Norois

Environnement, aménagement, société

194 | 2005/1

Les milieux polaires et subpolaires de l'Atlantique

Contexte environnemental et colonisation végétale des moraines récentes

Étude comparée de deux glaciers en versants nord et sud de la presqu'île de Brøgger, Svalbard (79° N)

Context environmental and plant colonization on recently deglaciated moraines: compared study of two glaciers in north and south slopes of Brøgger peninsula, Svalbard (79° N)

Myrtille Moreau

Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/norois/647>

DOI : 10.4000/norois.647

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

Myrtille Moreau, « Contexte environnemental et colonisation végétale des moraines récentes », *Norois* [En ligne], 194 | 2005/1, mis en ligne le 13 août 2008, consulté le 01 mai 2019. URL : <http://journals.openedition.org/norois/647> ; DOI : 10.4000/norois.647

Ce document a été généré automatiquement le 1 mai 2019.

© Tous droits réservés

Contexte environnemental et colonisation végétale des moraines récentes

Étude comparée de deux glaciers en versants nord et sud de la presqu'île de Brøgger, Svalbard (79° N)

Context environmental and plant colonization on recently deglaciated moraines: compared study of two glaciers in north and south slopes of Brøgger peninsula, Svalbard (79° N)

Myrtille Moreau

NOTE DE L'ÉDITEUR

Cet article a été reçu le 22 septembre 2004 et définitivement accepté le 31 janvier 2005.

Remerciements : Les missions de terrain antérieures à 2002 ont bénéficié du support financier de l'UMR 6042 « Géodynamiques de milieux naturels et anthropisés » de Clermont-Ferrand et du GDR 049 CNRS « Recherches arctiques » de Besançon, respectivement dirigés par M.-F. André et T. Brossard. Depuis 2002, ce travail s'inscrit dans un programme de recherche sur les espaces proglaciaires mené au Spitsberg et soutenu par l'Institut Polaire Français Paul-Émile-Victor (IPEV, Programme n° 400 « Geomorphoclim », D. Mercier). Mes remerciements vont aussi à Dominique Laffly et Arve Elvebakk pour leur aide au cours de ce travail ainsi qu'aux relecteurs de la revue pour leurs suggestions.

- 1 Les changements climatiques survenus depuis la fin du Petit Âge Glaciaire ont considérablement modifié les équilibres environnementaux dans les hautes latitudes. Au nord-ouest du Spitsberg (79° N), dans l'archipel du Svalbard, les glaciers de vallée ont reculé d'un kilomètre en moyenne depuis un siècle. Ce recul s'explique par des bilans de masse négatifs depuis la fin du XIX^e siècle (Lefauconnier et Hagen, 1990) dont l'origine est

à la fois thermique et pluviométrique (Førland et Hanssen-Bauer, 2000). Un réchauffement de $1,5 \pm 0,5$ °C, pour les 60 à 80 dernières années a été enregistré pour les températures de surface (Isaksson *et al.*, 2001). Sur les espaces récemment libérés, de nouvelles dynamiques s'expriment, qu'elles soient liées aux processus paraglaciers comme le ruissellement (Mercier, 1998) ou à la colonisation végétale (Moreau, 2003). Cette dernière a fait l'objet de nombreux travaux où l'organisation du processus en chronoséquences est démontrée et se relie à une diversification progressive des espèces et un accroissement des taux de recouvrement végétaux (Matthews, 1992 ; Whittaker, 1993 ; Chapin *et al.*, 1994 ; Stöcklin et Bäumler, 1996 ; Vetaas, 1997 ; Helm et Allen, 1995 ; Frenot *et al.*, 1998 ; Hodkinson *et al.*, 2002 ; Moreau, 2003). À l'issue de ces travaux, il apparaît que la colonisation végétale est souvent donnée comme un processus univoque où le temps constitue le seul principe organisateur. Or, si celui-ci n'est guère contestable, il peut être intéressant d'en préciser la traduction concrète par un inventaire de situations observées selon un protocole raisonné. Ce travail doit permettre de calibrer les temps de réponses de la végétation en fonction de la nature des différents contextes environnementaux et de leur échelle spatiale.

- 2 À cette fin, notre attention s'est portée sur l'utilisation de séries de photographies aériennes pour cartographier et dater les anciens fronts glaciaires des Austre Lovénbreen et Edithbreen. Des observations floristiques, réalisées à l'intérieur des espaces ainsi datés, permettent d'identifier des successions végétales pour chacun des sites. Leur comparaison souligne le rôle des facteurs locaux dans la colonisation végétale.

Les terrains d'étude

- 3 Le Spitsberg fait partie de l'archipel norvégien du Svalbard et se situe dans la zone du haut Arctique entre 76° et 81° de latitude nord (fig. 1). La façade nord-ouest du Spitsberg est fortement indentée par des fjords séparant des îles parmi lesquelles figure celle de Brøgger où prend place notre terrain d'étude. En terme de végétation, cet ensemble fait partie d'une ceinture circumpolaire que les botanistes définissent comme « la zone nord de la toundra arctique » et dont *Dryas octopetala* est l'espèce caractéristique (Elvebakk, 1997). À l'échelle de la île, les formations végétales se répartissent en deux groupes physionomiquement distincts. D'une part, la toundra : couvrante à plus de 50 %, elle occupe les zones anciennement stabilisées et constituées de terrasses glaciomarine soulevées sous l'effet des rejeux isostatiques. D'autre part, les formations végétales éparées : dans un contexte où la composante minérale domine le paysage, elles se disséminent en taches ou en piquetis plus ou moins lâche sur un terrain où les processus dynamiques sont très actifs et n'ont pas permis à la végétation d'atteindre les stades de maturité. Dans le détail, physionomie et composition du couvert végétal sont sensibles aux différents facteurs environnementaux que sont la nature du substrat, l'hydrographie, le microclimat ou encore la microtopographie (Nimis, 1985 ; Nilsen *et al.*, 1999).

Figure 1 : A) Carte du Svalbard et localisation de la presqu'île de Brøgger ; B) Image satellite de 1990 (Norsk Polarinstitutt) de la presqu'île et limite des marges proglaciaires.
 A) Svalbard map and Brøgger peninsula location; B) Satellite image of 1990 (Norsk Polarinstitutt) of the peninsula and glacier foreland limits.

- 4 Dans ce contexte, l'étude portera sur les systèmes morainiques frontaux de deux glaciers, l'Austre Lovénbreen et l'Edithbreen situés de part et d'autre de la presqu'île, en façade nord et sud (fig. 1). Cette opposition d'orientation n'est pas sans conséquence sur le mésoclimat des deux sites. En effet, une étude réalisée par T. Brossard *et al.*, (2002) a montré qu'au sud, les conditions climatiques ont favorisé le développement d'une végétation thermophile tandis qu'au nord, l'effet négatif de l'exposition sur la végétation se trouve renforcé par certains phénomènes locaux comme les vents catabatiques. Il est donc intéressant d'analyser ces deux situations bien contrastées pour faire ressortir, de l'une à l'autre, les ressemblances et les différences qui ont marqué l'évolution de la végétation depuis son installation à la fin du Petit Âge Glaciaire.

Méthode

- 5 Le premier volet méthodologique de notre travail consiste à dater et inscrire les auréoles de déglaciation qui se sont succédées dans le temps et dans l'espace, depuis le *vallum* externe, mis en place au Petit Âge Glaciaire, jusqu'au front actuel des glaciers, toujours en recul. À cette fin, nous avons utilisé les collections de photographies aériennes du Norsk Polarinstitutt disponibles pour 1936, 1966, 1969, 1990. Grâce à cette séquence documentaire bien fournie, il fut possible de reconnaître avec précision les différents stades qui ont rythmé la déglaciation, et de délimiter les zones correspondantes sur le terrain (fig. 2).

Figure 2 : Positions successives des fronts glaciaires de l'Austre Lovénbreen et de l'Edithbreen
Map of successive Austre Lovénbreen and Edithbreen glacier fronts

Les photographies aériennes verticales du Norsk Polarinstitut ont été utilisées pour cartographier les changements successifs de position des fronts en 1936, 1966, 1969 et 1990. Ces données sont numérisées, géoréférencées et combinées pour cartographier les moraines de retrait. C'est à partir de ce fond cartographique qu'un plan d'échantillonnage est défini suivant un cheminement en transect recoupant les différentes auréoles morainiques datées. Le long des transects, des postes d'observation sont répartis systématiquement tous les 100 mètres.

Air photos (1/50 000) from Norsk Polarinstitut were used to visually sort out successive changes in the glacier front outer limit in 1936, 1966, 1969 and 1990. These data were digitized, georeferenced, combined to produce surface map of the moraines retreat. Field sampling points were selected along transect network inside morainic parts. Along transects, plot stations are organized systematically each 100 meters.

- 6 Le deuxième volet concerne le protocole d'observation *in situ*. Sur chaque zone précédemment datée et délimitée, des observations botaniques ont été effectuées sur des postes, disposés régulièrement le long de transects, recoupant les auréoles de déglaciation (fig. 2) ; leur emplacement fut repéré au GPS avec une précision métrique qui assure un géoréférencement de qualité. En chaque poste, huit relevés, matérialisés à l'aide d'une grille de 1 m², sont conduits de manière à échantillonner les configurations locales du milieu dans leur diversité ; l'observation consiste à recenser les espèces (phanérogames) présentes dans chacun des relevés. Un rapport est fait entre le nombre total de carrés échantillonnés et le nombre de fois où l'espèce est présente dans chacun des carrés. Il est alors possible de déterminer la fréquence de chaque espèce pour le poste d'observation (fig. 3).

Figure 3 : Méthode de relevé appliquée pour chaque poste d'observation
Sampling method applied for each field plots

Sur une surface couvrant environ 64 m² sont échantillonnées les composants floristiques et granulométriques. Huit grilles d'1 m² sont posées, de manière aléatoire, à l'intérieur de chaque secteur de 64 m². Chacune des grilles permet d'évaluer le couvremment des classes granulométriques et du couvert végétal. Les espèces qui composent la couverture végétale sont notées en terme de présence et d'absence. La synthèse des huit grilles détermine la fréquence de chaque espèces.

On a 64 m² square plant species and grain size are monitored. Eight 1 m² quadrant are localized randomly inside of the 64 m² field. Each quadra allows to estimatespatial extent of each plant or grain size cover. Plant species are couned in presence and absence. Synthesis of eight squares gives species frequency.

- 7 Le troisième volet porte sur le traitement des données collectées. La méthode employée consiste à effectuer des tris croisés entre les données de végétation et les différentes générations de moraine. En dépit de sa simplicité, ce type de traitement garde ici une grande pertinence car il permet de relier le temps et l'espace : on peut ainsi faire apparaître la spécificité des cortèges floristiques associés à chaque phase de retrait glaciaire. De la sorte, les deux logiques de distribution des espèces, qui interfèrent, peuvent être démêlées : d'une part, celle qui relève de la variation « interzone » et qui signe l'œuvre du temps dans le processus de colonisation, d'autre part, celle qui relève de la variation « intrazone » et qui, au-delà des effets aléatoires de dissémination, marque un ajustement aux aptitudes locales de l'environnement.

Distribution des espèces et phases de colonisation : comparaison des deux sites

- 8 Le tri des relevés en fonction des trois stades de retrait glaciaire, préalablement identifiés à l'aide des photographies aériennes, fait bien ressortir trois stades floristiques correspondants (fig. 4).

Figure 4 : Évolution des cortèges floristiques des marges proglaciaires de l'Edithbreen et de l'Austre Lovénbreen en relation avec la durée de déglaciation des dépôts

Floristic group evolution on Edithbreen and Austre Lovénbreen moraines in relation with the time of deglaciation

Chaque graphique synthétise la présence de chaque espèce par auréoles morainiques datées. Les graphiques présentent en ordonnées les espèces végétales recensées pour les deux marges proglaciaires. Elles sont classées de gauche à droite selon leur fréquence dans les relevés de l'Edithbreen. À l'extrémité de cet axe est précisé le pourcentage moyen de couvremment végétal dans les relevés.

Each graph synthesis the presence of plant species for each moraine parts.

- Au plus près des fronts glaciaires, sur l'Edithbreen comme sur l'Austre Lovénbreen, se définit la zone la plus récente, celle des 20 ans écoulés. À ce premier stade, la colonisation est le fait d'espèces pionnières comme les *Saxifraga sp.*, *Draba sp.*, *Cerastium arcticum* et *Sagina nivalis* (fig. 4). Sur la marge de l'Edithbreen, 19 espèces végétales sont recensées contre 17 sur l'Austre Lovénbreen. Parmi les espèces présentes sur la moraine de l'Edithbreen et manquantes sur celle de l'Austre Lovénbreen figure *Dryas octopetala*, indicatrice d'une certaine maturité dans le développement du couvert végétal. La fréquence des espèces est également révélatrice de différences entre les deux sites. Ainsi, *Saxifraga oppositifolia* est présente dans plus de 80 % des relevés au sud contre 60 % au nord. Pour *Salix polaris* les valeurs observées jouent dans le même sens, à 20 % contre 5 %. Pour quelques espèces, comme *Saxifraga cernua* ou *cespitosa*, les fréquences observées s'inversent, plus fortes au nord qu'au sud. Ces cas particuliers sont probablement à mettre sur le compte de différences dans la nature du substrat en raison de la présence plus marquée de fines dans les dépôts de l'Austre Lovénbreen. Cela étant, l'impact favorable de l'orientation sud sur la phase de démarrage du processus de colonisation est bien mis en évidence et précisé dans ses modalités.
- Le deuxième stade de colonisation se rapporte aux espaces dont la déglaciation a pris place dans un laps de temps qui va de 20 à 70 ans environ. Le cortège floristique ne s'est que peu

enrichi par rapport au stade initial. En revanche, les fréquences se sont fortement modifiées et gardent des différences d'un site à l'autre (fig. 4). Pour *Salix polaris* par exemple, les valeurs atteignent 60 % au sud et 40 % au nord. Pour *Silene uralensis*, la différence est de 30 % contre 10 %. L'inversion de fréquence que nous avons constaté d'un site à l'autre est la marque de quelques espèces sensibles à la granulométrie du substrat : *Saxifraga cespitosa* déjà mentionnée et *Carex nardina* par exemple, sont dans ce cas.

- Avec le stade le plus ancien, dont l'âge s'inscrit dans la fourchette de 70 à 120 ans et au-delà, le cortège floristique continue à s'enrichir quelque peu. En terme de fréquence, le processus marque le pas même si l'opposition entre le nord et le sud joue toujours dans les mêmes termes : *Saxifraga oppositifolia*, *Salix polaris* et *Silene uralensis* restent plus fréquentes et marquent une évolution de la colonisation globalement plus avancée sur le site de l'Edithbreen, tandis que *Carex nardina*, *Saxifraga cernua* et *cespitosa* s'imposent davantage sur l'Austre Lovénbreen. À ce stade, le processus de colonisation est toutefois loin d'être parvenu à son terme. Les taux de recouvrement restent faibles et le paysage des moraines garde un caractère minéral très marqué.

Le comportement spatial des espèces dans le processus de colonisation

- 9 Le bilan global qui vient d'être établi mérite d'être complété par une analyse plus fine s'appuyant sur des cartes de distribution espèce par espèce. Ce travail sert à préciser les rythmes d'installation du couvert végétal (fig. 5). Comme une présentation exhaustive des cartes produites n'est pas envisageable dans le cadre du présent article, trois exemples ont été choisis pour leur valeur démonstrative (fig. 5) ; ils font ressortir des stratégies de colonisation différentes selon les espèces.

Figure 5 : Cartographies de la présence et de la fréquence de trois espèces végétales sur les marges proglaciaires de l'Edithbreen et de l'Austre Lovénbreen
 Maps of 3 species inside Edithbreen and Austre Lovénbreen proglacial areas

Les cartes sont réalisées sur les photographies aériennes de 1990, pour l'Austre Lovénbreen, et 1969 pour l'Edithbreen du Norsk Polarinstitut.

The maps are realized on air photos of 1990, for the Austre Lovénbreen, and 1969, for Edithbreen from Norsk Polarinstitut.

- 10 Le premier exemple est celui de *Braya purpurascens* (fig. 5) dont la distribution se différencie à l'échelle des deux sites. En effet, dans le cas de l'Austre Lovénbreen, cette espèce reste associée aux espaces récemment déglacés, situés de part et d'autre du front de 1966 tandis que sur la moraine de l'Edithbreen, sa distribution est plus diffuse.
- 11 *Salix polaris* (fig. 5) présente un comportement spatial différent, du moins sur le secteur de l'Austre Lovénbreen où, très fréquente sur les parties anciennes, cette espèce n'est jamais relevée en deçà du front de 1966. Sur le site de l'Edithbreen, *Salix polaris* apparaît beaucoup plus tôt dans les phases de colonisation puisqu'elle est observée très près du front glaciaire actuel.
- 12 Enfin, un troisième type de comportement est mis en évidence par *Saxifraga oppositifolia*. Cette espèce très conquérante tend à occuper tout l'espace, indépendamment – ou presque – de la durée de déglaciation et de la position du site considéré.
- 13 L'analyse des cartes de distribution montre que l'installation des espèces sur les moraines récentes dépend de l'effet combiné du temps et de facteurs locaux comme l'exposition. De ce point de vue, notre analyse montre que les espèces développent des stratégies spatiales différentes dans la conquête des milieux ouverts à la colonisation depuis la fin du Petit Âge Glaciaire. À cet égard, on peut relever qu'au nord, les espèces sont plus rigoureusement distribuées en fonction des auréoles de déglaciation tandis qu'au sud,

cette relation est moins nette en raison de conditions mésoclimatiques plus favorables dont on mesure ainsi l'incidence spécifique.

Mise en évidence de deux groupes distincts d'espèces : les pionnières et les édificatrices

- 14 Dans le contexte de marge proglaciaire, la colonisation végétale est jalonnée par la mise en place de groupements végétaux caractéristiques, depuis les éléments pionniers épars jusqu'aux formes les plus matures préfigurant la toundra jointive qui occupe les habitats anciens et stables hors des moraines. Les groupements, ordonnés en séquences, sont marqués à chaque étape par un flux d'espèces entrantes et sortantes. Un tel phénomène se traduit dans la composition floristique par la présence d'espèces « relictuelles » d'un groupement floristique antérieur, et d'espèces édificatrices du groupement végétal futur. La dynamique de la végétation est le fait de deux groupes d'espèces aux comportements opposés au regard du processus de maturation des surfaces. Les espèces pionnières, dont la fréquence diminue avec la maturation ; les espèces édificatrices qui prennent le relais au cours du temps et s'imposent, au détriment des pionnières, dans la composition et la physionomie du couvert végétal.

Les espèces pionnières

- 15 Les espèces végétales dites pionnières sont les premières à s'installer sur un terrain nu d'où le glacier vient de se retirer. Elles sont identiques sur les marges des deux glaciers. Avec l'augmentation de la durée de déglaciation des surfaces, leur fréquence diminue (fig. 6). En dehors des contextes pionniers, ces espèces deviennent moins abondantes même si elles figurent encore dans les relevés de toundra. En effet, *Sagina nivalis*, *Saxifraga oppositifolia*, *Saxifraga cespitosa* par exemple, s'observent également dans les formations végétales matures. À l'opposé, on notera les cas extrêmes de *Silene uralensis* et de *Braya purpurascens* qui sont strictement pionnières et confinées à ce type de milieu.
- 16 Toutes les espèces pionnières sont bien adaptées à un environnement minéral où elles se disséminent et tendent, dans un premier temps, à occuper l'espace disponible d'une manière exclusive (Matthews, 1992). Ensuite, à mesure que le temps passe, le milieu (édaphique surtout) se transforme et se complexifie en offrant les conditions qui permettent à d'autres espèces plus exigeantes de s'implanter. À ce stade la compétition interspécifique opère au détriment des pionnières dont la fréquence diminue dans les relevés comme le met bien en évidence notre analyse. Celle-ci révèle le caractère pionnier de certaines espèces au vu des résultats obtenus.

Les espèces édificatrices

- 17 Les espèces, dont la présence s'affirme avec le temps, conduisent à la mise en place de la toundra, c'est pourquoi elles peuvent être qualifiées d'édificatrices. Elles sont rares sur les dépôts récemment déglacés où le milieu n'offre pas les aptitudes requises : l'absence de matière organique dans le sol est dans ce cas un facteur limitant. Parmi ces espèces, on relève *Pedicularis hirsuta* qui apparaît sur les moraines de 100 ans ou plus (fig. 6) lorsque la végétation devient couvrante et se diversifie dans sa composition. L'abondance conjointe de *Polygonum viviparum* et de *Silene acaulis* peut s'interpréter de la même façon (Brossard,

1991). En effet, ces espèces ont une fréquence plus grande dans les relevés réalisés sur les anciens niveaux de plages que dans ceux de la moraine ; pour *Silene acaulis* par exemple, la différence va de 50 % à moins de 10 %.

Figure 6 : Évolution de la fréquence et de la présence des espèces végétales sur les marges proglaciaires de l'Edithbreen et de l'Austre Lovénbreen en relation avec la durée de déglaciation des dépôts morainiques

Species frequency evolution on proglacial areas in relation with time of deglaciation

Les graphiques du haut rassemblent les espèces qualifiées de pionnières et ceux du bas les espèces dites édifcatrices.

Graph on the top presents pioneer species and the other one the mature species.

- 18 Les espèces végétales dont la fréquence augmente sans rupture avec l'âge des surfaces constituent donc un ensemble de biomarqueurs d'un stade évolué dans le processus de colonisation végétale. Ce sont des espèces édifcatrices du groupement d'équilibre futur, la toundra. L'élargissement de l'échelle d'observation aux espaces limitrophes des marges proglaciaires permet de souligner les particularités des espaces intra-morainiques par rapport aux espèces appartenant à la formation de toundra.

Conclusion

- 19 Les formations végétales qui prennent place sur les zones récemment libérées par la glace permettent de jalonner les premiers épisodes qui, en terme d'évolution, doivent conduire à la toundra telle qu'on peut l'observer sur les espaces limitrophes les plus anciens et les plus stables. Nous avons pu mettre en évidence, grâce à l'échantillonnage statistique du terrain, comment les « rôles » se distribuent au cours du processus de colonisation selon les espèces et le comportement qu'elles présentent. Il ne s'agit pas d'un mouvement univoque d'enrichissement et de diversification de la couverture végétale, puisque les

stratégies des espèces pionnières et des espèces édifcatrices jouent en sens inverse et présentent une grande diversité de nuances. Bien que l'occupation spatiale diffère pour chaque espèce d'un site à l'autre, les phases de colonisation s'enchaînent dans le même ordre. Toutefois, la colonisation végétale connaît un rythme plus rapide au sud qu'au nord comme le montrent d'une part, l'analyse des cortèges floristiques dans leur mise en place, d'autre part, l'analyse des cartes de distribution par espèce. Les séquences floristiques et l'abondance en espèces sont dépendantes du temps.

- 20 Secondairement, le rôle des facteurs environnementaux se décline selon les échelles. D'un site à l'autre, on a vu qu'expositions nord et sud induisent des différences tant dans l'enrichissement des cortèges floristiques que dans les distributions d'espèces. Cela traduit l'effet des conditions mésoclimatiques propres à chaque site.
- 21 Enfin, la répartition spatiale des espèces est également sensible aux effets des facteurs locaux qui organisent la distribution de ces mêmes espèces au sein des secteurs morainiques d'âge et de configuration comparables. Cette question n'a pas été traitée dans la présente étude mais la méthodologie employée ici peut être reprise pour analyser l'incidence des conditions locales du milieu aux échelles métriques. Ce sera l'objet d'un prochain développement.

BIBLIOGRAPHIE

BROSSARD (T.), 1991. – *Pratique des paysages en baie du Roi et sa région*, Paris, Annales littéraires de l'université de Franche-Comté, 428 p.

BROSSARD (T.), ELVEBAKK (A.), JOLY (D.), NILSEN (L.), 2002. – « Modelling index of thermophily of a multi-source database on Brøggerhalvøya Peninsula (Svalbard) », *International Journal of Remote Sensing*, vol. 23, n° 21, p. 4683-4698.

CHAPIN III (F. S.), WALKER (L. R.), FASTIE (C. L.), SHARMAN (L. C.), 1994. – « Mechanisms of primary succession following deglaciation at Glacier Bay », Alaska, *Ecological Monographs*, vol. 64, n° 2, p. 149-175.

ELVEBAKK (A.), 1997. – « Tundra diversity and ecological characteristics of Svalbard », dans *Ecosystems of the world*, dans Wielgolaski F. E. (ed.), vol. 3, Oxford, p. 347-359.

FØRLAND (E. J.), HANSEN-BAUER (I.), 2000. – « Increased precipitation in the nowegian arctic: true or false? », *Climatic Change*, n° 46, p. 485-509.

FRENOT (Y.), GLOAGUEN (J.-C.), CANNAVACCIUOLO (M.), BELLIDO (A.), 1998. – « Primary succession on glacier forelands in the subantarctic Kerguelen Islands », *Journal of Vegetation Science*, n° 9, p. 75-84.

HELM (D. J.), ALLEN (E. B.), 1995. – « Vegetation chronosequence near Exit Glacier, Kenai Fjords National Park, Alaska, USA », *Arctic and Alpine research*, vol. 27, p. 246-257.

HODKINSON (I. D.), WEBB (N. R.), COULSON (S. J.), 2002. – « Primary community assembly on land – the missing stages: why are the heterotrophic organisms always there first ? », *Journal of Ecology*, vol. 90, n° 3, p. 569-577.

- ISAKSSON (E.), POHJOLA (V.), JAUHIAINEN (T.), MOORE (J.), PINGLOT (J. F.), VAIKMÄE (R.), WAL (R. S. W.), HAGEN (J. O.), IVASK (J.), KARLÖF (L.), MARTMA (T.), MEIJER (H. A. J.), MULVANEY (R.), THOMASSEN (M.), BROEKE (M.), 2001. – « A new ice-core record from Lomonosovfonna, Svalbard: viewing the 1920-97 data in relation to present climate and environmental conditions », *Journal of Glaciology*, vol. 47, n° 157, p. 335-345.
- LEFAUCONNIER (B.), HAGEN (J. O.), 1990. – « Glaciers and climate in Svalbard: statistical analysis and reconstruction of the Brøggerbreen mass balance for the last 77 years », *Annals of Glaciology*, n° 14, p. 148-152.
- MATTHEWS (J. A.), 1992. – *The ecology of recently-deglaciated terrain. A geoecological approach to glacier forelands and primary succession*, Cambridge University press, 386 p.
- MERCIER (D.), 1998. – *Le ruissellement au Spitsberg. L'impact d'un processus azonal sur les paysages d'un milieu polaire, presque île de Brøgger*, Thèse de doctorat de géographie physique, Clermont-Ferrand université Blaise-Pascal, 531 p.
- 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.
- NILSEN (L.), ELVEBAKK (A.), BROSSARD (T.), JOLY (D.), 1999. – « Mapping and analysing arctic vegetation: evaluating a method coupling numerical classification of vegetation data with SPOT satellite data in probability model », *International Journal of Remote Sensing*, vol. 20, n° 15/16, p. 2947-2977.
- NIMIS (P.L.), 1985. – « Structure and floristic composition of a high Arctic tundra: Ny-Ålesund », *Inter-Nord*, n° 17, p. 47-58.
- STÖCKLIN (J.), BÄUMLER (E.), 1996. – « Seed rain, seedling establishment and clonal growth strategies on a glacier foreland », *Journal of vegetation science*, vol. 7 p. 45-56.
- VETAAS (O. R.), 1997. – « Relationship between floristic gradients in a primary succession », *Journal of Vegetation Science*, vol. 8, p. 665-676.
- WHITTAKER (R. J.), 1993. – « Plant population patterns in a glacier foreland succession: pioneer herbs and later-colonizing shrubs », *Ecography*, vol. 16, p. 117-136.

RÉSUMÉS

Sous l'effet du réchauffement climatique qui a suivi le Petit Âge Glaciaire, la fonte des glaciers arctiques a libéré de nouveaux espaces conquis ensuite par la végétation. Le phénomène est bien marqué au Svalbard où la présente étude est conduite. Celle-ci concerne les marges de deux appareils, les glaciers Edithbreen et Austre Lovénbreen ; le premier est situé en façade sud, l'autre en façade nord de la presqu'île de Brøgger (79° N). Une analyse par relevés floristiques systématiques permet de mettre en relation les phases successives de retrait glaciaire et de colonisation végétale. Le temps est évidemment le facteur déterminant qui gouverne l'évolution de la végétation tant dans sa physionomie que dans sa composition. Ainsi, les phanérogames apparaissent en général après 20 ans de déglaciation et la séquence temporelle des cortèges floristiques s'ordonne partout de la même façon, depuis les stades pionniers jusqu'à des stades plus évolués, définis comme « édificateurs » des futurs groupements matures. Cependant, la dynamique végétale n'est pas uniforme et n'opère pas sous la seule dépendance du temps. Les configurations environnementales jouent aussi un rôle important qui se décline selon les échelles. C'est ce qui ressort de notre étude où les positions de façade nord et sud sont mises en évidence comme facteur de différenciation de la végétation entre les deux sites observés. En

effet, de l'un à l'autre, l'analyse des espèces et de leur distribution fait apparaître des comportements bien distincts en fonction des contextes locaux.

In relation with the present global climatic change following the Little Ice Age, most of the Arctic Glaciers are retreating. Therefore, larger and larger areas become free for plant colonization. Such processes can be observed on Svalbard where the present study takes place; on the front areas of two glaciers (named Edithbreen and Austre Lovénbreen). Both of them are located on the Brøgger peninsula, (79° N); the first one is South facing whereas the second one is North facing. The sites were sampled and systematic botanical relevés have been made, aiming at explaining the relationship between ice melting and plant colonization process. Time is, of course, the main control which determines the vegetation evolution in term of physiognomy and floristic composition. The phanerogams start to colonize the moraine 20 years after the glacier has left. Everywhere, the floristic sequence is the same from the early pioneer stages until the mature ones. However, this process is not homogeneous and not only time-dependent. The environment conditions are also important and their effect can be shown at different scales. For instance, the south and north facing positions can be recognized as factors which force variations in the colonization process. Obviously, the local conditions are interfering with the general time dependent colonization process.

INDEX

Mots-clés : analyse de données, colonisation végétale, marge proglaciaire, mésoclimat

Keywords : data analysis, plant colonization, proglacial area

Index géographique : Spitsberg

AUTEUR

MYRTILLE MOREAU

Université Blaise-Pascal (Clermont-Ferrand), GEOLAB, UMR 6042 – CNRS,
myrtille.moreau@free.fr