



LAURENCE ROBERT & AGNÈS BALTZER

Les dessous du Spitzberg

Ou la naissance de nouveaux paysages

Le paysagiste conçoit l'espace notamment avec ses connaissances sur le vivant, son caractère muable et changeant, les cycles du sol et des plantes. Il réalise systématiquement un état des lieux le plus exhaustif possible, du site à transformer à un instant "t", mais il travaille aussi avec ce qu'il ne voit plus ou pas encore, sur la lente métamorphose des paysages, entièrement dépendante de ce qu'il y a en dessous.

Le géomorphologue, celui qui étudie les reliefs, les processus qui les façonnent, peut confirmer ou infirmer des intuitions. Car le paysage du dessus dépend de celui de dessous, il n'y a pas de césure entre les deux, c'est un véritable continuum, une entité, une épaisseur qui est en perpétuelle évolution, souvent très lente à l'échelle humaine. Mais actuellement, dans les hautes latitudes du Svalbard, archipel norvégien situé entre le 74° et le 81° de latitude nord, la transformation des paysages, dans le temps et dans l'espace, est visible à l'œil nu.

Le Svalbard est l'un des seuils de l'océan Arctique et communique avec tous les océans du monde. Sa position et la circulation des courants marins font de cet archipel un lieu où les changements climatiques sont très rapides. Ces derniers vont peu à peu avoir des répercussions sur l'Arctique et tout l'Atlantique Nord, puis tout autour du monde. L'archipel du Svalbard, situé sur le seuil de l'océan Arctique, comprend cinq îles principales dont celle du Spitzberg. L'activité humaine y a toujours été étroitement liée à la géologie (la recherche scientifique), le sous-sol

Laurence Robert est paysagiste conceptrice et Agnès Baltzer géomorphologue.

PAGE PRÉCÉDENTE
Photo d'une bédrière : petite rivière entaillant la surface du glacier continental de Longyearbreen, août 2017. Crédit L. Robert



(l'extraction minière) et la morphologie des paysages (le tourisme en plein essor) de l'archipel.

Longyearbyen, capitale actuelle et ancienne cité minière, abrite une université (l'UNIS, University Center in Svalbard) qui accueille des étudiants venus du monde entier. Et dans le village scientifique de Ny Ålesund, à deux cents kilomètres au Nord, des chercheurs de tous les pays (géographes, glaciologues, géomorphologues, biologistes, etc.) résident pour mesurer le recul des glaciers, les changements des écosystèmes, les variations des gaz atmosphériques et l'évolution des climats.

Les villes du Spitzberg ressemblent à des "camps" où les maisons sont alignées le long de pistes plus ou moins carrossables. Pas de nom de rues, juste des numéros. Toutes

les habitations, maisons comme immeubles, sont construites en l'air, hors sol, sur pieux. Souvent, les portes des maisons ne se ferment plus en été. La texture du sol, sous l'effet du dégel en surface se modifie, ramollie, se dégonfle. Les habitations sont reliées par des réseaux qui courent à un mètre environ au-dessus du sol, gainés dans des tuyaux de plastique attachés ensemble et supportés par une sorte de coffrage en bois, long de centaines de mètres. Le permafrost (ou pergélisol), sol gelé en permanence pratiquement partout sur une profondeur de plus de cent mètres, ne permet pas aux réseaux de conduire l'eau.

Les maisons n'ont pas d'autres propriétaires que les sociétés ou universités qui emploient les salariés ou les chercheurs. De toutes façons, on ne reste pas longtemps ici, on ne naît pas ici, on ne meure pas non plus, ou bien, si c'est le cas, le corps – que le pergélisol ne laisse pas se décomposer – est bien vite envoyé sur le continent.

C'est en ces lieux où tout est bâti hors-sol, où l'homme ne semble pas pouvoir s'implanter de façon durable, s'enraciner, ou "habiter", que l'on a le sentiment réel de voir les dessous du paysage : la roche et la terre sont à nues, sans protection aucune, les glaciers se transforment, se disloquent et s'écoulent, changeant le fragile équilibre de la température des océans, des écosystèmes, redessinant les traits des rivages du monde entier. On observe la transformation du paysage depuis son intérieur gelé ou glacé mais certainement pas figé, faussement immobile, mouvant de manière aussi imperceptible que spectaculaire.

GÉOLOGIE

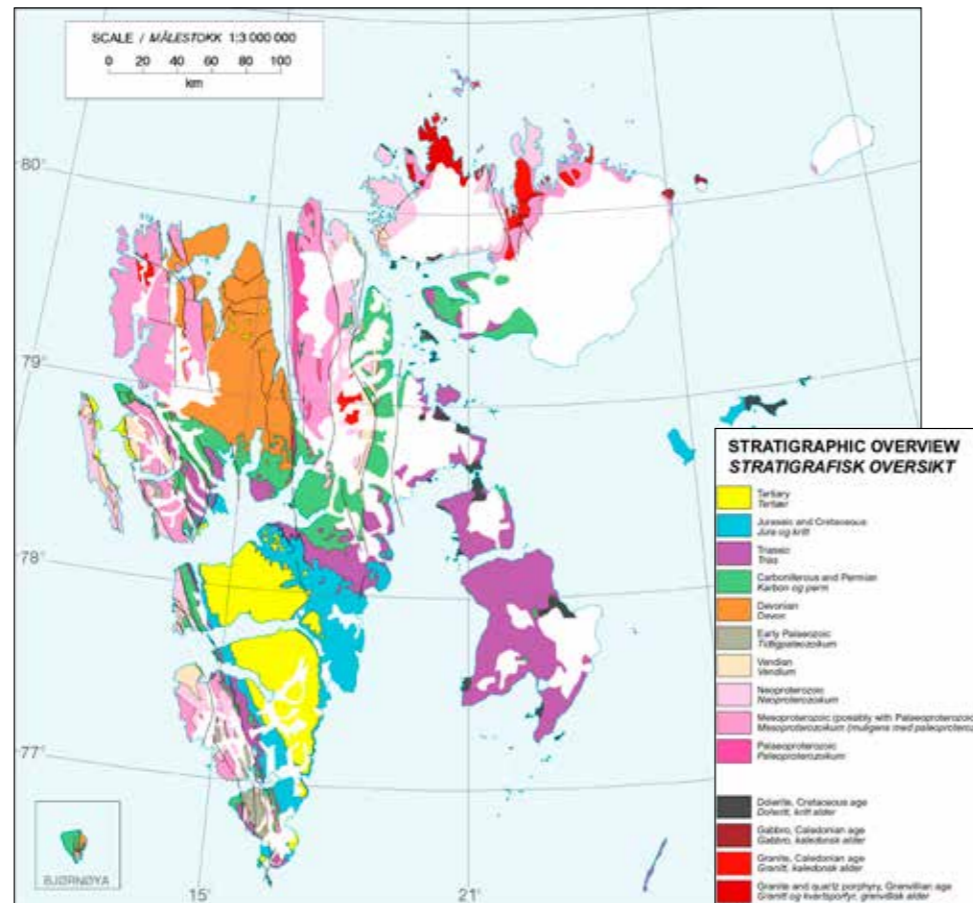
L'impression de pureté de l'air respiré, son odeur de glace, de froid et de haute montagne s'associe à la brutalité du relief, cru, sans végétation aucune, de prime abord. Le paysage est tellurique, tout est là, visible, donné à voir. Il se montre sous toutes ses faces.

La ville de Longyearbyen est construite dans le creux d'une vallée : elle s'étend du fjord jusqu'en haut, là où la large vallée glaciaire se rétrécit entre deux flancs de montagne constitués de couches de roches et de sédiments successivement empilés les unes par dessus les autres.



Photo de la vallée glaciaire de Longyearbyen, août 2017.
Crédit S. Argant

Carte du Svalbard montrant la diversité des affleurements géologiques (D. Blomeier *et al.*, *Geology of Svalbard*, Norwegian Polar Institute, Polar Environmental Centre, Tromsø, 2006).



Depuis le haut de la montagne, on observe la ville construite dans le lit majeur d'une rivière alimentée par les glaciers de Longyearbyen et de Larsbreen, en amont. Il reste les pieux des maisons bombardées pendant la Seconde Guerre mondiale, qui étaient judicieusement implantées sur le flanc ouest peu abrupt de la vallée. Ici, un chemin partiellement coupé par un éboulis de pierres ; là, une cavité et une galerie en bois flanquée dans la pente, en plein milieu de la montagne. Dessous, des traînées noires de charbon et rouges de fer.

La richesse de la palette géologique du Svalbard, où toutes les grandes ères affleurent, est telle que l'archipel est souvent considéré comme un véritable manuel de géologie ouvert. La plupart des roches couvrant les périodes du Précambrien au Quaternaire y sont présentes, ainsi que des traces d'activité volcanique.

Ces îles sont composées de roches très anciennes et témoignent de la succession des différentes phases tectoniques attestées par la présence de nombreuses failles (traits noirs) orientées nord/sud. L'âge des roches s'étale du Paléo-protérozoïque (1 000 millions d'années) au Tertiaire (24 millions d'années) en passant par le Trias (240 millions d'années). Les affleurements des couches carbonifères sont représentés par la couleur verte (315 millions d'années) : ils révèlent ainsi l'existence à l'air libre de niveaux riches en charbon. Enfin, les glaciers pérennes sont représentés par les taches blanches. L'archipel est formé, d'une part, de roches gélives qui vont donner ces paysages de pics et, d'autre part, de strates sédimentaires riches en minerais. L'absence de végétation permet d'accéder à la roche nue.

LE SOL ET LES PLANTES

Durant le court été arctique, seule la partie superficielle du sol dégèle, de trente centimètres à un peu plus de deux mètres. Au-delà de vingt-cinq mètres de profondeur, les variations annuelles de la température ne se font plus sentir. Au Svalbard, le permafrost se forme avec une température moyenne de - 4° C. L'épaisseur de la couche gelée varie entre deux cents et cinq cents mètres. Près des côtes, elle peut être plus faible et, sous certains glaciers, nulle. La mince couche superficielle peut être l'objet de puissants phénomènes géomorphologiques. Les versants peuvent aussi être modelés, le sol mou et gorgé d'eau coule lentement le long de la pente vers la vallée, avec une progression de quelques centimètres à quelques décimètres par an. Ce phénomène apparaît dans les zones de permafrost, où le gel empêche l'eau de s'infiltrer et, par conséquent, le sol de sécher. C'est un facteur important dans le modelage du paysage mais cela peut aussi devenir problématique pour le promeneur et les constructions.

Le dégel sur trente centimètres de profondeur, pendant trois mois par an permet le développement d'une flore spécifique, qui a tendance à se diversifier de façon exponentielle depuis dix ans.

Le milieu typique de la toundra, à la végétation rase, connaît une réelle évolution : aujourd'hui, environ cent soixante-dix espèces de plantes sont répertoriées au Svalbard, sans compter les mousses, lichens et champignons. La faible activité bactérienne du sol fournit peu de phosphates, nitrates et autres sels essentiels. Mais, sous les colonies d'oiseaux, l'apport d'engrais naturel favorise le développement

Paysage de saulaie (forêt de saules)
au-dessus de la vallée de
Longyearbyen, août 2017.
Crédit S. Argant.



d'une couche de plantes parfois épaisse de quelques centimètres, aux couleurs vives, luxuriantes. La saison de croissance ne dure que six à dix semaines jusqu'à la fin du bref été polaire, ce qui est malgré tout suffisant pour que les plantes acclimatées poussent, fleurissent et se reproduisent. Les familles les plus représentées sont les saxifrages, les renoncules, les silènes ; on trouve aussi la linaigrette. Certaines espèces commencent leur croissance avant la disparition de la neige et développent leurs fleurs en quelques jours. La fréquence des vents amène les plantes à se développer horizontalement plutôt que verticalement. Le meilleur exemple est le saule arctique dont la hauteur ne dépasse pas deux à trois centimètres, mais possède des branches rampantes, voire souterraines. Il est de loin le plus fréquent des quatre espèces d'arbre de l'archipel (trois espèces de saule et le bouleau nain) qui peut, en poussant de quelques millimètres par an seulement, atteindre cinquante ou cent ans, et forme en rampant sur le sol de véritables "forêts".

Le pavot des glaciers (*Papaver dahlianum*) est typique des sols les plus secs et des climats les plus rigoureux. Fleur emblématique du Svalbard, le pavot arctique est l'équivalent septentrional de notre coquelicot. Ses fleurs sont soit d'un jaune d'or vif, soit le plus souvent crème, rehaussées par le noir profond de leur partie centrale. Les capsules remplies de graines mûres dès la fin août représentent la seule source de nourriture appréciable pour les oiseaux granivores comme le bruant des neiges ou le lagopède, qui les atteint en hiver par des galeries qu'il creuse sous la neige.

LA MORPHOLOGIE DES PAYSAGES

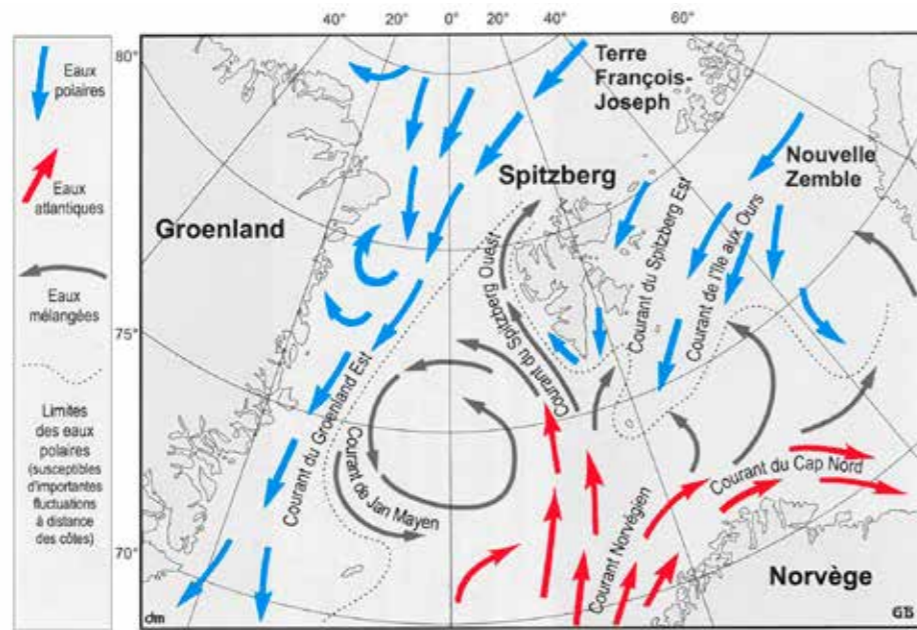
Les paysages de l'arctique sont en pleine évolution en raison de l'impact du changement climatique sur les courants marins et les glaciers.

LES COURANTS MARINS

La répartition des climats à la surface de la Terre résulte du couplage de la circulation des masses d'air dans l'atmosphère avec la circulation des masses d'eau dans l'océan. Ces dernières sont mises en mouvement par de grands courants océaniques qui s'observent suivant deux plans : dans le plan vertical, la circulation "thermo-haline" contrôle les mouvements de plongement ou de remontée des différentes masses d'eau suivant leur densité, c'est-à-dire suivant leur température et salinité. Ce "tapis roulant" est entraîné par la plongée des eaux très froides et très salées aux pôles, et conditionne la vitesse et la position de tous les courants marins. Dans le plan horizontal, les courants "géostrophiques", dus à la rotation de la Terre (force de Coriolis), entraînent une giration de la couche supérieure des océans (les premiers cinq cents mètres) dans un sens horaire dans l'hémisphère nord et dans un sens antihoraire dans l'hémisphère sud. Ils permettent de transporter la chaleur accumulée par les eaux au niveau de l'équateur (courant équatorial) vers les pôles (le Gulf Stream) et servent ainsi de "radiateur" qui réchauffent les continents qu'ils longent. La carte ci-dessous des courants du Svalbard illustre une répartition des courants qui était vraie jusqu'en 2012².

Autrefois, les îles du Svalbard étaient baignées par les eaux froides (flèches bleues) venant du pôle Nord (entre la Nouvelle-Zemble et la terre François-Joseph) et le courant du Spitzberg ouest (flèches grises sur la carte ci-contre), issu des eaux de

2. Kjell Arild Orvik, Peter Niiler, "Major Pathways of Atlantic Water in the Northern North Atlantic and Nordic Seas Toward Arctic", in C. Harris and J. B. Murton (ed.), *Svalbard, Cryospheric Systems, Glaciers and Permafrost*, Geological Society of London, n° 242, 2005, p. 111-117 ; Robert F. Spielhagen, Kirstin Werner, Steffen Aagaard Sørensen, Katarzyna Zamelczyk, Evguenia Kandiano, Gereon Budeus, Katrine Husum, Thomas M. Marchitto et Morten Hald. "Enhanced Modern Heat Transfer to the Arctic by Warm Atlantic Water", *Science*, janvier 2011, p. 450-453.



l'Atlantique Nord (flèches rouges), donc du Gulf Stream, ne pouvait entrer dans les fjords de la façade ouest que pendant l'été. Désormais, cette masse d'eau atlantique s'est installée dans plusieurs fjords de l'ouest et la banquise ne se forme plus totalement en hiver. Il en résulte un changement environnemental qui fait glisser petit à petit ce système glaciaire en système périglaciaire³.

Toute variation du trajet ou chemin d'un courant marin entraîne de proche en proche des perturbations de la circulation océanique mondiale et influence donc à moyen terme la répartition des climats.

Un autre phénomène qui peut également modifier la circulation océanique, est l'apport massif d'eau douce dans le système. Ainsi, au niveau de l'Atlantique Nord, une brusque arrivée d'eau douce, issue de la fonte des glaciers continentaux, donc plus légère que l'eau atlantique salée, obligerait le courant du Gulf Stream à plonger ou à se détourner. Cela pourrait alors provoquer un refroidissement sur nos côtes du nord de l'Europe pendant plusieurs décennies. Ce phénomène est déjà arrivé par le passé, il y a 8 200 ans⁴.

LA FONTE DES GLACIERS

Un glacier est une masse de glace qui s'écoule lentement, sous l'effet de la gravité, le long d'une pente ou d'une vallée. Il glisse sur une semelle d'eau vive, qui alimente de véritables rivières sous glaciaires, drainant par dessous tous les écoulements. Les

"bédières", formées par le ruissellement et les eaux de fonte, sont de petites rivières qui parcourent la surface du glacier. On les voit soudain disparaître de la surface du glacier dans des cavités rondes ou "moulins".

Le déséquilibre actuel entre la masse neigeuse accumulée en hiver (qui est souvent peu importante ou pénalisée par des pluies) en partie haute du glacier et la fonte estivale de sa partie basse se traduit par un bilan de masse négatif.

Après avoir beaucoup reculé depuis le petit âge glaciaire (au XVII^e siècle), mouvement, qui s'est accéléré jusque dans les années 1990, les glaciers continentaux actuels du Spitzberg ne bougent plus et s'amenuisent sur place depuis 1995. Même si l'on note des phénomènes tels que les "surges", brusques avancées de glaciers sur plusieurs kilomètres à une vitesse pouvant aller jusqu'à cent mètres par jour, la grande préoccupation actuelle est leur amaigrissement jusqu'à leur disparition totale. En fondant, ils crachent par l'intermédiaire de leurs rivières sous-glaciaires des sédiments qui vont se déposer sur le bord du rivage et former des deltas qui avancent petit à petit ou "progradent" dans la mer, changeant le dessin de la ligne de rivage.

Les glaciers qui se terminent dans un fjord, donc dans la mer, comme celui du Kronebreen, ne montrent qu'une partie de leur épaisseur car ils reposent sur le fond du fjord. Cette épaisseur peut atteindre plusieurs centaines de mètres, et certains tunnels sous glaciaires libèrent au fond du fjord de l'eau douce et froide qui remonte à la surface, eau rouge-marron visible en surface sur la photo. Ces "upwellings" ou "remontées d'eaux profondes", très riches en plancton et particules en suspension, attirent la faune marine et les oiseaux.

Ces apports massifs de sédiments et d'eau douce dans le fjord bouleversent tous les équilibres et les écosystèmes. La nouvelle turbidité de l'eau modifie l'environnement naturel et donc la faune et la flore marines.

LES CARTES

Le changement climatique est déjà très engagé. Les glaciers qui reculent libèrent et révèlent de nouvelles masses continentales (matière immergée faite de roche) invisibles avant. Ils découvrent des éperons rocheux, parfois reliés au continent, d'autres fois insulaires. Des masses, des flux sédimentaires ou des falaises s'écroulent et s'écoulent depuis le continent jusque dans la mer. Bientôt elles se fixeront,

3. D. Mercier, D. Laffly, "Actual Paraglacial Progradation of the Coastal Zone in the Kongsfjorden Area, Western Spitsbergen, in C. Harris and J. B. Murton (ed.), *Svalbard, Cryospheric Systems, Glaciers and Permafrost*, Geological Society of London, n° 242, 2005, p. 111-117 ; M.C. Strzelecki, J. Malecki, P. Zagorski, "The Influence of Recent Deglaciation and Associated Sediment Flux on the Functioning of Polar Coastal Zone - Northern Petuniabukta, Svalbard", in M. Maanan, M. Robin (éd.), *Sediment Fluxes on Coastal Areas, Coastal Research Library*, Springer, ville ?, 2015, p. 23-45.

4. R. Alley, A.M. Augustsdottir, "The 8k Event : Cause and Consequence of a Major Holocene Abrupt Climate Change", *Quaternary. Sci. Rev.*, n° 24, 2005, p.1123-1149 ; M. Hald et S. Korsun, "The 8200 cal. yr BP Event Reflected in the Arctic Fjord, Van Mijenfjorden, Svalbard", *The Holocene*, n° 18, 2008, p. 981-990.

À GAUCHE

Dessin imaginaire de la carte du Kongsfjorden en 2100 (d'après les cartes du Kongsfjorden 1927 et 2010). Crédit L. Robert.

À DROITE

Mesures et dessins du trait de côte en 1966 (bleu), 1971 (vert), 1977 (jaune), 1990 (rose), 2011 (rouge) et 2014 (violet) en aval des glaciers continentaux de Lovenbreen et de Botnbreen. Photographies aériennes de 1966 et 1990, Université de Franche-Comté.



redessinant de nouvelles lignes et contours de rivages, arborant de nouveaux éperons, pans de roches, ou îles. La figure 9 représente la succession des positions de la ligne de rivage autour du Kongsfjorden, positions qui varient en fonction du retrait des glaciers. Ainsi sur la même carte sont superposées le trait de côte de 1900, de 2010, cartes réalisées par l'Institut norvégien, et un trait de côte imaginaire en 2100. Celui-ci tient compte des observations que les scientifiques font sur les différents deltas (points 1, 2, 3 et 4).

Depuis 2009, ces quatre deltas sont cartographiés précisément afin de comprendre comment le recul ou la diminution d'un glacier entraînent une modification des flux sédimentaires transportés par les rivières.

L'utilisation d'un "sonar latéral" permet de dessiner sous l'eau les différents contours des prodeltas (deltas sous-marins) sous-glaciaires, en s'aidant à terre, pour dessiner le nouveau trait de côte, des levés de DGPS. La même ligne de rivage est ainsi suivie tous les ans depuis 2009. Cette analyse n'est réalisable que sur de très petites portions de terrain à des endroits spécifiques, car le traitement de données est énorme.

Les photos aériennes permettent de compléter ces visions locales et donnent une vision cohérente de tout le système : glaciers, rivières sous-glaciaires et prodeltas. On appréhende et calcule ainsi le continuum terre-mer et la quantité de matière passant du continent à l'océan. Ainsi ces deltas alimentés directement par les glaciers se développent pendant un certain temps, jusqu'au moment où les glaciers ne seront plus connectés à ces deltas (les glaciers seront alors en train de disparaître).

Une multitude de nouvelles cartes terrestres et marines de l'Arctique est en train de se dessiner, les cartes actuelles sont déjà obsolètes, la physionomie du pôle Nord et de toute cette frange arctique est en plein bouleversement.

Les glaciers disparaissent et révèlent des paysages insoupçonnés. Ils vont changer la température des océans, donc nos climats, bouleverser les écosystèmes et redessiner les traits des rivages du monde entier⁵.

Dans ces hautes latitudes de l'hémisphère nord, le réchauffement climatique est plus rapide que sur le reste de la planète, car les masses d'eau ont déjà commencé à changer. Le pôle Nord, une mer entourée de terres, répond plus rapidement à des variations de températures que le pôle Sud, qui est un continent entouré d'eau. La fonte des glaciers continentaux entrainera une remontée du niveau marin, qui s'est déjà plusieurs fois produite au cours de l'ère Quaternaire. La grande différence de ce réchauffement par rapport aux épisodes précédents est que l'impact de l'homme (via l'enrichissement de l'atmosphère en gaz à effet de serre) accélère ce processus. On est pour la première fois capable de mesurer cette évolution à l'échelle d'une vie humaine. Les changements lents et invisibles auparavant peuvent être dorénavant observés à l'œil nu. La mutation du paysage par ses dessous est prégnante ; on observe les sols changer de textures, de températures, de goûts ; ils se tapissent de plantes ; les glaciers découvrent des îles ou des éperons rocheux.

Le paysagiste peut, plus que jamais, appréhender l'aménagement de l'espace en tenant compte du caractère changeant, périssable, mouvant, cyclique du paysage, et de la matière vivante qui le constitue.

5. L. Robert, A. Baltzer et S. Cassen, "Le dessous des cartes, ou la continuité terre-mer", *Les Carnets du paysage*, n° 20, "Cartographies".

BIBLIOGRAPHIE

Arctique, climat et enjeux stratégiques, HD Atelier Henry Dougier, 2015.

Changes and Challenges in the Arctic, Svalbard posten, top of the world, living in the Arctic, 2016-2017.

Gérard Bodineau, *Spitzberg, l'archipel du Svalbard*, guide grand Nord grand large, ville ?, 2011.

Éric Canobbio et Aurélie Boissière, *Atlas des pôles, régions polaires, questions sur un avenir incertain*, Autrement, "Atlas/monde", 2007.

Annie Cazenave, "Le niveau de la mer monte lentement mais sûrement", *L'Atlas de l'eau et des océans*, hors-série *Le Monde/la Vie*, 2017.

Sylvain Coutterand et Sylvain Jouty, *Glaciers*, mémoire de la planète, Hoëbeke, Paris, 2012.

Michael Hambrey et Jürg Alean, *Glaciers*, Cambridge University Press, 1992.

Protected Area in Svalbard, Norwegian Directorate for Nature Management, édition, ville ?, année ?

Hanne Margrethe Ingebrigtsen *et al.*, *Longyearflora - en enkel felthandbok*, *Longyear Flora, a Basic Field Guide*, Loff, ville ?, 2010.

Per Kyrre Reymert, *Longyearbyen*, fra compagny town til modern by, sysselmannen pa Svalbard.