sont issus.
2. Les segments issus du même segment mère donnent un segment de même rang après leur confluence.
3. Deux segments de rang n donnent après leur confluence un segment de rang $n + 1$ seulement s'il s'agit de segments issus de séries de segments mères qui n'ont pas encore eu de contact entre eux.

Figure 3 : Méthode d'ordination du réseau hydrographique
Ordination method of the hydrographic network



- 6 La troisième règle mérite des explications plus poussées. Elle signifie que deux segments de même rang peuvent donner un segment de rang supérieur uniquement si ni l'un, ni l'autre ne doit son ordre à une confluence en amont d'une partie de leur segment mère. Si cette condition n'est pas remplie, le segment issu de la confluence a le même rang que ceux qui lui ont donné naissance. Cette règle sert en fait à limiter l'impact de la divergence sur l'ordination des segments composant le réseau hydrographique.
- 7 Nous avons souhaité aussi évaluer l'évolution morphologique à l'échelle des cours d'eau en mesurant sur chaque photographie aérienne la largeur moyenne de la bande active établie à partir de 300 mesures pour chaque date. Ces mesures ont été effectuées en traçant des segments perpendiculaires à l'axe des écoulements. Afin de compléter cette étude, nous avons quantifié l'espace occupé par la végétation à chaque date. Enfin, nous avons calculé la valeur moyenne de l'indice de sinuosité des cours d'eau pour les trois photographies aériennes. L'ensemble de ces mesures ont été effectuées grâce à l'outil SIG.
- 8 D'autre part, nous avons étudié l'évolution de paramètres dépendants de l'efficacité de drainage du réseau hydrographique tels que : la superficie occupée par les lacs et la progradation des littoraux. Ainsi, nous pourrions déterminer si l'évolution morphologique du réseau hydrographique des trois Lovénbreen s'accompagne d'une augmentation de son efficacité de drainage.

Résultats

La diminution du nombre de drains

- 9 Une des grandes évolutions globales du réseau hydrographique du bassin versant des trois Lovénbreen peut se définir comme une baisse de la densité du maillage constitué par les chenaux. En effet, nous avons constaté que le nombre de segments qui composent le réseau hydrographique a tendance à diminuer au cours du temps (Mercier, 2001). Ainsi, ce dernier abandonne en moyenne 53 chenaux par an depuis 1966 (tableau 1). Il semblerait que certains cours d'eau acquièrent au cours du temps des dimensions permettant de drainer l'eau même en cas de débits très importants. Autrement dit, lors d'épisodes de crue, ces chenaux sont rarement débordés et limitent ainsi la multiplication des drains d'évacuation sur le sandur.

Tableau 1 : La proportion en fonction du rang des segments composant le réseau hydrographique
Percentage of channel reaches according to their rank

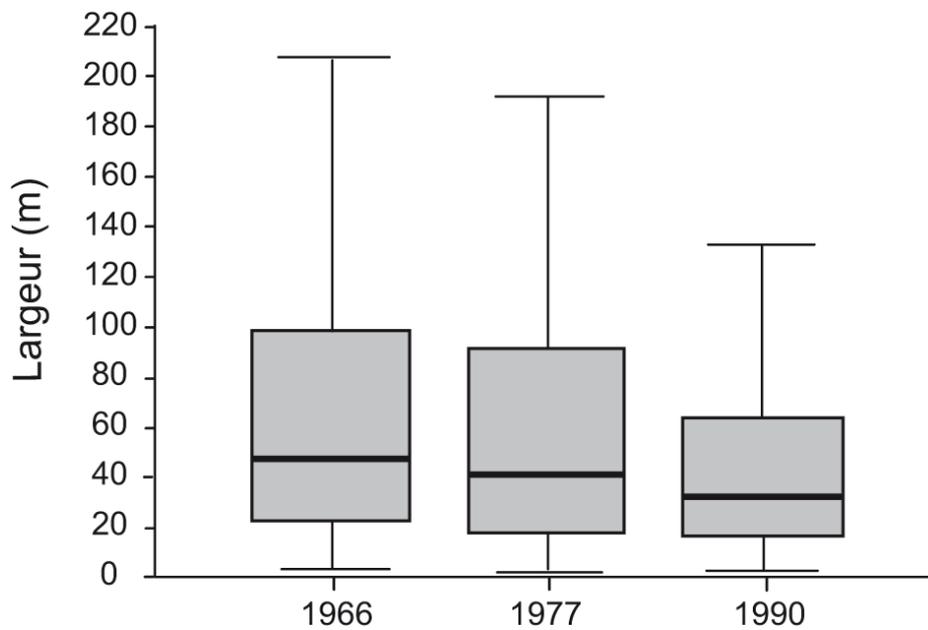
Année	Segment de rang 1	Segment de rang 2	Segment de rang 3	Segment de rang 4	Nombre total de segments
1966	27,7 %	27,4 %	39,2 %	5,7 %	2153
1977	30,8 %	54,5 %	14,7 %	0 %	1908
1990	24,6 %	60,8 %	7,8 %	6,8%	902

- 10 Les chenaux de plus petites tailles, dont l'existence est uniquement due au débordement des chenaux principaux lors des crues, sont de moins en moins sollicités et donc progressivement abandonnés par les écoulements.
- 11 Le tableau 1 montre l'évolution de la proportion en fonction du rang des segments composants le réseau hydrographique. Cependant, il semble difficile d'interpréter ces valeurs étant donné leur distribution relativement chaotique. Par exemple, le pourcentage de segments de rang 4 est de 5,7 % en 1966 et devient nul en 1977. En 1990, il remonte à 6,8 %. Ces valeurs témoignent d'une hiérarchisation encore très fragile du réseau hydrographique.

La diminution de la largeur moyenne de la bande active

- 12 On remarque que la largeur moyenne de la bande active des cours d'eau tend à diminuer au cours du temps (fig. 4). En effet, la largeur moyenne de la bande active diminue d'environ 1,15 mètre par an (elle passe de 88 mètres en 1966 à 60 mètres en 1990). Cette évolution indique que la divagation diminue. Cela implique que le réseau hydrographique concentre les écoulements sur un espace plus restreint et le rend par conséquent plus efficace en réduisant le risque de stagnation des eaux.

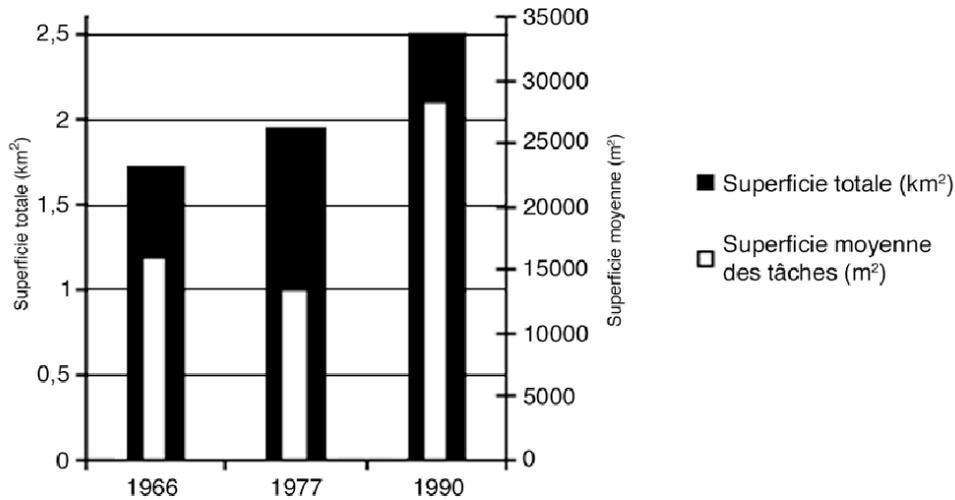
Figure 4 : Diminution de la largeur moyenne de la bande active
Decrease of the active tract average width



La conquête végétale des sandurs

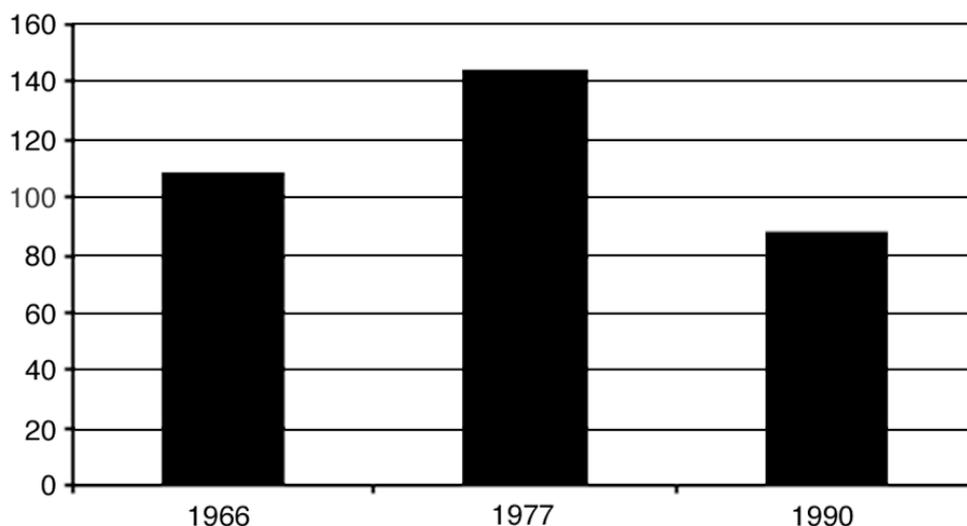
- 13 En digitalisant les surfaces occupées par la végétation sur les différentes photographies aériennes, nous avons pu connaître la manière dont a évolué ce paramètre étroitement lié à la nature des écoulements (en nappe ou concentré). Selon nos observations, en 1990, la végétation n'était présente que sur les sandurs. Les plaines intra-morainiques étaient trop « jeunes », c'est-à-dire trop récemment découvertes par les glaciers, pour qu'elles soient déjà colonisées par la végétation. Cependant, une étude récente montre que ces espaces intra-morainiques connaissent maintenant une colonisation végétale (Moreau, 2003), malgré les dynamiques de tressage (Moreau *et al.*, 2004). Néanmoins, pour la période de 1966 à 1990 nous avons pu mettre en évidence une dynamique de conquête végétale des sandurs (fig. 5).

Figure 5 : La dynamique de conquête végétale des sandurs
Plant colonization dynamics on sandurs



- 14 Cet accroissement de la superficie totale occupée par la végétation entre 1966 et 1990 est visible sur l'ensemble du bassin versant des trois Lovénbreen. La vitesse de conquête végétale atteint une valeur de $32\,315\text{ m}^2/\text{an}$ (soit 0,6 % des sandurs se végétalisent chaque année).
- 15 Selon nos résultats, la colonisation végétale semble s'opérer en deux phases distinctes. Comme le montre la figure 6, la superficie moyenne des tâches (Burel et Baudry, 1999) diminue entre 1966 et 1977. Elle passe en effet de $16\,020\text{ m}^2$ à $13\,470\text{ m}^2$. Dans le même temps, la figure 6 nous indique que le nombre d'espaces occupés par la végétation, c'est-à-dire le nombre de tâches, a augmenté en passant de 108 à 144. Il pourrait donc s'agir d'une première phase où la conquête végétale s'opère par dissémination de tâches de petites tailles sur les sandurs. En revanche entre 1977 et 1990, la superficie moyenne des tâches augmente considérablement (fig. 5), dépassant largement celle de 1966 puisqu'elle atteint la valeur de $28\,380\text{ m}^2$. Dans ce même intervalle de temps, le nombre de tâche diminue et passe en dessous de la valeur de 1966 avec 88 polygones dénombrés.

Figure 6 : Évolution du nombre d'espaces végétalisés entre 1966 et 1990
Changes affecting the number of vegetated patches between 1966 and 1990

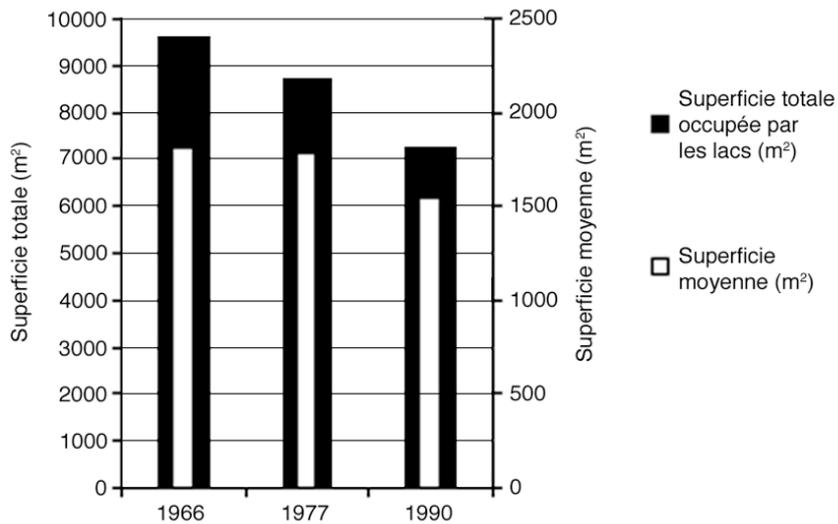


- 16 Il semblerait donc qu'après une première phase de colonisation par dissémination, une seconde phase correspondant à l'accroissement et à la coalescence des tâches de végétation prenne le relais. Cette dynamique de colonisation végétale confirme la diminution de la largeur de la bande active des cours d'eau et la concentration des écoulements que nous avons pu mettre en évidence précédemment.

La diminution de la superficie occupée par les lacs

- 17 Les lacs sont exclusivement situés dans les plaines intra-morainiques. Ce constat confirme le fait que l'existence de ces lacs est très fortement liée à la décrue glaciaire et à la topographie particulièrement accidentée des plaines intra-morainiques. On peut d'ailleurs observer que de nouveaux lacs apparaissent au fur et à mesure du retrait des glaciers. L'installation de nouveaux lacs suit le retrait des trois glaciers Lovén. Cette observation témoigne d'un lien entre l'apparition de nouvelles surfaces et la faible efficacité de drainage des réseaux hydrographique primaires
- 18 Cependant, comme le montre la figure 7, la superficie totale occupée par les lacs diminue avec le temps. Elle diminue d'environ 980 m²/an. La superficie moyenne des lacs diminue aussi, ils perdent environ 11 m²/an. Le nombre de lacs diminue lui aussi puisqu'il passe de 53 en 1966 à 49 en 1977 pour descendre à 47 en 1990. Autrement dit, il disparaît plus de lacs qu'il ne s'en crée en amont. De plus, il s'agit de lacs de petite taille aux dimensions semblables. En effet, l'écart type des superficies des lacs diminue nettement entre 1966 et 1990 (il passe de 4 458 m² en 1966 à 2 340 m² en 1977 et enfin 2 191 m² en 1990). La morphologie des lacs tend à s'homogénéiser. Les plus imposants disparaissent. Ainsi les « grands » lacs visibles sur les plaines intra-morainiques de l'Austre et du Midre Lovénbreen en 1966 ont totalement disparus en 1990.

Figure 7 : Diminution de la superficie occupée par les lacs
Lake area decrease

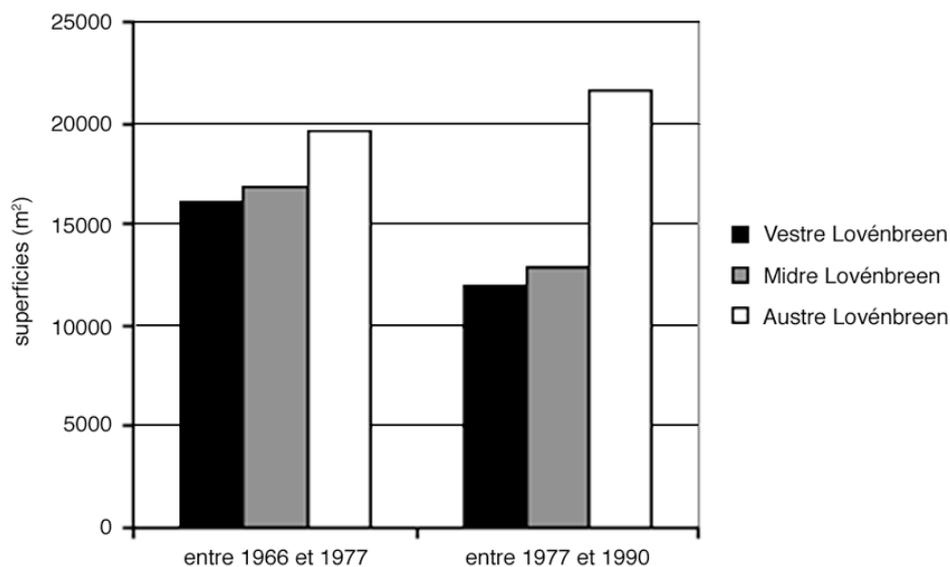


- 19 Selon J.-P. Bravard et F. Petit (1997), la diminution du nombre de lacs dans un bassin versant est un signe que le réseau hydrographique se hiérarchise car, le drainage s'améliorant, il évacue l'eau stagnante de plus en plus efficacement. Selon nos résultats, on peut légitimement penser que le réseau hydrographique au niveau des plaines intramorainiques s'organise et améliore ses qualités de drainage. La diminution du nombre de cours d'eau et la réduction de la largeur de la bande active (démontrée précédemment) renforcent cette idée.

La progradation des littoraux

- 20 Le gain de terre sur les eaux du fjord témoigne d'une activité intense des cours d'eau qui transportent les sédiments provenant de l'amont, notamment des plaines intramorainiques (Héquette et Ruz, 1990). Le phénomène de progradation affecte le littoral et les trois sous-bassins de façon inégale (fig. 8). En effet, les littoraux progradants sont localisés au niveau de l'exutoire des cours d'eau qui ont une compétence suffisante pour transporter les sédiments (Mercier et Laffly, 2003).

Figure 8 : La progradation des littoraux du bassin versant des trois Lovénbreen
Shorelines progradation of the three Lovénbreen's watershed



- 21 La vitesse de progradation des littoraux varie en fonction des sous-bassins. Ainsi, le bassin versant de l'Austre Lovénbreen connaît la vitesse la plus importante avec $1\,756\text{ m}^2/\text{an}$. Les bassins versants du midre et du Vestre Lovénbreen viennent ensuite avec des vitesses respectives de $1\,260\text{ m}^2/\text{an}$ et $1\,162\text{ m}^2/\text{an}$.
- 22 Il semblerait donc que les cours d'eau du bassin versant de l'Austre Lovénbreen soient plus actifs dans le transport des sédiments. Remarquons qu'il s'agit aussi du bassin versant qui connaît la déglaciation la plus rapide ($26\,483\text{ m}^2/\text{an}$ contre respectivement $18\,621$ et $17\,788\text{ m}^2/\text{an}$ pour le Midre et le Vestre Lovénbreen). La compétence des cours d'eau dépendant grandement de leur débit, on peut légitimement penser que la vitesse de décrue glaciaire, donc le volume d'eau libéré par les glaciers, influe sur les vitesses de progradation du trait de côte.

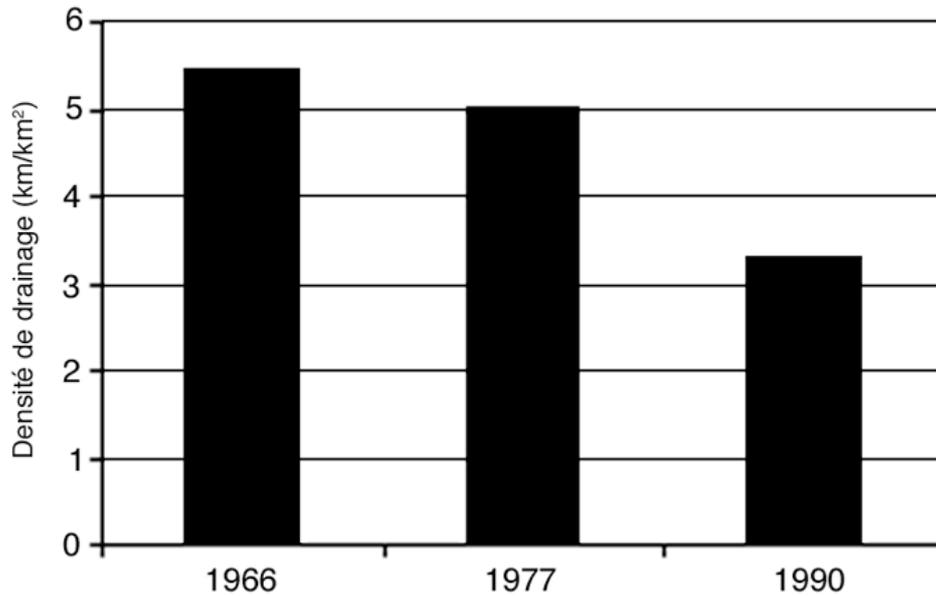
Discussion

Une « optimisation » du réseau hydrographique

- 23 Nous avons choisi le terme d'optimisation car, selon nos résultats, le réseau hydrographique a tendance à se simplifier pour augmenter son efficacité. Il se sépare de certains de ses segments et concentre les écoulements dans les chenaux dont les dimensions sont capables de drainer d'importants débits. De cette façon, il augmente son efficacité de drainage puisque la superficie occupée par les lacs (inversement proportionnelle à l'efficacité de drainage) a nettement diminué alors que le contexte de retrait glaciaire actuel favorise plutôt la création de retenues lacustres.
- 24 Ainsi, il n'est pas étonnant de voir que la densité de drainage diminue sur l'ensemble du bassin versant des trois Lovénbreen entre 1966 et 1990. La figure 9 montre l'évolution de ce paramètre. Le réseau hydrographique voit sa densité de drainage diminuer à une vitesse d'environ $0,1\text{ km.km}^2.\text{an}^{-1}$. Cela ne veut pas dire que l'étendue du réseau

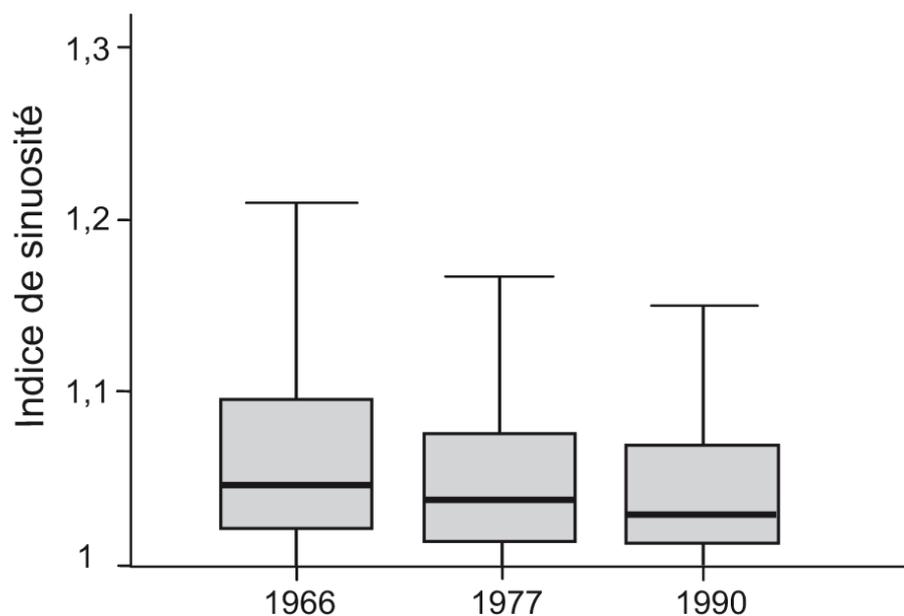
hydrographique décroît. Au contraire, à cause du retrait glaciaire il progresse vers l'amont du bassin versant et draine ainsi un espace plus important avec moins de segments de cours d'eau. Les écoulements sous-glaciaires eux-mêmes évoluant en relation avec le recul du glacier (Rippin *et al.*, 2003).

Figure 9 : Diminution de la densité de drainage du réseau hydrographique
Drainage density decrease of the hydrographic network



- 25 Comme nous l'avons démontré, grâce à l'évolution de la superficie occupée par les retenues lacustres, la diminution de la densité de drainage implique ici un accroissement de l'efficacité des écoulements. D'autres facteurs témoignent de cette optimisation du réseau hydrographique. Par exemple, dans le même temps, les chenaux deviennent de plus en plus rectilignes. En effet, l'indice de sinuosité moyen des segments du réseau hydrographique diminue au cours du temps (fig. 10). Cette évolution conforte le fait que les chenaux qui perdurent de 1966 à 1990 voient leur dimension et leur capacité de drainage augmenter. Car plus le volume d'eau drainé et le débit sont importants, plus les cours d'eau ont des facilités à se frayer un chemin dans les matériaux meubles des sandurs et des plaines intra-morainiques. On peut donc penser que, lié à la baisse de sinuosité, le temps mis par l'eau pour déboucher sur le fjord tend à diminuer. L'efficacité du réseau hydrographique à évacuer les eaux s'améliore donc au fil du temps.

Figure 10 : Une baisse de la sinuosité des cours d'eau du réseau hydrographique
Channel sinuosity decrease of the hydrographic network

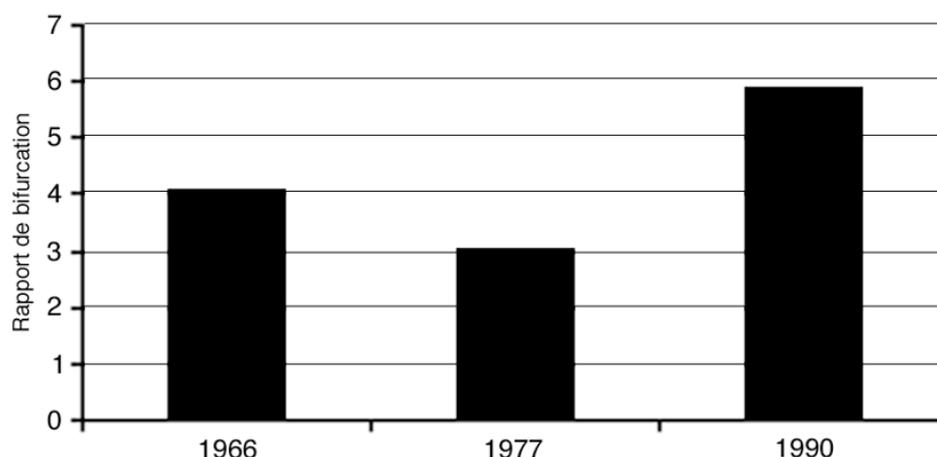


- 26 D'autre part, le sous-bassin de l'Austre Lovénbreen a connu la plus rapide progradation des littoraux ($1\,756\text{ m}^2/\text{an}$). Il s'agit de l'unique sous-bassin qui ait connu un gain de surface supérieur entre 1977 et 1990 qu'entre 1966 et 1977 (respectivement $19\,650$ et $21\,630\text{ m}^2$). Or selon le modèle d'épuisement de C. K. Ballantyne (2003), la fourniture sédimentaire d'origine glaciaire, qui représente la très grande majorité des dépôts (Slaymaker, 1977), ne peut avoir augmenté. En effet, La production de débris primaires est souvent insignifiante par rapport à ce stock (Slaymaker et McPherson, 1977). La capacité de transport sédimentaire des cours d'eau de l'Austre Lovénbreen était donc plus importante entre 1977 et 1990. Dans le même temps le nombre de chenaux du bassin versant de l'Austre Lovénbreen a diminué. Il semblerait que l'abandon de certains cours d'eau augmente l'efficacité du réseau hydrographique de l'austre Lovénbreen à évacuer le stock sédimentaire. Néanmoins, il faut nuancer cette interprétation car l'étude des autres sous-bassins ne fournit pas les résultats permettant de la confirmer. En effet, même si la progradation des littoraux est ininterrompue entre 1977 et 1990 pour les sous-bassins du Midre et du Vestre Lovénbreen, le gain de surface est moins important entre ces deux dates qu'entre 1966 et 1977.
- 27 Nos résultats indiquent que le réseau hydrographique des trois Lovénbreen a tendance à augmenter son efficacité dans l'évacuation des eaux en diminuant le nombre des segments qui le composent et en conservant uniquement ceux dont la compétence est élevée. Il s'agit de cours d'eau dont les dimensions sont supérieures aux autres et qui sont responsables du transport et du dépôt des sédiments amenant la progradation des littoraux. Ces cours d'eau efficaces et prenant le pas sur les autres ont vraisemblablement été façonnés au cours d'épisodes de crues successifs (Griselin, 1982). Ils ont ainsi obtenu une taille suffisante pour drainer d'importants volumes d'eau sans déborder.

Une hiérarchisation encore chaotique ?

- 28 La valeur du rapport de bifurcation moyen du réseau hydrographique des trois Lovénbreen (c'est-à-dire le nombre de segments nécessaires en moyenne pour donner un segment de rang supérieur, noté R_c) varie au cours du temps d'une façon singulière. La figure 11 montre qu'en 1966 il faut en moyenne 4 segments pour donner un segment de rang supérieur. En 1977 cette valeur descend à 3 alors qu'en 1990 il faut quasiment 6 segments en moyenne pour engendrer un segment de rang supérieur. Cette variation indique que le réseau hydrographique ne semble pas évoluer vers une organisation stable.

Figure 11 : Variation du rapport de bifurcation moyen du réseau hydrographique entre 1966 et 1990
Variation of the average hydrographic network junction ratio between 1966 and 1990



- 29 Toutefois, il est difficile d'interpréter clairement ces valeurs sans observer la variation des rapports de bifurcation intermédiaires (entre chaque rang). Le tableau 2 indique pour chaque date les valeurs des rapports de bifurcation R_{c1} (nombre de segments moyens de rang 1 pour donner un segment de rang 2), R_{c2} et R_{c3} .

Tableau 2 : Variation du rapport de bifurcation moyen du réseau hydrographique entre 1966 et 1990
Variation of the average hydrographic network junction ratio between 1966 and 1990

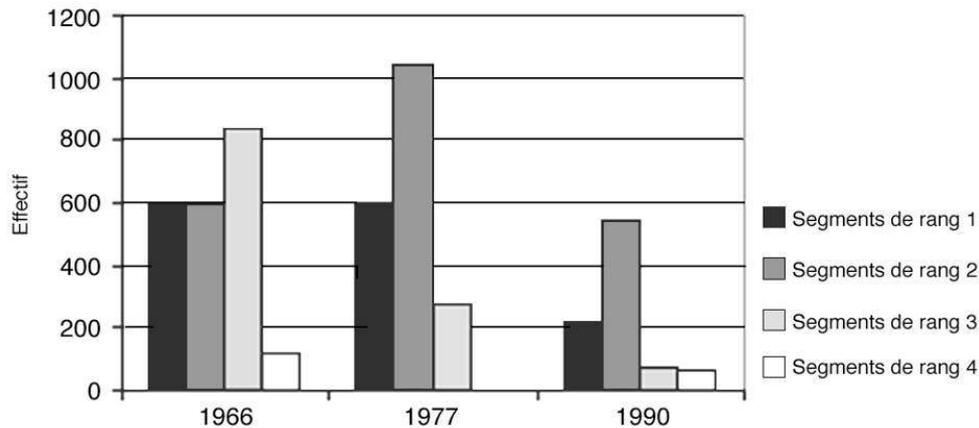
Année	R_{c1}	R_{c2}	R_{c3}	R_c moyen
1966	1,01	0,66	6,86	4,07
1977	0,56	3,7	∅	3,04
1990	0,4	7,84	1,14	5,88

- 30 On peut remarquer que la valeur de R_{c1} diminue entre 1966 et 1990. Cette variation retranscrit clairement le fait que le nombre de segments de rang 1 diminue au cours du temps, la figure 12 illustre cette variation. Les valeurs inférieures à 1 pour R_{c1} en 1977 et 1990 indiquent que les segments de rang 2 sont nettement plus nombreux que ceux de rang 1 à cause d'une forte propension à la divergence (même remarque pour R_{c2} en 1966 mais par rapport aux cours d'eau de rang 3). L'augmentation rapide de R_{c2} entre 1966 et 1990 montre la part de plus en plus grande que prennent les segments de rang 2 par

rapport à l'ensemble des segments et en particulier ceux de rang 3 en rapide diminution. En effet, Les segments de rang 2, représentant seulement 27,4 % des segments en 1966, deviennent majoritaires en 1990, représentant alors plus de 60 % de l'ensemble des segments composant le réseau hydrographique.

- 31 Dans le même temps, le nombre de segments de rang 3 diminue franchement, comme le montre la figure 12.

Figure 12 : Variation du nombre de segments en fonction de leur rang entre 1966 et 1990
Variation of the channel reach number according to their rank between 1966 et 1990



- 32 Ce qui est encore plus surprenant dans la variation des rapports de bifurcation intermédiaire, c'est le fait que $R_c 3$ ne puisse être calculé pour l'année 1977 (Tableau 2). On lui donne donc le signe d'ensemble vide codé par \emptyset car sa valeur n'est pas nulle. Mathématiquement, elle tend vers l'infini puisque le rapport entre les effectifs des segments de rang 3 et de rang 4 pour 1977 s'écrit $R_c = 281 / 0$. Concrètement, cela veut simplement dire qu'il n'existe plus de segments de rang 4 en 1977 alors qu'ils réapparaissent en 1990 (fig. 12). Cette évolution est révélatrice d'une dynamique singulière de hiérarchisation du réseau hydrographique des trois Lovénbreen.
- 33 La présence de cours d'eau de rang 4 en 1966 est due à une très grande densité de segments, ce qui favorise évidemment la confluence. À la faveur d'une rencontre heureuse de deux segments de rang 3, des cours d'eau de rang 4 ont pu être engendrés. Cela n'indique pas un réseau hydrographique correctement hiérarchisé mais plutôt un comportement relativement chaotique à l'époque. Ici, la hiérarchisation passe par la diminution globale du nombre de segments ce qui a tendance à diminuer la probabilité de confluence et donc les valeurs de rang. Cependant, cette dynamique amène une certaine organisation plus stable qui peut entraîner la création de cours d'eau de rang 4 qui, selon toute vraisemblance, auront une « durée de vie » plus longue que ceux présents en 1966. Il faut néanmoins nuancer cette dernière interprétation. Les cours d'eau des plaines intra-morainiques deviennent de moins en moins divergents et semblent s'organiser en réseaux relativement stables. Par contre, pour les cours d'eau des sandurs, la morphologie dominante reste la divergence jusqu'en 1990. Cette morphologie ne favorise pas une organisation hiérarchisée stable et peut donc, *via* des captures par déversement, amener des perturbations dans l'ordination du réseau hydrographique. Toutefois, ces perturbations restent minimales étant donné qu'elles s'effectuent au niveau de la tranche aval du réseau hydrographique.

Conclusion

- 34 Le réseau hydrographique des trois Lovénbreen se stabilise donc au cours du temps favorisant ainsi la mise en place d'une dynamique de colonisation végétale des sandurs abandonnés par les écoulements. Cette stabilisation passe par la diminution du nombre de segments composant le réseau hydrographique. Elle est due à l'émergence parmi eux de cours d'eau aux dimensions supérieures. Ces cours d'eau particuliers ont vu leur capacité de drainage augmenter au cours des épisodes de crues estivales successifs qui ont creusé davantage leur chenal. Cela implique qu'ils concentrent les écoulements et assèchent ainsi de nombreux bras moins compétents et plus sinueux. Le creusement des chenaux implique une baisse de la divagation qui se perçoit notamment à travers la diminution de la largeur de la bande active et une dynamique de hiérarchisation surtout visible sur les plaines intra-morainiques. Ainsi, le réseau hydrographique augmente son aptitude à évacuer l'eau en diminuant le nombre de ses cours d'eau et en ne conservant que les plus compétents et les plus stables. Cette évolution fut relativement rapide et confirme le fait que les paysages polaires du Spitsberg sont en pleine mutation.
-

BIBLIOGRAPHIE

BALLANTYNE (C. K.), 2003. - « Paraglacial landsystems », dans EVANS (D. J.) (éd.), *Glacial landsystems*, London, E. Arnold, p. 432-461.

BRAVARD (J.-P.), PETIT (F.), 1997. - *Les cours d'eau, dynamique du système fluvial*, Paris, Armand Colin, 221 p.

BUREL (F.), BAUDRY (J.), 1999. - *Écologie du paysage*, Paris, Technique et Documentation, 300 p.

CHURCH (M.), RYDER (J. M.), 1972. - « Paraglacial sedimentation : consideration of fluvial processes conditioned by glaciation », *Geological Society of America Bulletin*, n° 83, p. 3059-3072.

GRISELIN (M.), 1982. - *Les modalités de l'écoulement liquide et solide sur les marges polaires, exemple du bassin Lovén est, côte nord-ouest du Spitsberg*, thèse de 3^e cycle, Université de Nancy 2, 500 p.

HANSEN (S.), 1999. - *A photogrammetrical, climate-statistical and geomorphological approach to the post Little Ice age changes of the Midre Lovénbreen glacier, Svalbard*, Master thesis, University of Copenhagen-The University Courses on Svalbard (UNIS)-University of Tromsø, 103 p.

HÉQUETTE (A.), RUZ (M.-H.), 1990. - « Sédimentation littorale en bordure de plaines d'épandage fluvioglaciaire au Spitsberg nord-occidental », *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 44, n° 1, p. 77-88.

LEFAUCONNIER (B.), HAGEN (J. O.), ØRBÆK (J.B.), MELVOLD (K.), ISAKSSON (E.), 1999. - « Glacier balance trends in the Kongsfjorden area, western Spitsbergen, Svalbard, in relation to the climate », *Polar Research*, vol. 18, n° 2, p. 307-313.

- MERCIER (D.), 2000. – « Du glaciaire au paraglaciaire : la métamorphose des paysages polaires au Svalbard », *Annales de Géographie*, n° 616, p. 580-596.
- , 2001. – *Le ruissellement au Spitsberg, le monde polaire face aux changements climatiques*, Clermont-Ferrand, Presses Universitaires Blaise-Pascal, coll. « Nature et Sociétés », 278 p.
- MERCIER (D.), LAFFLY (D.), 2003. – « La progradation des littoraux meubles au Spitsberg : une réponse sédimentaire paraglaciaire au réchauffement climatique contemporain », *Bulletin de l'association des Géographes Français*, n° 4, p. 362-368.
- MOREAU (M.), 2003. – « La reconquête végétale des marges libérées des glaces depuis la fin du Petit Âge Glaciaire, Spitsberg (presqu'île de Brøgger) », *Bulletin de l'association de Géographes Français*, n° 4, p. 377-385.
- MOREAU (M.), MERCIER (D.), LAFFLY (D.), 2004. – « Un siècle de dynamiques paraglaciaires et végétales sur les marges du Midre Lovénbreen, Spitsberg nord-occidental », *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n° 2, p. 157-168.
- RIPPIN (D.), WILLIS (I.), ARNOLD (N.), HODSON (A.), MOORE (J.), KOHLER (J.), BJÖRNSSON (H.), 2003. – « Changes in geometry and subglacial drainage of Midre Lovénbreen, Svalbard, determined from digital elevation models », *Earth Surface Processes and Landforms*, n° 28, p. 273-298.
- SLAYMAKER (O.), 1977. – « Estimation of sediment yields in temperate alpine environments », *International Association of Hydrological Sciences Publication*, n° 122, p. 109-117.
- SLAYMAKER (O.), MCPHERSON (H. J.), 1977. – « An overview of geomorphic processes in the Canadian cordillera », *Zeitschrift für Geomorphologie*, vol. 21, p. 169-181
- STRALHER (A. N.), 1957. – « Quantitative analysis of watershed geomorphology », *Trans. American Geophys. Union*, vol. 38, n° 6, p. 913-920.

NOTES

1. Plaines d'épandage fluvio-glaciaire.

RÉSUMÉS

Les changements climatiques postérieurs au Petit Âge Glaciaire entraînent pour les milieux polaires la mise en place de processus paraglaciaires (Church et Ryder, 1972) où le ruissellement domine les processus zonaux (glaciaires et périglaciaires). En effet, au Spitsberg, la décrue enregistrée par les glaciers de la presqu'île de Brøgger provoque la libération d'eau liquide qui gagne le Kongsfjord en dessinant sur les marges proglaciaires un réseau hydrographique complexe et très mobile. Cependant, nous avons pu mettre en évidence que cette mobilité diminue au fil des années. Le réseau hydrographique proglaciaire adopte une organisation de plus en plus stable marquée par la diminution du nombre de drains et une dynamique de hiérarchisation malgré son extrême jeunesse.

In polar areas the post Little Ice Age warming generates paraglacial processes (Church and Ryder, 1972) marked by the prevalence of run-off over the zonal (glacial and periglacial) processes. In Spitsbergen, the retreat of the Brøgger peninsula's glaciers induces the release of large amounts of proglacial liquid water reaching the Kongsfjord. This results into a complexe and very mobile hydrographic network development on the proglacial margins. However, we have been able to demonstrate that this mobility decreases with time. The hydrographic network adopts a more and more stable organization marked by the reduction of the number of channels and a growing hierarchisation in spite of its extreme youth.

INDEX

Mots-clés : contexte paraglaciale, réseau hydrographique

Keywords : hydrographic Network, paraglacial context

Index géographique : Spitsberg

AUTEUR

ERWAN ROUSSEL

GÉOLAB, UMR 6042 – CNRS, r1.rousseau@laposte.net