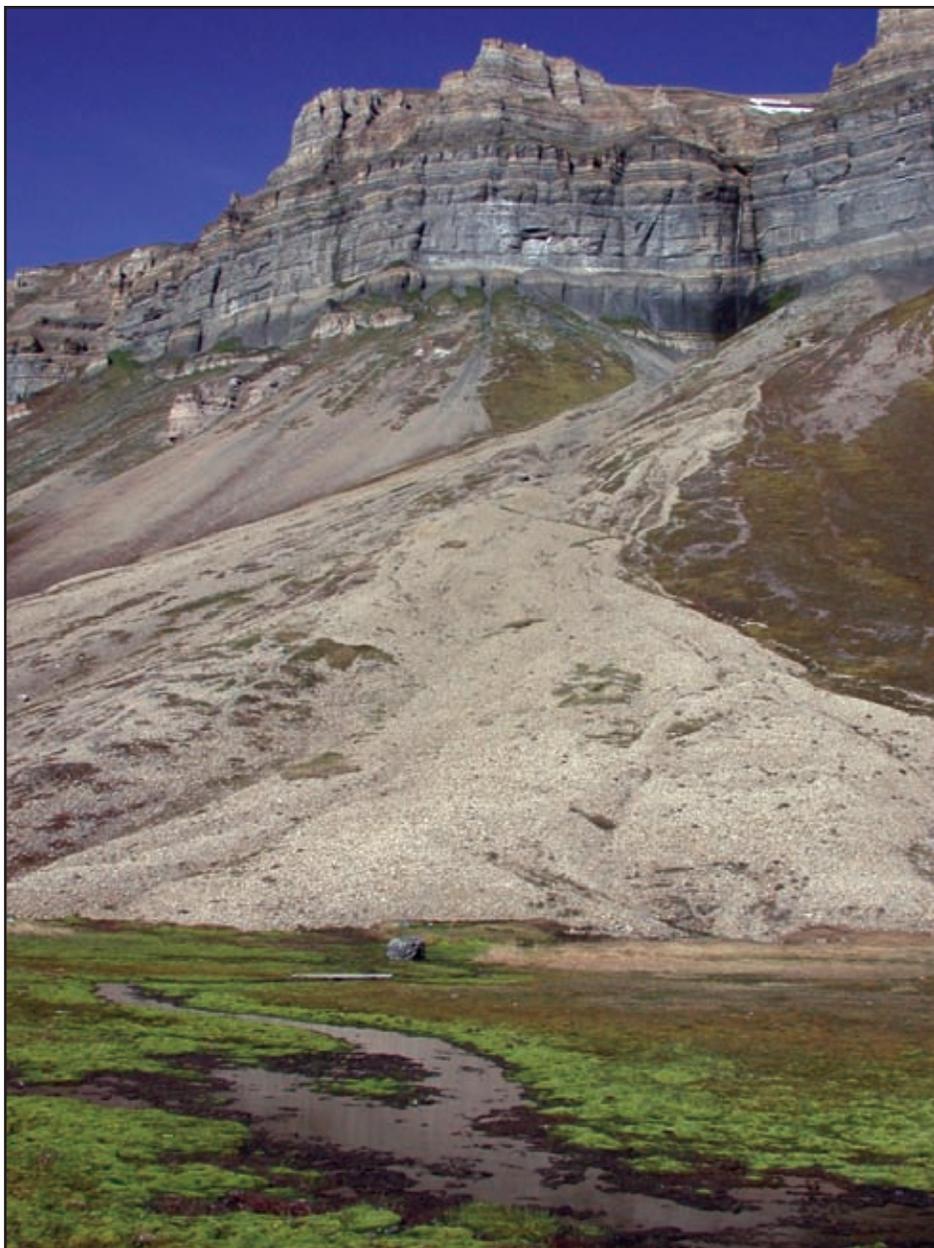


# GÉOLOGIE DU SVALBARD





## Table des matières

---

Qu'est-ce que la géologie ? .....	3
La diversité géologique.....	6
Les roches les plus anciennes .....	10
Les successions sédimentaires.....	14
La tectonique des plaques.....	18
Les chaînes de montagnes au Svalbard .....	20
Fossiles.....	22
Volcanisme et sources chaudes.....	24
La période glaciaire.....	26
Modelés .....	28
Le charbon.....	30
Pétrole et gaz naturel.....	32
Géologie et protection de l'environnement.....	33
Stratigraphie .....	34
Echelle des temps géologiques .....	35

Norsk Polarinstitutt  
Polarmiljøsentret  
NO-9296 Tromsø

[www.npolar.no](http://www.npolar.no)

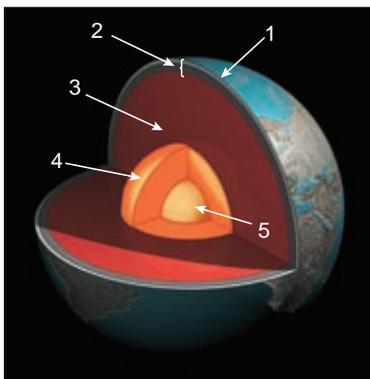
Tekst:	Synnøve Elvevold, Winfried Dallmann, Dierk Blomeier
Oversettelse:	Stephanie Guidard
Teknisk redaktør:	Synnøve Elvevold
Grafisk design:	Audun Igesund
Trykt:	Grafisk Nord AS, januar 2007
ISBN:	978-82-7666-238-2

# Qu'est-ce que la géologie ?

## La science de la Terre

La géologie est l'étude de la Terre. Elle traite de sa structure et de sa composition ainsi que de son évolution depuis sa formation, il y a environ 4,6 milliards d'années, jusqu'à nos jours. La géologie couvre un vaste éventail de disciplines qui va de la volcanologie (étude des volcans) à la gemmologie (étude des gemmes) en passant par la sismologie (étude des tremblements de terre) et la paléontologie (étude grâce à l'analyse fossile des êtres vivants ayant peuplé la Terre, comme les dinosaures). La géologie est, plus précisément, l'étude des roches, des minéraux, des fossiles et des dépôts meubles ainsi que l'étude des transformations actuelles et passées subies par la Terre. Elle se trouve là où la chimie, la physique et la biologie s'intègrent pour décrire, expliquer et comprendre les mécanismes et caractéristiques de la Terre.

Une coupe schématique de la Terre nous montre des couches de différentes compositions. Au centre se trouve le noyau constitué de fer et de nickel. Celui-ci, dit interne, est solide alors que le noyau externe est liquide. Le manteau, visqueux, constitue la



1. Croûte
2. Lithosphère
3. Manteau
4. Noyau
5. Graine

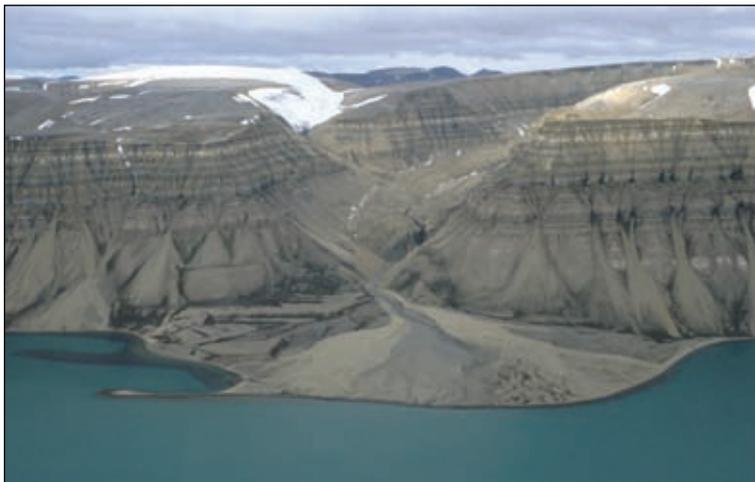
couche du milieu. La couche extérieure est la croûte solide. Celle-ci est froide et formée de roches. Elle peut être subdivisée en croûte continentale et croûte océanique.



Fossile de feuille dans des microgrès du Tertiaire. Des fossiles de feuilles provenant de feuillus ont été retrouvés dans la moraine du glacier Longyearbreen. Photo: D. Blomeier



Roches sédimentaires stratifiées datant du Paléozoïque (Permien) dans la région de Billefjorden. Photo: W. Dallmann



Les paysages du Svalbard sont sculptés par les glaciers et les rivières. Les rivières transportent les graviers, sables et argiles et les sédiments sont déposés sous forme de deltas. Photo: D. Blomeier

## La géologie dans la société

La géologie est partout autour de nous et elle est, en quelque sorte, le sol sur lequel nous vivons. Les mécanismes géologiques ont créé le substratum (appelé également bedrock), déposé des sédiments et ainsi ils ont modifié et sculpté les paysages. Certains de ces mécanismes sont globaux et évoluent si lentement qu'il faut plus d'une vie pour les remarquer. Alors que d'autres, à caractères locaux, peuvent être rapides et violents. Parmi les mécanismes dangereux de la Terre, on retrouve les éruptions volcaniques, les inondations, les tremblements de terre et les glissements de terrain.

Les ressources minières, d'une grande valeur pour l'homme, sont un autre élément important de la géologie. En effet, celui-ci utilise les ressources géologiques depuis le début de l'histoire. Les âges de la Pierre, du Fer et du Bronze ont été baptisés d'après les ressources géologiques utilisées à ces différentes époques: les artisans de l'âge de la Pierre utilisaient le silex comme outil, et plus tard les vikings ont découvert comment extraire le fer des minéraux comme l'hématite. Les ressources géologiques forment aussi la base première de la civilisation moderne. En Norvège, le progrès de la société est étroitement lié à l'exploitation des minerais sur la terre ferme et du pétrole en mer, sur la marge continentale. Au Svalbard, c'est grâce à l'existence du charbon que les colonies locales se sont développées créant ainsi leur histoire.

La géologie a également son importance pour les écosystèmes. Au Svalbard, par exemple, on trouve de nombreux oiseaux vivant sur les falaises. Ceux-ci représentent des écosystèmes uniques où les flancs escarpés des montagnes fournissent les éléments de base nécessaires à ces grandes colonies d'oiseaux. Le caractère du substratum ainsi que les différents processus géologiques qui ont façonné les montagnes ont créé des vives et des corniches où il leur est possible de nicher. Le tourisme et les activités en plein air sont importants pour l'économie de base et les activités commerciales du Svalbard. C'est pourquoi la géologie de l'archipel est essentielle pour les touristes qui jouissent d'une nature exceptionnelle.



Les spectaculaires falaises au sud de Bjørnøya sont composées de dolomite et de roches carbonatées qui s'érodent facilement et créent des vives utilisées pour la nidification. Photo: H. Strøm



La géologie d'Adventdalen est à la base du développement et de l'histoire de Longyearbyen. Photo: I. L. Næss

### Minéraux et roches

Un morceau de roche est composé d'un ou de plusieurs minéraux. Les minéraux comme le quartz, le feldspath et le mica sont assez courants, alors que d'autres sont plus rares. On peut subdiviser les roches en trois catégories principales selon leur formation :

#### Les roches sédimentaires

Ces roches se forment à partir de l'altération des roches préexistantes. Ces produits d'altération subissent normalement un transport plus ou moins long (par l'eau, la glace, le vent ou les forces gravitationnelles) entre l'emplacement de la roche d'origine et leur lieu de dépôt. S'ensuit alors la lithification (transformation d'un sédiment meuble en roche sédimentaire consolidée par compaction et cimentation) des sédiments qui deviennent alors des roches solides sédimentaires. En voici quelques exemples : le grès, le schiste, le calcaire et le conglomérat.



Roche sédimentaire: grès. Photo: D. Blomeier

#### Les roches ignées ou magmatiques

Les roches ignées proviennent du magma (roche en fusion) visqueux surchauffé de l'intérieur de la Terre. Lorsque le matériel magmatique pénètre dans les parties inférieures de la croûte terrestre, il se forme, à la suite d'un lent refroidissement, des roches plutoniques comme le granite et le gabbro. Lorsque le magma atteint la surface du globe, ce sont des roches volcaniques, à la suite d'un refroidissement relativement rapide, qui prennent naissance. Lorsque le magma s'infiltre parallèlement aux structures de l'encaissant, on parle de sills (ou filons). Par contre, quand il recoupe les structures de l'encaissant, on parle de dykes. Les roches extrusives sont des roches mises en place à l'état pâteux, à l'air libre ou sous l'eau. Elles proviennent de la cristallisation du magma qui remonte à la surface où il se solidifie. La lave, plus couramment le basalte, est un exemple de roche extrusive.



Roche ignée: granite. Photo: S. Elvevold

#### Les roches métamorphiques

Les roches métamorphiques se forment lorsque des roches sédimentaires ou ignées sont sujettes à des conditions de températures et de pressions très élevées. Il en résulte une recristallisation, souvent accompagnée d'un développement de schistosité. Le gneiss, le marbre et le micaschiste sont des exemples de roches métamorphiques.



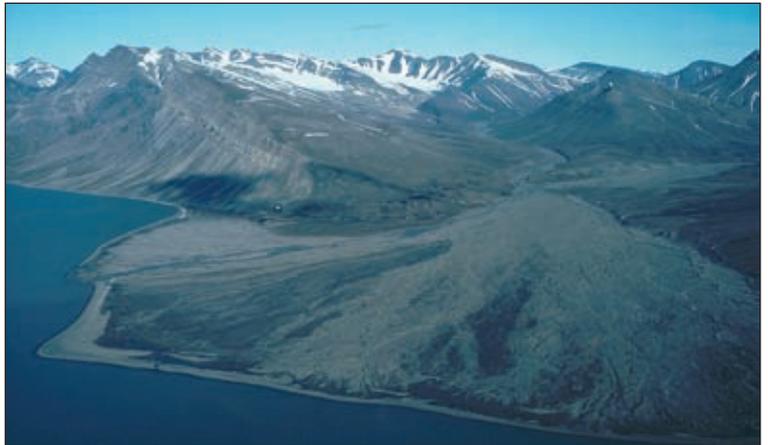
Roche métamorphique: gneiss plissé. Photo: S. Elvevold

# La diversité géologique



Le Svalbard présente une diversité géologique exceptionnelle sur une surface relativement petite. Bien qu'une grande partie de l'archipel soit recouvert de glaciers, le Svalbard est un des rares endroits au monde qui fournit un accès facile aux affleurements recouvrant une grande partie de l'histoire de la Terre. Le Svalbard est donc à la fois une archive géologique et un laboratoire où les processus géologiques présents et passés sont particulièrement bien représentés. Un autre aspect de la géologie du Svalbard est la présence de successions sédimentaires qui sont soit rares ou non existantes dans le nord de l'Europe.

Vestiges vieux de 400 millions d'années, les chaînes de montagnes du Svalbard sont composées de différentes roches, chacune ayant une histoire géologique qui lui est propre. Après l'Orogenèse Calédonienne, le Svalbard était en-dessous du niveau de la mer pendant la plus grande partie de son histoire géologique. A cette époque, boue, sable, graviers, etc. furent déposés presque continuellement avant d'être progressivement altérés en roches sédimentaires stratifiées. Il y a peu de sol au Svalbard et il n'existe ni forêt ni zone agricole qui masquent les formations rocheuses. Le paysage nu est découpé par les fjords et les vallées montrant le substratum rocheux de sorte que les affleurements géologiques apparaissent comme dans un livre d'images.



Les matériaux érodés provenant des montagnes sont transportés par les rivières et déposés sous forme de deltas à l'embouchure de plus larges rivières se jetant dans les fjords. Photo: W. D.



Les mouvements de la croûte et l'érosion peuvent faire remonter à la surface des roches profondément enfouies. La photo montre des gneiss plissés provenant des montagnes calédoniennes. Photo: W. Dallmann



Photo: M. Wisshack.

Granite, gneiss, schiste, grés et lave sont les noms des roches les plus connues. Ces types de roches, avec d'autres, font partie du substratum rocheux – la roche solide (ou bedrock). L'âge de ce substratum s'étend sur plusieurs milliards d'années. Les roches les plus anciennes trouvées au Svalbard datent de 3,3 milliards d'années. A titre de comparaison, l'âge de la terre est d'environ 4,6 milliards d'années et les roches les plus anciennes datent de 4,03 milliards d'années.

Au-dessus du substratum rocheux, on trouve les sédiments non consolidés comme la boue, le sable et les graviers qui sont nettement plus jeunes que le bedrock. De nombreux processus géologiques responsables de la formation de ces sédiments résultent de l'érosion glaciaire. Les débris de roches sont transportés vers la mer par de larges rivières glaciaires. L'érosion du paysage du Svalbard, comme dans d'autres régions de l'Arctique, est également influencé par le vent et le gel.



L'altération des roches crée du sol pour une végétation de tundra variée. Photo: S. Elvevold

Couches horizontales formées de roches sédimentaires dans la région de Billefjorden. De larges cônes de déjection, sont formés à la base des falaises. Photo: D. Blomeier

L'histoire géologique du Svalbard peut être subdivisée en 3 grandes catégories :

1. le socle, qui comprend les matériaux les plus anciens, fut formé du Précambrien au Silurien. Il se compose principalement de roches ignées et métamorphiques qui ont subi plusieurs épisodes d'altérations et de plissements.

2. les roches sédimentaires inaltérées furent formées entre la fin du Paléozoïque et le Cénozoïque. Au Spitsberg, ces couches constituent une structure plissée qui s'étend d' Isfjord jusqu'au sud avec les couches les plus jeunes au centre et les plus anciennes sur les flancs.

3. les dépôts superficiels (meubles) datent du Quaternaire. Ce sont des dépôts principalement formés pendant et après la dernière glaciation: moraines, dépôts de plage et de fleuve, talus et éboulis.

Par la suite, nous décrirons les principales caractéristiques du socle, des roches sédimentaires, des dépôts du Quaternaire ainsi que du relief. Une carte géologique simplifiée du Svalbard est présentée au verso de la couverture et deux coupes géologiques sont exposées page 21.



Travail de terrain au Svalbard. Photo: S. Elvevold, W. Dallmann

### Géochronologie ou comment déterminer l'âge des roches?

Dans le but de systématiser l'évolution géologique, les roches sont subdivisées en fonction de leur âge. Il y a plusieurs façons de déterminer l'âge des roches mais toutes les méthodes ne peuvent être utilisées partout.

#### Détermination de l'âge relatif ou géochronologie relative:

L'âge d'une roche peut être établie en fonction des roches environnantes. Par exemple, les couches inférieures d'une succession non altérée sont plus anciennes que celles qui les surplombent : dans le cas d'une intrusion granitique dans du schiste, le granite est plus jeune que le schiste.

#### Détermination de l'âge d'une roche en utilisant les fossiles :

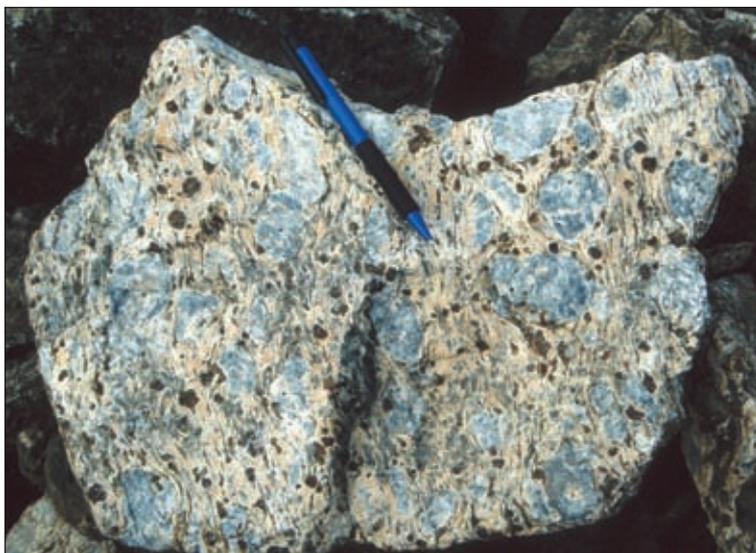
Certains fossiles, appelés " index fossiles ", sont limités à certaines périodes relativement courtes de l'histoire de la Terre. Comme les fossiles les mieux conservés sont dans les roches datant du Paléozoïque ou plus récentes, c'est généralement ces formations qui sont datées au moyen de l' « index fossiles ».

#### Détermination de l'âge radiométrique ou radiochronologie:

La radiochronologie recouvre l'ensemble des méthodes de datation des minéraux ou des roches basées sur l'étude de leurs éléments radioactifs et de leurs produits de désintégration.

La plupart des éléments chimiques possèdent plusieurs isotopes. Tous les isotopes d'un même élément ont le même nombre de protons mais des masses atomiques différentes correspondant à un nombre de neutrons différents. Certains éléments dits radioactifs ont la propriété de perdre spontanément de leur masse en émettant des particules et cette masse décroît de façon exponentielle en fonction du temps. On appelle le temps de demi-vie, le temps au bout duquel subsiste la moitié des noyaux existant à un instant donné. Le principe utilisé en radiochronologie repose sur les caractéristiques de la désintégration d'un élément radioactif père en un élément radiogénique fils. Lorsqu'un minéral est créé, un certain nombre d'éléments dont certains isotopes radioactifs font partie de sa structure cristalline. Un des éléments radioactifs utilisés pour déterminer l'âge géologique est l'uranium (U). L'uranium, par exemple, se désintègre en différents isotopes du plomb (206Pb, 207Pb et 208Pb). Deux isotopes d'uranium ont des temps de demi-vie de 4468 et 703,8 millions d'années et une combinaison de ces deux taux de désintégration peut être utilisée pour déterminer l'âge de l'uranium contenu dans les minéraux tels que le zircon, la monazite et le sphène.

Il existe plusieurs horloges radiométriques, certaines sont plus adaptées pour déterminer le temps de solidification d'une roche ignée, d'autres sont utilisées pour déterminer la cristallisation d'un minéral ou le métamorphisme et la déformation d'une roche.



Gneiss de Biscayarhalvøya. La datation par la méthode U-Pb a montré que cette roche est vieille de 965 millions d'années. Photo: S. Elvevold

# Les roches les plus anciennes

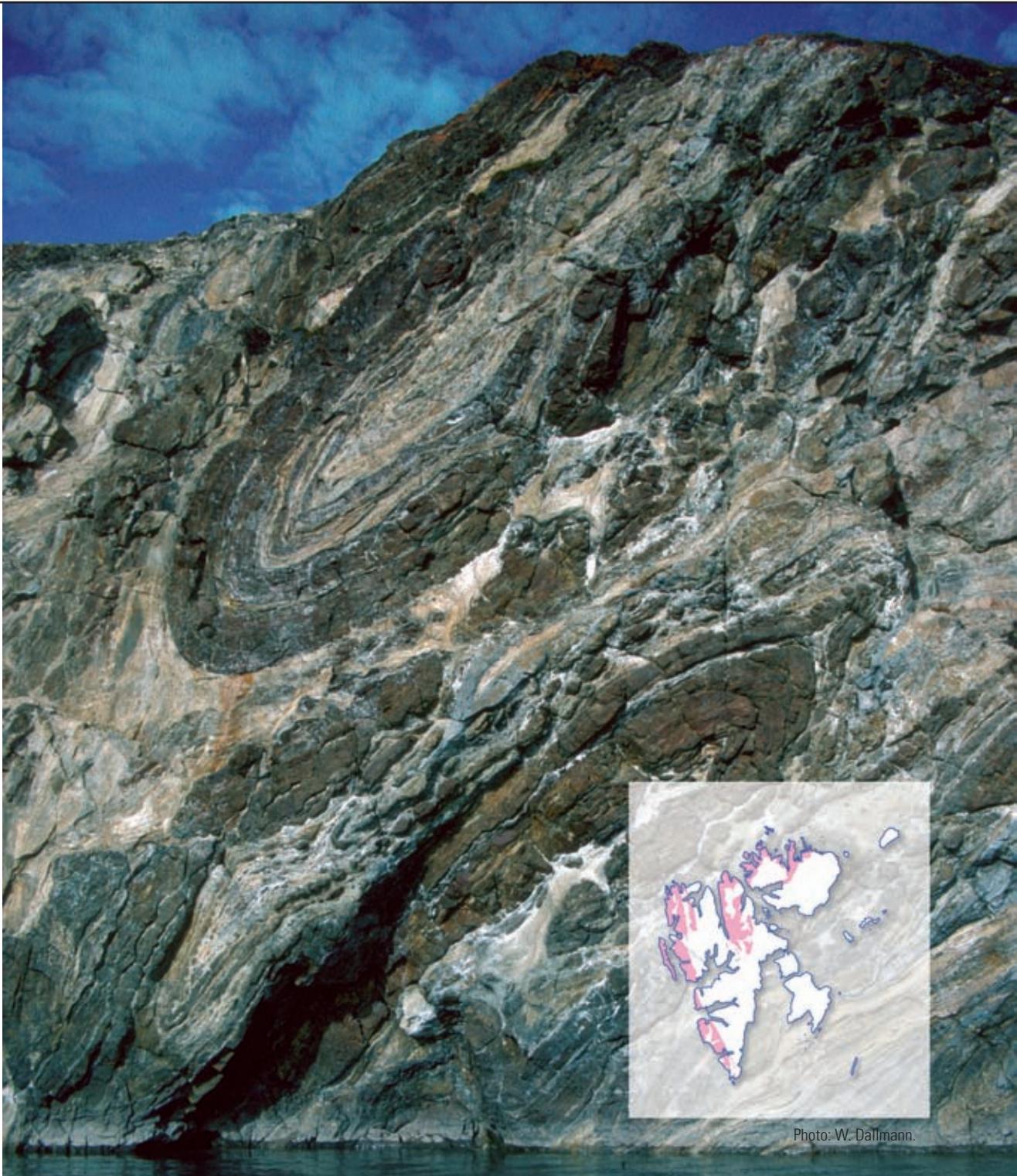


Photo: W. Dallmann.

## Le socle

Les roches qui remontent à l'époque la plus ancienne de l'histoire de la Terre sont appelées socle car elles forment généralement un substratum pour les roches plus jeunes.

Tout ce qui, ci-dessous, fait référence au socle ou bedrock du Svalbard s'est créé du Précambrien au Silurien, et est donc plus ancien ou contemporain à l'Orogenèse Calédonienne, épisode couvrant le Cambrien, l'Ordovicien et le Silurien et responsable de l'édification des chaînes de montagnes (Scandinavie, Ecosse). La détermination de l'âge a montré que le socle au Svalbard a connu plusieurs périodes de plissement et de métamorphismes. Suite à la dégradation et à l'érosion, seuls les restes érodés, plissés et métamorphosés du bedrock ancien sont encore visibles. Le dernier plissement et métamorphisme à grande échelle, c'est-à-dire l'Orogenèse Calédonienne, a eu lieu à l'époque du Silurien, il y a environ 400 millions d'années.

Les roches constituant le bedrock se retrouvent le long de la côte ouest et au nord du Spitsberg, à Prins Karls Forland, à Nordaustland, et dans une petite partie de Bjørnøya. Elles se caractérisent souvent par des paysages alpins avec de hautes montagnes aux arêtes fines et dentelées. En 1596, lors de sa première visite, Willem Barents baptisa cette terre « Spitsberg » pour ses sommets effilés et saillants.

## Au sud du Spitsberg

Entre Sørkapp et Isfjord, le socle est composé de phyllite (ou schistes sériciteux), de quartzite, de calcaire, de dolomite, de conglomérats et d'une petite quantité de roches volcaniques. On y trouve à la fois des conglomérats ordinaires avec des clastes bien arrondis et des tillites. Ces dernières sont des conglomérats résultant de la compaction d'un dépôt morainique ou fluvio-glaciaire ancien ainsi que de dépôts (drop deposits) qui se trouvaient sur la partie inférieure d'icebergs et qui, suite à leur fonte, se sont décrochées. Ces icebergs proviennent de glaciers qui recouvraient le Svalbard il y a environ 600 millions d'années. Ces couches sont des horizons clés pour la détermination de l'âge relatif. Sous les tillites, on observe des couches de calcaire ou de dolomite (dolostone) qui contiennent des colonies d'algues fossiles appelées stromatolites. Celles-ci font partie des plus vieux fossiles retrouvés au Svalbard. A certains endroits de Sørkapp Land, il existe des couches datant du Cambrien et de l'Ordovicien dans lesquelles on a retrouvé des trilobites et des



Conglomérat déposé au Protérozoïque. La roche a subi d'importantes déformations. Les galets qui étaient à l'origine ronds sont maintenant étirés et plissés. Photo: W. Dallmann

brachiopodes (voir chapitre sur les fossiles, pages 22-23). De telles roches forment le Hornsundtind, qui, avec ses 1431 m est la plus haute montagne au sud du Spitsberg.

## Nord-ouest du Spitsberg

Les types de roches que l'on retrouve à Prins Karls Forland et à Oscar II Land ressemblent très fort à ceux d'Isfjord. Les plus communes étant l'argile (shale), le calcaire, la dolomite et la tillite. La déformation de l'ère Tertiaire, avec ses plissements et ses failles, a laissé des traces le long de la côte ouest du Spitsberg.

Le bedrock au nord et nord-est de Kongsfjord est composé de gneiss, de migmatite

et de granite avec souvent des inclusions de schiste, de marbre et de quartzite. A l'est de Magdalenefjord, le granite Hornemantopp, vieux d'environ 411 millions d'années selon la datation radiométrique, façonne les falaises et les flancs des montagnes escarpées.

Au sud de St. Jonsfjord, il existe un endroit qui contient du schiste bleu et de l'éclogite. Ces roches se sont formées très profondément dans la croûte, suite à une pression extrêmement forte. Après plusieurs millions d'années de décompression et d'érosion, les roches ont émergé des profondeurs de la Terre.



Les crêtes pointues, à l'arrière plan, sont formées de roches carbonatées métamorphiques faisant partie du bedrock, tandis que les roches basculées, à l'avant plan, sont composées de grès du Dévonien supérieur. Hornsund, Sørkappland. Photo: W. Dallmann



Roche carbonatée plissée, Hornsund. Photo: W. Dallmann

### **Ny-Friesland**

Le bedrock le long de la côte est de Wijdefjord est formé de schiste, d'amphibolite, de gneiss et de granite. Les roches peuvent se subdiviser en ce que l'on appelle des nappes de charriage. Chacune de ces nappes, cinq au total, se compose de gneiss granitoïde datant d'il y a environ 1750 millions d'années, et sur la couche supérieure, de schistes plus jeunes. Cette superposition de couches forme un grand pli, appelé Atomfjella Antiform, d'axe nord-sud recouvrant Ny-Friesland c'est-à-dire qui s'étend sur une distance de 150 km.

La zone qui se trouve entre Lady Frankliffjord et Hinlopenstret à l'est de Ny-Friesland et au nord-ouest de Nordaustland, consiste en une succession sédimentaire épaisse faite de roches datant de la fin du Précambrien, du Cambrien et de l'Ordovicien. Composée de calcaire, de grès, de quartzite et de schiste bitumeux, cette succession sédimentaire s'incurve légèrement autour d'un axe nord-sud.

Newtontopp (1717 m), le plus haut sommet du Svalbard, est composé de granite à grains grossiers. La datation radiométrique a montré que ce granite s'est intrudé dans les roches hôtes avoisinantes il y a environ 432 millions d'années.



Les éclogites de la région de St. Jonsfjorden furent formées à de grandes profondeurs (60-80 km) il y a environ 470 million d'années. Photo: S. Elvevold



Micaschistes à grenat avec des couches d'amphibolite à Ny-Friesland. Les roches furent déformées et plissées lors de l'Orogenèse Calédonienne. Photo: S. Elvevold

## Nordautland

Le socle de Nordautland est exposé dans les régions côtières du nord ainsi qu'entre les deux calottes arrondies d'Austfonna et de Vestfonna. A l'est de Lady Franklinfjord, le bedrock est formé de granite, de gneiss oillé, de migmatite et de roches volcaniques. A Botniahalvøya, on retrouve de la lave, des brèches volcaniques, des dykes et des sills (ou filon) datant de 950 millions d'années. Le granite de Rijpfjord, facilement reconnaissable, forme des intrusions sur le rivage est et sud. Le bedrock en contact avec ce granite a été échauffé et métamorphosé.

A l'est de Duvefjord, les principaux types de roches sont la migmatite, le gneiss et le granite. A Isispynt, petite région intéressante d'un point de vue géologique, quatre générations de roches sont exposées: la plus ancienne étant le gneiss, intrudé par l'amphibolite qui présente elle-même des intrusions de granite et de dolérite. Les roches les plus jeunes sont les dykes granitiques roses qui ressemblent au granite de Rijpfjord.



Dyke de granite qui a intrudé un grès métamorphosé à grains fins, Ny-Friesland.  
Photo: S. Elvevold



Micaschiste à grenats, Ny-Friesland. Photo: S. Elvevold



Gneiss plissés datant du Protérozoïque, Ny-Friesland. Photo: W. Dallmann

# Les successions sédimentaires



Le paysage autour de Woodfjorden est caractérisé par des grès de couleur rouge datant du Dévonien. L'érosion de ces grès produit des matériaux à grains fins qui furent transportés par les rivières dans les fjords colorant ainsi l'eau dans la partie centrale de Woodfjorden. Photo: W. Dallmann

L'érosion de la chaîne de montagnes débuta à la fin de l'Orogenèse Calédonienne, c'est-à-dire au Dévonien. Des quantités énormes de sable, de graviers et de boue furent déposées sur les plaines alluviales et dans la mer. Plus tard, pendant le Carbonifère et le Permien, de nouvelles périodes de dépôts ont formé des successions calcaires et, par la suite, pendant le Mésozoïque et le Tertiaire jusqu' à il y a environ 40 millions d'années, des successions de grès et d'argile. L'ensemble des couches géologiques du Spitsberg forme un énorme pli synclinal qui s'étend d'Isfjord au sud, avec au centre le noyau formé par les couches supérieures ou plus jeunes et, en marge, les couches plus anciennes.

## Le Dévonien



A Andrée Land, au nord du Spitsberg, on retrouve de grandes étendues de dépôts rouges et verts-gris datant du Dévonien. Ces dépôts, appelés Vieux Grès Rouge, se composent de silt, de grès et de conglomérat alternant avec de petites quantités d'argile et de roches carbonatées. La couleur rouge traduit une haute concentration d'oxyde de fer (hématite) ainsi que l'existence de



Restes fossiles d'un poisson à carapace trouvés dans les grès du Dévonien. Ces fossiles ont une couleur caractéristique bleu-gris. Photo: A. Freiwald

dépôts à des périodes où le climat était sec et désertique. La succession se déposa dans l'eau douce ou saumâtre, dans les lagon et les principales rivières. Les couches du Dévonien se formèrent grâce aux produits d'érosion provenant des montagnes calédoniennes.

Le Dévonien est aussi appelé l'«ère des poissons». En effet, de nombreux fossiles de poissons primitifs (les premiers vertébrés à notre connaissance) ont été découverts au Svalbard. Les premières plantes terrestres se développèrent à cette époque et on retrouve également (au Svalbard) des fossiles de spores de plantes primitives qui poussaient sur les bords des rivières et des lacs peu profonds.

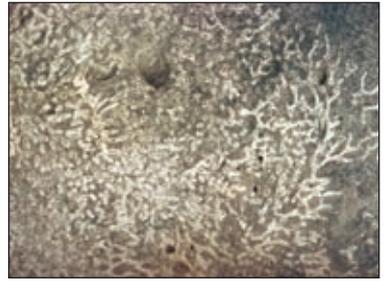


### Le Carbonifère et le Permien

Les montagnes en forme de plateau à Tempelfjord et à Billefjord ainsi que dans de nombreux endroits du nord-est du Spitsberg, sont formées de dépôts datant du Carbonifère et du Permien. Le grès, que l'on retrouve dans les couches les plus profondes à l'époque du Carbonifère, contient des veines de charbon. Le stratum horizontale datant du Carbonifère et du Permien se compose en partie de couches fossilifères de calcaire et de dolomie ainsi que de couches blanches de gypse et d'anhydrite. La formation de ces deux dernières s'est faite sous un climat chaud et sec par évaporation de l'eau de mer sulfatée.



Couches de gypse à Skansbukta, esyloitées deux fois au cours du 19e siècle. Photo: D. Blomeier



Les colonies de coraux sont des fossiles communs dans les couches du Carbonifère. Photo: W. Dallmann



La montagne de Tempel, dans la partie centrale d'Isfjorden, est formée de couches horizontales composées de sédiments du Permien. Photo: W. Dallmann

Vers la fin du Permien, le Svalbard et la mer de Barents sont devenus une surface de terre ferme pendant environ un million d'années, et faisaient encore partie d'un seul et même continent avec l'Europe du nord, le Groenland et l'Amérique du nord.



La mine russe de Pyramiden a extrait du charbon provenant des grès du Carbonifère. Cette mine fut abandonnée en 1998. Photo: C. Brodersen



Roche sédimentaire datant du Trias, Hornsund. Photo: W. Dallmann



Les roches du Trias sont indiquées en rouge; en bleu, celles du Jurassique et du Crétacé.

### Le Trias, le Jurassique et le Crétacé

Les dépôts du Mésozoïque témoignent d'un climat principalement tempéré et humide. Le Svalbard était encore globalement couvert par la mer, mais des périodes de soulèvement ont créé une alternance de sédimentation marine et terrestre. A cette époque, les roches étaient faites en grande partie d'argile, de microgrès et de grès, rarement de calcaire. On les trouve dans le centre et le sud du Spitsberg ainsi que dans les îles à l'est.

Le Mésozoïque se caractérise par une faune et une flore riches, avec en particulier une abondance de reptiles, d'où son nom "ère des reptiles". Les reptiles marins vivaient dans les mers du Jurassique, contrairement aux reptiles à cou de cygne et aux dinosaures iguanodons que l'on retrouvait sur la terre ferme. Dans les dépôts du Mésozoïque, on retrouve aussi des fossiles d'ammonites, des bivalves et des restes de plantes. Les strates du Jurassique et du Trias contiennent de l'argile noire et forment la roche mère dans laquelle gît le pétrole. Ce dernier n'existe cependant pas en quantité suffisante Svalbard pour au être économiquement exploitable.

Au début du Crétacé, les conditions stables du Svalbard se sont vues interrompues par une période de perturbations volcaniques et par la formation de failles. Le magma s'est d'abord introduit dans les fractures et les surfaces de stratification pour ensuite se cristalliser dans des filons et des dykes de dolérite. A Kong Karls Land, il s'est frayé un chemin jusqu'à la surface et s'est solidifié en lave basaltique noire. Vers la fin du Mésozoïque, le Svalbard était à nouveau un continent.



Les dolérites (couche foncée) forment un capuchon sur le sommet des roches carbonatées du Permien les protégeant contre l'érosion. Palanderbukta, Nordaustland. Photo: W. Dallmann



Les grès du Crétacé et du Tertiaire forment le bedrock des deux flancs d'Adventfjorden. Les couches composées de ces roches sédimentaires sont généralement horizontales dans cette zone. Photo: S. Elvevold

### Le Tertiaire



Le mouvement des plaques, qui commença à la fin du Mésozoïque, atteint son point culminant au début du Tertiaire, provoquant ainsi la formation d'une nouvelle chaîne de montagnes le long de la côte ouest du Spitsberg, nettement plus petite que la chaîne calédonienne, plus ancienne. Des roches de tout âge subirent des plissements et d'importantes couches furent poussées vers l'est. Ces nappes de charriage sont visibles dans les versants de nombreuses montagnes au Wedel Jarlsberg Land et au Oscar II Land. Une hypothèse qui expliquerait ces mouvements serait que la plaque continentale du Groenland aurait pivoté vers le Svalbard au moment où le Svalbard dépassait la partie

nord du Groenland. Ce phénomène eut lieu alors que la mer du Groenland et les mers polaires se formèrent suite à l'expansion des fonds marins.

A l'est de ce nouveau relief montagneux, au sud d'Isfjord, la terre s'est affaissée pour former une énorme baie d'axe nord-sud, dans laquelle on retrouve des dépôts de grès et d'argile ainsi qu'à certains endroits des fossiles de plantes. La majeure partie des dépôts de charbon se retrouve dans cette formation, appelée aussi Bassin Tertiaire Central, et est exploitée à Longyearbyen, Sveagruva et Barentsburg.

Au milieu du Tertiaire, une nouvelle activité volcanique eut lieu dans l'Atlantique nord. Les coulées de lave sont préservées au Andrée Land où la lave basaltique forme une couche protectrice dure sur quelques-uns des sommets les plus hauts.

### Le Quaternaire

Vers la fin du Tertiaire, le climat s'est refroidi. La Terre entra dans une nouvelle ère de glaciation et une partie de l'Amérique du nord et du sud, de l'Europe septentrionale et de l'Antarctique fut longtemps recouverte par des calottes glaciaires de 1 km d'épaisseur. Le Svalbard connut le même sort. S'intercalèrent des périodes de réchauffement qui durèrent de 10 000 à

20 000 ans et qui se caractérisaient par un climat arctique marginal et une végétation similaire à celle de nos jours. Au cours des 2-3 derniers millions d'années, les géologues estiment qu'il y eut de 20 à 30 glaciations en alternance avec des périodes interglaciaires plus chaudes.

Il existe encore des traces de plusieurs glaciations au Svalbard, mais la dernière érosion glaciaire a éliminé la plupart des dépôts et autres traces des précédentes. Le Svalbard est encore de nos jours en pleine glaciation, en effet, 60% de l'archipel est recouvert par les glaciers.

# La tectonique des plaques

## Dérive des continents

La croûte terrestre n'est pas une coquille continue recouvrant la terre. On peut imaginer la croûte comme étant une enveloppe externe et rigide divisée en 7 grandes plaques et plusieurs plus petites, chacune pouvant se déplacer l'une par rapport à l'autre. Ces plaques, épaisses d'une centaine de kilomètres avec un fond continental ou océanique, constituent la lithosphère et flottent sur une couche ductile et partiellement fondue de la partie supérieure du manteau. La force responsable du déplacement de ces plaques est le mouvement de convection observé dans le manteau. La théorie qui décrit le mouvement de ces plaques s'appelle la tectonique des plaques.

La tectonique des plaques moderne débute en 1915 avec la dérive des continents proposée par le météorologiste allemand Alfred Wegener. Basée sur le fait que les côtes africaines sont presque parallèles à

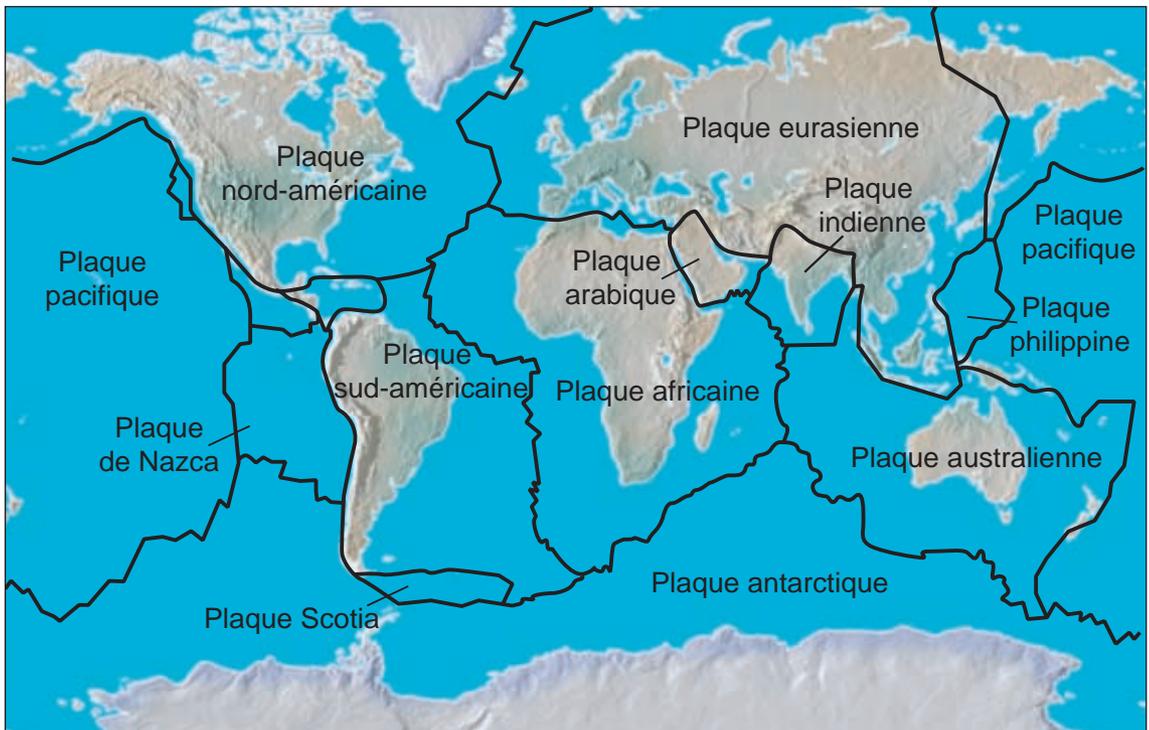
celles d'Amérique du sud de l'autre côté de l'océan Atlantique, Wegener suggéra que ces deux masses terrestres, maintenant séparées, furent un jour rassemblées. Plus tard, elles dérivèrent pour se trouver dans leur position actuelle. Comme Wegener n'expliquait pas de façon satisfaisante les forces motrices ni la dynamique derrière le mouvement des plaques, cette hypothèse fut rejetée et ridiculisée par une vaste majorité des scientifiques de l'époque.

## Formation et destruction des chaînes de montagnes

Ce ne fut pas avant les années 60 qu'apparut une explication satisfaisante aux observations de Wegener. L'exploration océanographique mena à la découverte des systèmes de dorsales océaniques. C'est également à cette époque qu'on découvrit que la nouvelle lithosphère océanique est créée au niveau des dorsales océaniques. Lorsque les plaques se séparent au niveau de ces dorsales, des

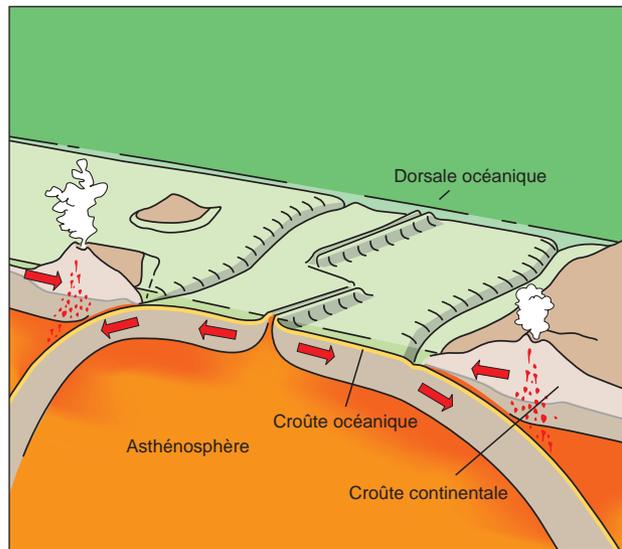
fractures profondes sont formées puis remplies par du matériel fondu qui provient du manteau chaud sous-jacent. Ensuite, le magma refroidit progressivement et produit une nouvelle couche au fond de l'océan. Ce processus s'appelle 'l'expansion des fonds marins'. La dorsale médio-atlantique est une structure immergée située au milieu de l'océan Atlantique. Dans l'Atlantique nord, la dorsale sépare la plaque eurasiennne de la plaque nord-américaine. La vitesse d'éloignement de ces deux plaques est de 3-5 cm par an. Des tremblements de terre et une activité volcanique de relativement faibles amplitudes sont fréquemment enregistrés le long de ces dorsales océaniques.

Une nouvelle croûte océanique est constamment créée au niveau des dorsales. Comme le volume et la surface totale de la terre restent constants, les parties les plus anciennes de la lithosphère sont détruites à la jonction entre les plaques. Lorsqu'une plaque océanique converge vers une plaque



La croûte est divisée en plusieurs plaques de différentes tailles. Les phénomènes géologiques comme les tremblements de terre et le volcanisme ont souvent lieu le long des frontières entre certaines plaques. Fig.: A. Igesund

continentale, le bloc continental plus léger va flotter tandis que la plaque océanique plus dense va s'enfoncer dans le manteau. Ce type de limite entre les plaques, appelée subduction, est caractérisé par des tremblements de terre fréquents et de grande amplitude. La plaque océanique qui descend va fondre. Le volcanisme relié à l'enfoncement d'une plaque sous l'autre va former des chaînes de volcans. La fameuse « Ceinture de feu » autour du Pacifique est l'expression de ce volcanisme de convergence. La convergence est également un résultat de collision entre deux plaques continentales. A la limite de ces deux plaques, des tremblements de terre importants sont observés. Lors de ces collisions, la croûte est fortement gondolée, pliée et métamorphosée et de larges chaînes de montagnes sont alors créées. Un exemple: l'Himalaya qui résulte de la collision entre les plaques indienne et asiatique.



La partie superficielle de la croûte avec les dorsales d'accrétion et les zones de subduction. Fig.: A. Igesund

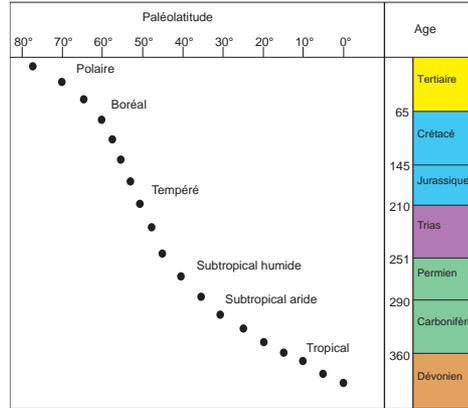


Plissements et failles ont produit des motifs complexes visibles sur les flancs des montagnes. Photo: W. Dallmann

# Les chaînes de montagnes au Svalbard

Le Svalbard est situé au nord-ouest de la plaque eurasiennne. A l'ouest de l'archipel se trouve le grand fond océanique et, entre le Svalbard et le Groenland, on trouve la dorsale océanique nord-Atlantique.

Du Dévonien au Crétacé, le Svalbard ainsi que l'Amérique du nord, le Groenland et l'Eurasie faisaient partie d'une grande et même plaque: le Vieux Continent Rouge. Le nord-est du Groenland était situé à quelque cent kilomètres du Svalbard, et, pendant longtemps, ceux-ci furent submergés sous les eaux peu profondes de l'océan. Entre le Crétacé et le Tertiaire, les plaques nord-américaine et eurasiennne ont commencé à se séparer. Pendant la première phase du rift, alors que le Svalbard et le plateau continental de la mer de Barents passent l'un à côté de l'autre, la plaque continentale du Groenland se pressait obliquement contre le Svalbard. Ces mouvements occasionèrent



La succession sédimentaire du Dévonien au Tertiaire témoigne que le Svalbard a connu, au cours de son histoire géologique, toutes les zones climatiques. Lors du passage du Dévonien au Carbonifère (il y a environ 360 millions d'années), les conditions étaient tropicales. Les sédiments de la fin du Carbonifère et du début du Permien reflètent un climat aride subtropical, alors que les conditions climatiques sur la planète au Mésozoïque ont été tempérées. Ces changements climatiques sont dus au fait que le Svalbard, qui est situé sur le coin Nord-Ouest de la plaque eurasiennne, s'est déplacé depuis l'hémisphère sud à travers la zone équatoriale, toujours plus vers le nord, jusqu'à atteindre sa position actuelle dans l'Arctique. Fig.: S. Elvevold



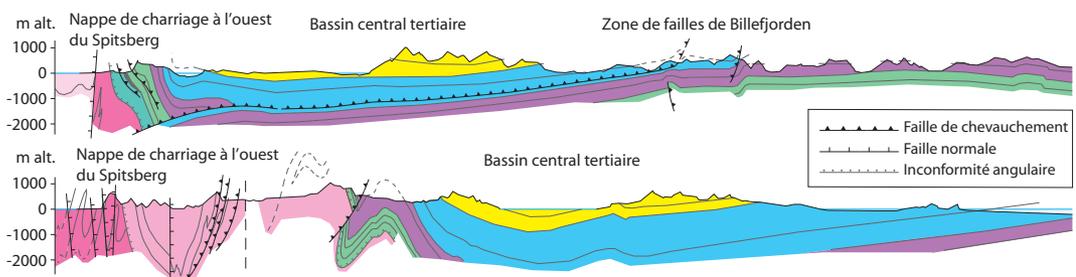
Roches sédimentaires plissées, Hornsund. Les couches du Carbonifère au Trias ont été plissées au Tertiaire pendant lors de phases de déformation. Photo: W. Dallmann

d'importants chevauchements et plissements suivis de la formation de sommets acérés et dentelés le long de la côté ouest de Spitsberg. L'ensemble de ces montagnes (chaîne de plissements et de chevauchements du Tertiaire) est le plus jeune du Svalbard.

La plus ancienne chaîne de montagnes, dite Calédonienne, date de 470 à 400 millions d'années, lorsque la plaque nord-américaine (Laurentia) entra en collision avec la plaque nord-européenne (Baltica). Pendant cette collision, la croûte continentale de chaque côté fut compressée et pliée, et d'importantes couches de roches se chevauchèrent. Il y eut un épaissement de la croûte dans la zone de choc et plusieurs roches furent ensevelies profondément dans la terre, se métamorphosant suite à des conditions de pressions et de températures élevées. Des restes de la chaîne de montagnes calédonienne sont présents au Svalbard, en Norvège continentale, en Ecosse et dans l'est du Groenland.



Plissement des grès et des schistes du Trias dans la nappe de charriage du Tertiaire située à l'ouest du Spitsberg. Photo: J.R. Eide



Coupes ouest-est: le profil au-dessus montre une coupe géologique immédiatement au sud d'Isfjorden. Une section de Dunderbukta à Kvalvågen est illustrée par le profil du-dessous. Les couleurs correspondent à la stratigraphie reprise sur la carte géologique de la couverture. Ces coupes montrent que la côte ouest du Spitsberg est composée de bedrock et que les couches du Carbonifère, Permien, Trias, Jurassique et Crétacé sont plissées et empilées les unes au-dessus des autres. Les roches sont fortement inclinées dans la nappe de charriage. Les couches horizontales du Bassin Central datant du Tertiaire sont situées à l'est de la nappe de charriage. Fig.: W. Dallmann

# Fossiles



Empreintes de feuilles. De très beaux fossiles de feuilles de feuillus sont souvent trouvés dans les grès du Tertiaire dans les environs d'Isfjorden. Les plantes du Tertiaire ressemblent davantage à celles de nos jours qu'à celles du Crétacé ou d'époques antérieures. D. Blomeier

## Fossiles

Le Svalbard possède des fossiles de plantes vieux de 300 à 400 millions d'années, typiques des régions tropicales. Leur étude a permis aux scientifiques de reconstituer en partie l'évolution de la vie sur Terre sur une période d'au moins 3 milliards d'années. Les fossiles datent, pour la plupart, du Cambrien et des époques postérieures, c'est-à-dire plus jeunes que 542 millions d'années.

De manière générale, les fossiles nous renseignent sur les changements climatiques et d'habitats. Ils sont également d'importants indicateurs temporels. Nous savons par exemple que les dinosaures peuplaient abondamment la Terre au Mésozoïque (c'est-à-dire au Trias, Jurassique et Crétacé). C'est pourquoi une roche dans laquelle sont retrouvés des restes de dinosaures, date forcément de cette époque. De la même façon, d'autres fossiles sont représentatifs d'époques différentes. On appelle fossiles caractéristiques ceux trouvés dans un vaste rayon géographique et limités dans le temps géologique.

Au Svalbard, ainsi que dans les sédiments submergés des mers du Nord, de Norvège et de Barents, on retrouve des fossiles de toutes les périodes, allant du Cambrien jusqu'à nos jours.

Les plus anciens fossiles du Svalbard sont des stromatolites, qui sont des colonies d'algues. On les trouve dans les dolomies du Précambrien.

Les trilobites (*Trilobita*), animaux articulés qui vivaient la plupart du temps dans le fond de la mer, étaient particulièrement nombreux au Cambrien et à l'Ordovicien.

Ils se divisent en plusieurs milliers d'espèces différentes dont beaucoup sont considérées comme de bons fossiles caractéristiques. Un autre exemple de ces fossiles caractéristiques sont les graptolites (*Graptoloidea*), contemporains des trilobites, qui vivaient en colonie dans la mer.

On a découvert au Svalbard des fossiles de deux espèces principales de poissons primitifs datant du Dévonien, période également appelée 'Age des Poissons': les poissons sans mâchoire (*Agnatha*) qui ont diminué vers la fin de cette époque et les poissons à mâchoire (*Gnathostomata*), considérés eux comme les parents éloignés des vertébrés. On compte parmi ce dernier groupe les poissons cartilagineux, représentés

aujourd'hui par les requins, les raies, les placodermes et les poissons osseux. Ces derniers sont les ancêtres de la plupart des poissons modernes et du poisson lobe-à-ailettes qui, lui, serait à l'origine des vertébrés vivant sur Terre. On retrouve également des plantes primitives dans les dépôts du Dévonien. Des fossiles de poissons osseux et de dents ont également été retrouvés dans des couches datant d'autres époques comme le Trias.

Les plantes évoluèrent rapidement au Carbonifère et au Dévonien. A l'époque où le Svalbard formait un seul et même continent avec l'Europe et l'Amérique du Nord, on y retrouva des forêts de hautes plantes à spores (ancêtres de nos fougères et prêles). Celles-ci donnèrent lieu à certains gisements de charbon. Des fossiles typiques de cette époque sont les troncs de *Sigillaria* (haute plante similaire à un arbre).

Les brachiopodes (*Brachiopoda*) sont des animaux marins avec une coquille bivalve à morphologie externe. On retrouve facilement de tels fossiles au Paléozoïque, mais au Svalbard c'est dans les roches du Carbonifère et du Permien que l'on a de particulièrement bons spécimens. Les couches supérieures du Permien contiennent des éponges siliceuses (*Silicispongiae*) et des bryozoaires (*Bryozoa*) bien conservés.



Les plus vieux fossiles du Svalbard sont les stromatolites. Ceux-ci sont composés de carbonate déposé par des algues. Photo: W. Dallmann

---

Données

---

**Que sont les fossiles?**

Les fossiles sont des restes, des traces ou des empreintes de vie, d'animaux ou de plantes préhistoriques qui sont conservés dans les roches sédimentaires ou dans les dépôts déconsolidés. Les coquilles, les ossements, les restes de plantes et les traces d'activités d'organismes (empreintes de pas, galeries de vers, excréments, ...) en sont des exemples. Les plantes sont rarement conservées dans leur intégralité, et, le plus souvent, on ne trouve que des empreintes et des restes carbonisés de feuilles et de tiges.

---

Données

---

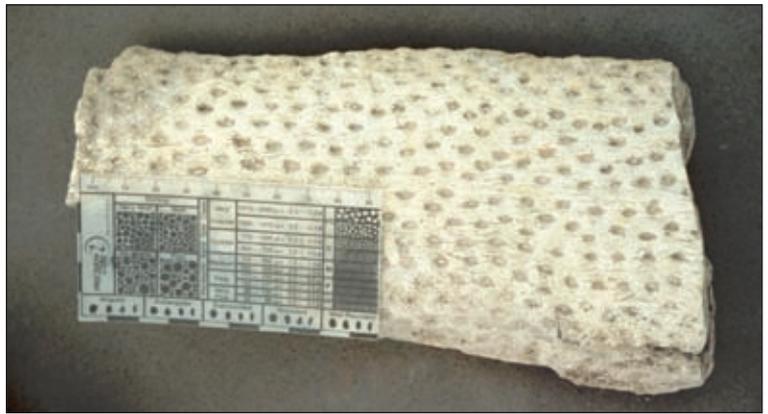


Les brachiopodes (*Brachiopoda*).  
Photo: B. Frantzen

Le Mésozoïque est l'âge des mollusques (*Mollusca*). Les ammonites (*Ammonoidea*) étaient particulièrement nombreuses au Jurassique et au Crétacé. Ce sont d'excellents fossiles caractéristiques, et il est possible d'établir une relation entre la couche de roche dans laquelle elles ont été trouvées et des périodes géologiques bien spécifiques. En général, les fossiles de coquilles ont la forme de spirales plates.

Le Mésozoïque est également l'âge des dinosaures, reptiles qui parfois pouvaient atteindre des dimensions spectaculaires. La plupart vivaient sur la terre ferme; d'autres, moins nombreux, dans les mers et dans les airs. Au Svalbard, on a découvert des squelettes de reptiles à cou de cygne (*Plesiosaurus*) et de reptiles marins à allure de dauphin (*Ichtyosaurus*) ainsi que des empreintes de pas d'autres espèces. En 1960 des fossiles d'empreintes de pas de dinosaures ont été trouvés à Gronfjorden, dans la région d'Isfjord. Ces fossiles d'environ 75 cm de long provenaient d'un reptile à trois doigts, cousin proche mais non encore identifié de l'iguanodon.

Pour terminer, un autre groupe important de fossiles sont les bivalves (*Bivalvia* ou *Lamellibranchia*), vivant lors d'époques géologiques plus récentes. Les palourdes de l'âge glaciaire et des périodes suivantes sont particulièrement intéressantes d'un point de vue scientifique car elles peuvent être utilisées comme indicateurs climatiques.



Fossile d'un tronc de *Sigillaria*, une plante ramifiée, trouvé dans des couches du Carbonifère dans la région de Billefjorden. Photo: D. Blomeier



Restes de fossiles (environ 10 m de long) d'un reptile marin récemment trouvé dans des sédiments du Trias au nord d'Isfjorden. Photo: J. Ziegler

# Volcanisme et sources chaudes



Halvdanpiggen est un reste de cheminée volcanique. Les roches volcaniques sont entourées de grès rouge du Dévonien. Photo: W. Dallmann

Le Svalbard a connu plusieurs phases d'activités volcaniques dans son histoire. Des laves métamorphiques et autres roches volcaniques sont présentes dans le socle précambrien. Des restes déformés de complexes volcaniques ont été observés à Hornsund et Torellbreen (ouest du Spitsberg) et sur l'île de Botniahalvøya (Nordaustlandet). Seules les personnes expérimentées sont capables d'identifier les roches volcaniques métamorphosées, érodées et déformées.

## **Coulée de lave noire massive**

Lorsqu'on se déplace dans la succession sédimentaire du Svalbard, et plus particulièrement dans la partie centrale d'Isfjord, autour de Storfjord et Hinlopenstretet, on peut souvent observer des couches noires et massives entre les couches sédimentaires. L'épaisseur de ces couches noires varie de quelques décimètres à plusieurs dizaines de mètres. En général, elles sont parallèles aux couches sédimentaires. A certains endroits,

elles peuvent couper verticalement les couches ou elles peuvent se ramifier. Ces roches sont appelées 'dolérites'. Dans le cas du basalte, la coulée de lave se solidifie à la surface tandis que les dolérites sont formées à partir du magma qui s'est infiltré dans les fissures de la roche environnante où il se solidifie ensuite à des profondeurs relativement peu importantes.



Les couches horizontales noires sont des filons (dolérite) qui sont intrudés dans les couches horizontales de calcaire, Lomfjorden. Photo: D. Blomeier



Coulée de lave du Tertiaire recouvrant des roches sédimentaires datant du Dévonien, Woodfjorden. Photo: W. Dallmann



Colonnes formant des orgues basaltiques, Kong Karls Land. Photo: G. B. Larsen

A Kong Karls Land, le magma est allé jusqu'à la surface et s'est solidifié en lave basaltique noire. La lave apparaît au sommet des montagnes et se présente souvent sous forme de structure prismatique hexagonale distincte. Ces formations en colonnes sont typiques des basaltes et se forment lorsque le magma se refroidit et développe des fractures par rétraction (orgues basaltiques).

Les roches décrites dans ce paragraphe ont été formées au Jurassique-Crétacé lorsque le Svalbard était exposé à l'étirement du rift qui mena à l'ouverture de l'Océan Atlantique (cfr chapitre sur la tectonique des plaques).

### **Volcanisme à Andrée Land**

De grandes surfaces de grès brun rougeâtre sont présentes au nord du Spitsberg, dans la zone entre Dicksonfjorden, Woodfjorden et Wijdefjorden. Plusieurs pics dans ce paysage particulier sont recouverts de lave dont l'épaisseur atteint parfois 400 m. Il y a 10-25 millions d'années, la lave s'est écoulée sur une grande étendue remplissant d'anciennes vallées et des surfaces de basse altitude. Plus tard, les terres se sont soulevées et inclinées et de nouvelles vallées se sont formées. Les restes de basalte sont durs et forment un capuchon protecteur sur les sommets les plus élevés. Une vingtaine de coulées de lave ont été observées et certaines se présentent sous forme de d'orgues basaltiques.

### **Ruine volcanique à Bockfjorden**

La dernière activité volcanique a eu lieu lors d'une période glaciaire et plus probablement entre un million et 100 000 d'années. Celle-ci s'est développée au nord-ouest du Spitsberg autour de Bockfjorden. L'activité du Quaternaire et le volcanisme du Tertiaire sont liés à un 'point chaud' situé au nord de la côte nord-ouest du Spitsberg.

Des restes de volcans du Quaternaire sont présents à Sverrefjellet (506 m), à l'ouest de Bockfjorden. La forme cône de Sverrefjellet ressemble à celle des volcans actuels bien que le volcan ait subi l'érosion due à la glace pendant l'âge glaciaire. La lave, les cendres volcaniques et les restes de cheminée peuvent être identifiés. Plusieurs sources thermales où la température monte jusqu'à 24° C sont présentes près de Sverrefjellet. Des terrasses de travertins se trouvent à Trollkjeldene au sud de Bockfjorden.



Sverrefjellet à Bockfjorden est composé de restes d'un volcan formé au Quaternaire.  
Photo: W. Dallmann

Halvdanpiggen, situé entre Bockfjorden et Woodfjorden, est un reste de cheminée volcanique. Le pic offre un asile pour une colonie d'oiseaux marins.



Sources thermiques, Trollkjeldene.  
Photo: S. Elvevold



Terrasses de travertins à Trollkjeldene composées de dépôts carbonatés provenant de sources thermiques. Photo: W. Dallmann

# La période glaciaire

Le paysage du Svalbard, comme on peut le voir actuellement, fut largement façonné pendant le Quaternaire, période qui comprend les derniers 1,4 millions d'années. Au début de cette ère, le Svalbard et la mer de Barents se trouvaient à plusieurs centaines de mètres au-dessus de leur niveau actuel. Dès lors, les masses continentales s'étendaient du Svalbard à la Norvège et au Nord de la Russie. Pendant tout le Quaternaire le Svalbard faisait partie de la région polaire et fut plusieurs fois recouvert par les glaces. Les dépôts déconsolidés formés pendant et après la dernière glaciation sont composés de moraines, de dépôts fluviaux et de plage, d'éboulis et de champs de blocs.

## Emergence de la mer- caractéristiques côtières

Le Svalbard, à l'exception de quelques sommets montagneux, fut au moins une fois couvert d'une vaste calotte glaciaire lors du Quaternaire. Celle-ci était plus épaisse à l'est de l'archipel c'est-à-dire près de Kong Karls Land. Comme sur la péninsule scandinave, le poids de la glace exerça une forte pression sur la croûte terrestre, entraînant son enfoncement. Cette pression fut d'autant plus importante que la glace était épaisse. Lorsque le climat se radoucit, la glace commença à fondre diminuant ainsi la pression exercée et déclencha une remontée des terres. Depuis que la calotte glaciaire a disparu, Kong Karls Land, par exemple, est monté d'environ 130 m par rapport au niveau de la mer pendant ces 10 000 dernières années. Une série de terrasses marines le long de la côte se développèrent pendant cette même période. De manière générale, le littoral se forme lorsque le niveau de la mer reste stable et l'érosion marine découpe la côte pendant un certain laps de temps. Les deux caractéristiques morphologiques les plus importantes des zones affectées par les marées sont les terrasses et les lignes de plage. Au Svalbard, on retrouve des coquilles comme celles de moules sur quelques terrasses marines, ce qui implique que l'eau était plus chaude

Photo aérienne de Gipsvika, Sassenfjorden, montrant la remontée du littoral. Les couleurs sont filtrées de sorte que les zones recouvertes par la végétation apparaissent en orange.

qu'aujourd'hui. Des études faites sur les pollens démontrent que durant plusieurs périodes après la dernière glaciation, le climat était plus doux qu'il ne l'est actuellement.

## Le pergélisol

Dans les zones non couvertes de glace du Svalbard, le sol est en permanence gelé (pergélisol) et l'épaisseur du pergélisol varie de 0 m près de la mer à plus de 500 m dans les régions où la topographie est élevée. De manière générale, seules les couches

superficielles du sol (jusqu'à 1 – 1,5m) sont dégelées en été. Le pergélisol a une influence considérable sur les processus de surface. A cause du mauvais drainage, les eaux provenant de la fonte des neiges vont s'accumuler dans les minces couches superficielles, c'est-à-dire celles qui sont dégelées en été, favorisant ainsi les laves torrentielles et les glissements de terrain.



Kronebreen. Photo: O. Brandt.



## Les glaciers

Plus de 60 % de la superficie du Svalbard est couverte de glaciers. Ils sont particulièrement importants dans le nord-est de l'archipel: c'est à Austfonna sur l'île de Nordaustland qu'on retrouve les plus imposants. A l'ouest, où l'influence des courants chauds provenant du Gulf Stream se fait ressentir et où les courants d'air doux venant du sud rencontrent les terres, on observe des zones où la glace est quasi absente.

Au cours de ces cent dernières années, la plupart des glaciers de l'archipel ont reculé. Beaucoup de glaciers au Svalbard sont en perpétuel mouvement effectuant un "surge" (augmentation soudaine de la vitesse d'écoulement des glaces). Ceci implique que le front du glacier peut avancer de plusieurs kilomètres en 1-3 ans. Il existe plusieurs sortes de "surge" au Svalbard.



Photo: D. Blomeier.



Le Svalbard est toujours à l'âge glaciaire. 60 % de sa superficie est toujours couverte par la glace. Brepollen, dans la partie centrale de Hornsund, est entouré de plusieurs larges glaciers qui se terminent dans la mer et connaissent d'actives périodes de velège. Photo: W. Dallmann

# Modelés



Foto: S. Elvevold.

Les paysages et les montagnes du Svalbard sont spectaculaires. Les côtes ouest et nord-ouest du Spitsberg se caractérisent par des modelés alpins aux sommets escarpés et pointus, alors que les montagnes de la partie centrale ont plutôt une forme en plateau. Les modelés diffèrent selon la composition et la structure du bedrock. Les paysages alpins se forment dans des sous-sol composés de roches dures et résistantes comme le gneiss et le granite. Les montagnes composées de couches horizontales ont souvent un sommet plat, Templet à Isfjord en est un exemple. Si l'érosion est suffisamment importante, comme à Tre Kroner (est de Ny-Ålesund), on retrouve des sommets à forme pyramidale. Les roches instables forment des talus à pente douce, alors que les falaises escarpées proviennent de roches dures. En général, des vallées formées par l'érosion glaciaire séparent les montagnes-plateaux l'une de l'autre. Ces vallées sont larges et plates, contrairement aux autres, plus petites et en forme de 'V', qui elles, résultent du passage d'un cours d'eau.

## Modelés glaciaires

L'activité des glaciers a façonné le paysage du Svalbard où le travail de la glace est visible un peu partout. Les glaciers, de manière tout-à-fait erratique, transportent de gros blocs et, lors de leur fonte, ces rochers peuvent se retrouver fort loin de leur lieu d'origine. Lorsque la glace du bas d'un glacier enserre des fragments de roche, des striations (de longues rayures et des sillons) peuvent être creusées dans le substratum rocheux. Les moraines sont composées des

débris transportés et déposés par un glacier. Il en existe différentes sortes comme, par exemple, les moraines frontales, latérales, médianes et de poussée. Les débris (boue, sable et graviers) peuvent être déposés par les courants circulant en-dessous, à l'intérieur ou au-dessus du glacier. Le sandur (mot islandais) consiste en des débris glaciaires qui ont été déposés sur une plaine en face du glacier. Des deltas se forment aux embouchures suite à l'accumulation de sédiments transportés par les eaux provenant de la fonte des glaciers.

## Modelés associés au pergélisol

Les hydrolacolites sont des buttes rondes ou ovales dont la hauteur peut atteindre une cinquantaine de mètres, composées de minéraux avec, au centre, un noyau de glace. Elles se forment lorsque les eaux sous-terraines, soumises à une pression, se créent un passage le long de couches de terre congelées moins solides. On a enregistré quelque 80 hydrolacolites au Svalbard, la plupart dans les larges vallées du centre de Spitsberg (Adventdalen, Reindalen, Kjellströmdalen).

Les figurations périglaciaires sont des espèces de dessin visible sur une surface de terre, de sable ou de graviers prenant plus ou moins la forme d'une série de cercles continus faits de pierres ou de fentes remplies de glace. Les anneaux sont en général irréguliers mais parfois on peut distinguer différents hexagones. Les figurations périglaciaires se retrouvent sur quasi toutes les surfaces non congelées du Svalbard.



Tre Kroner vu de Ny-Ålesund. La pente douce est composée de grès rouge du Dévonien tandis que les pics pyramidaux plus clairs sont composés de calcaire du Carbonifère. Photo: W. Dallmann



Par confluence les moraines latérales de deux glaciers peuvent donner la moraine médiane du glacier résultant. Photo: W. Dallmann



Dépôts glaciaires, Motalafjella. Photo: S. Elvevold

L'érosion causée par le gel touche grandement les montagnes du Svalbard et est responsable de la formation de pentes importantes constituées d'éboulis appelés cônes de débris. Lorsque les pierres détachées par le gel ne glissent pas le long de la montagne sur des pentes douces et des montagnes-plateau, elles forment alors des champs de blocs. Les roches dures produisent de grandes pierres aux bords tranchants, alors que l'argile mou, par exemple, se désintègre en un sol composé de minéraux.

Les glaciers rocheux sont courants dans les régions où existe le pergélisol, car les pierres des cônes de talus glissent sous l'influence de leur propre poids et de périodes consécutives de gel et de dégel des eaux qui se trouvent dans les éboulis.



Pingo (*hydropollite*) de Reindalen. Photo: W. Dallmann



Un bloc erratique est un rocher qui a été transporté par des glaciers et se trouve maintenant à une certaine distance de son lieu d'origine. Photo: W. Dallmann



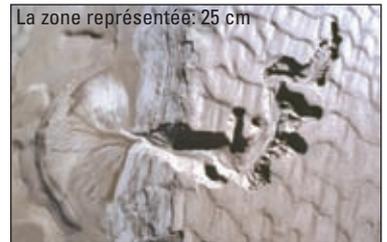
Figuration périglaciaire formant des cercles de pierres. Photo: O. Salvigsen



Terrasses de littoral, Tempelfjorden. Photo: D. Blomeier



Moraine terminale formée au pied du glacier. Photo: W. Dallmann



La zone représentée: 25 cm  
Des processus sédimentaires de petite échelle peuvent produire des structures qui s'assimilent à d'importants modelés. Sur cette photo, l'érosion a formé un petit canyon (sur la droite). Les matériaux érodés se sont redéposés en delta plus bas (sur la gauche). Photo: D. Blomeier

# Le charbon



Le téléphérique était utilisé pour transporter le charbon dans Longyerabyen. Photo: Norsk Polarinstittut

En 1899, le skipper d'un voilier, Søren Zachariassen, retournait sur le continent avec à son bord 6m<sup>3</sup> de charbon de très bonne qualité provenant du district d'Isfjorden. Les années suivantes, cette nouvelle suscita un grand intérêt pour le charbon et les gisements de minéraux au Svalbard. Depuis 1906, Longyearbyen a de nombreuses mines en activité. La première compagnie minière fut américaine mais depuis 1916, Store Norske Spitsbergen Kulkompani fait tourner les mines.



La mine de "Sveagruba" située au centre de Van Mijenfjorden. Photo: S. Gerland

## Le charbon provenant de forêts de fougères

Entre le Dévonien et le Carbonifère, c'est-à-dire il y a environ 360 millions d'années, la croûte, qui devint plus tard le Svalbard et la mer de Barents, était située dans les régions tropicales, au nord de l'équateur. Au début du Carbonifère, la terre s'enfonça et fut inondée par la mer.

La terre submergée forma des étendues peu profondes avec d'importants waddens ainsi que des plaines parcourues par des rivières à chenaux tressés. Progressivement, la végétation luxuriante des marais s'est développée dans les plaines. Au Carbonifère, les plantes à spores, ancêtres des fougères et prêles étaient les plus répandues, mais celles-ci étaient beaucoup plus grandes que celles que nous connaissons actuellement; à l'époque, des tailles de 10-30 m n'étaient pas exceptionnelles.

Les marais, comme les mangroves de nos jours, étaient périodiquement inondés, de sorte que de vastes étendues furent submergées par la mer. Les restes de plantes des marais furent ainsi enterrés sous d'importantes quantités de boue, de sable et de matière organique. Ceci conduisit à la formation de couches de charbon.

Le charbon exploitable du Carbonifère se trouve dans la partie nord de Billefjorden. Au début des années 1900, l'expédition écossaise Edinburgh tenta d'exploiter le charbon à Brucebyen. Seule la mine russe de Pyramidene fut rentable pendant de nombreuses années même si elle était située dans une région très difficile d'un point de vue structurel. Cette mine, abandonnée en 1998, produisit environ 9 millions de tonnes de charbon depuis la seconde guerre mondiale.

## Le charbon provenant des forêts de feuillus

Au début du Tertiaire, c'est-à-dire il y a environ 65 millions d'années, les conditions étaient fort différentes de celles du Carbonifère. Le Svalbard était alors situé à 60 degrés nord, bien que le climat à cette époque était plus chaud que celui que nous connaissons actuellement. Les feuillus dominaient les forêts, tout comme actuellement dans les forêts d'Europe centrale.



Mine moderne de "Sveagruba".  
Photo: A. Taurisano

Comme nous l'avons décrit plus haut (cfr chapitre sur les 'successions sédimentaires'), le Bassin Central Tertiaire fut formé au début du Tertiaire. Il ressemblait à des plaines basses peuplées de forêts, de marécages et de rivières qui étaient régulièrement inondées.

La matière organique pourrie provenant de la végétation engoutie fut enfouie sous de grandes quantités de débris transportés par les rivières depuis les moyennes montagnes du nord et de l'est. Cette matière est à l'origine des filons de charbon qui sont ou ont été exploités à Longyearbyen, Grumantbyen, Barentsburg, Sveagruba et Ny-Ålesund.

En 2007, on exploite du charbon à Barentsburg (Russie), à Longyearbyen (Norvège) et à Sveagruba (Norvège). Depuis que Barentsburg fut fondé en 1932, 250 000 tonnes de charbon y ont été exploitées par an, avec cependant une baisse de profit durant ces dernières années. Depuis 1906, plusieurs mines à Longyearbyen et dans les environs ont été actives avec une production totale d'environ 22 millions de tonnes. A l'heure actuelle (2007), seule la mine 7 fonctionne toujours. Les mines sont parallèles aux couches de charbon qui s'inclinent de 1 à 2 degrés. Le gisement de charbon le plus important du Svalbard se trouve dans la mine de Svea Nord, dans le «Central Field». Store Norske estime que sur la capacité totale du chantier de 72,5 millions de tonnes de charbon, 32 millions de tonnes peuvent être commercialisées à Svea Nord. Les couches de charbon du Central Field ont une épaisseur qui varie de 3 à 3,5 m, ce qui se traduit par une très bonne production de charbon.

### Quelques faits sur le charbon

Le charbon est une roche combustible riche en carbone qui provient essentiellement de débris végétaux. Il existe différents types de charbon: la tourbe, la lignite, le charbon (flambant gras, gras, demi-gras ou maigre), l'antracite et le graphite. Le charbon doit contenir au moins 55% de carbone. Celui du Svalbard, dans la catégorie des charbons bitumeux, en contient de 75 à 90%.

Le charbon apparaît dans la nature sous forme de lentilles, poches ou couches sédimentaires. Ces couches, aussi appelées filons de charbon, peuvent avoir plusieurs mètres d'épaisseur. Pour qu'un filon soit rentable, il doit avoir une certaine extension, épaisseur et localisation, de

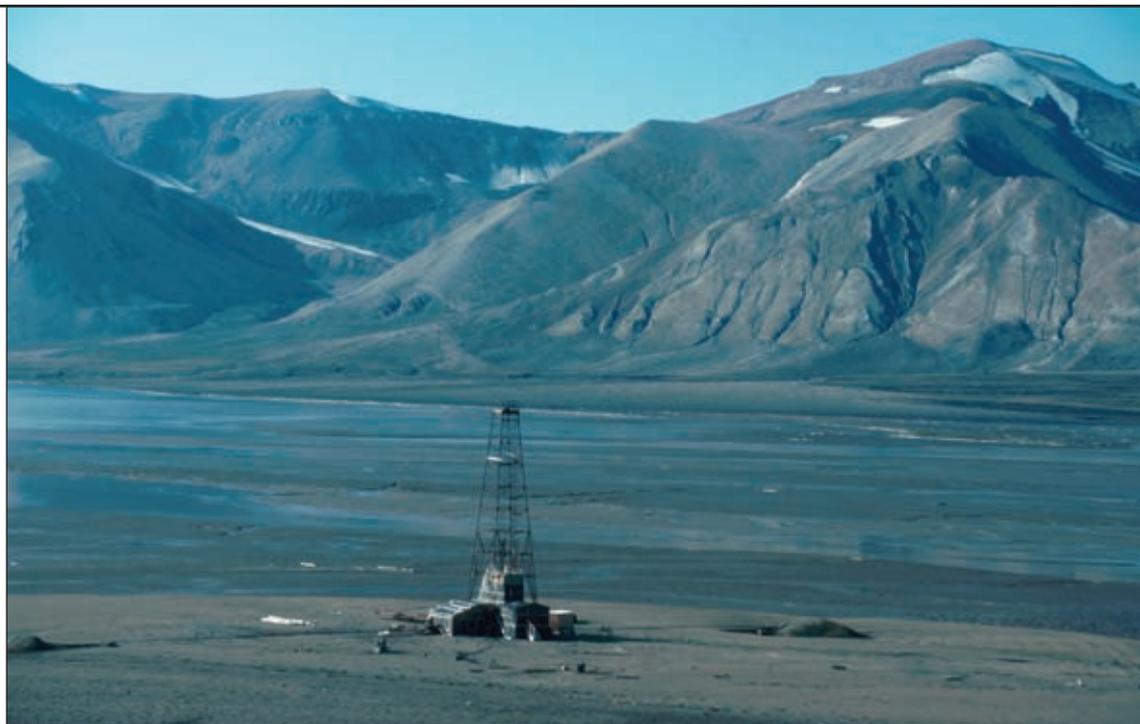
sorte que les prix liés à l'exploitation minière ne dépassent pas ceux du charbon et des coûts d'exploitation.

Le charbon résulte essentiellement de la désintégration de débris végétaux. Ceux-ci ont subi une évolution complexe appelée 'carbonification' ou 'carbonisation'. Pendant plusieurs millions d'années, ces débris végétaux enfouis sous d'autres roches sédimentaires, vont, en absence d'oxygène et sous des températures basses, s'enrichir en carbone.



Mines abandonnées de Longyearbyen. Photo: D. Blomeier

# Pétrole et gaz naturel



Appareil de forage russe à Billefjorden. En 1991, lors d'une opération de forage pour l'exploitation du charbon, du gaz s'est échappé et une petite quantité de pétrole remonta à la surface. Photo: W. Dallmann

Le pétrole et le gaz naturel sont des produits biologiques dérivés de la dégradation thermique de matières organiques contenues dans certaines roches appelées 'roches mères'. Ces résidus organiques préservés dans des environnements où les eaux sont dépourvues d'oxygène, se mêlent ainsi aux sédiments minéraux pour former la roche mère. Plus légers que l'eau, le pétrole et le gaz remontent le long des couches de roches poreuses appelées 'roches réservoirs' dans lesquelles ils sont confinés si celles-ci sont surmontées de roches imperméables dites 'roches de couverture'. Argilites et argiles peuvent contenir de grandes quantités de matières organiques. La plus importante roche mère sur la marge continentale norvégienne est composée d'argiles riches en matières organiques datant du Jurassique. A Svalbard, certaines couches géologiques du Permien et du Mésozoïque riches en matières organiques sont également des roches mères pour les hydrocarbures. L'environnement structurel du Svalbard a permis la création de nombreux pièges possibles pour le pétrole. Cependant, aucun gisement rentable d'un point de vue économique n'a encore été découvert à ce jour.

La prospection du pétrole et du gaz au Svalbard date du début des années 60. Le premier sondage, d'une profondeur de 972 m, fut foré par Norsk Polar Naviasjon AS à Grønford. Plus tard, la compagnie mena plusieurs forages d'exploration à Berzeliusdal et à Van Mijenfjord. Depuis lors, d'autres sociétés suivirent dont Caltex Group, Fina Group, Nordisk Polarinvest, la compagnie minière russe Trust Arktikugol, Store Norske Grubekompani et Norsk Hydro. Au total, 16 puits furent forés dont la plupart se trouvent à Nordenskiöld Land (au centre du Spitsberg) mais aussi à Forlandsund, sur Edgeøya et Hopen. Le puits le plus profond se situe à Ishøgda (Van Mijenfjord) et atteint 3300 m. Le dernier sondage fut réalisé en 1994 à Kapp Laila (Colesbukta). Des campagnes d'exploration sismique ont aussi été menées le long des fjords et des glaciers.

Les analyses des carottes ont continuellement démontré que les roches mères potentielles ont un trop haut degré de maturation organique et que les roches réservoirs ont une trop basse porosité. La migration du pétrole n'a lieu que dans des fractures insignifiantes.

En 1991, Trust Arktikugol, en menant une campagne de forages alors qu'elle prospectait du charbon à Petuniabukta (Billefjord), découvrit une couche à 630 m de profondeur contenant du pétrole. Des émanations de gaz furent récupérées de deux puits et une faible quantité de pétrole atteignit la surface. A l'heure actuelle (2007), il n'existe aucun plan pour l'exploitation systématique du pétrole au Svalbard.

# Géologie et protection de l'environnement

La protection de l'environnement est un sujet important au Svalbard. En 1973 déjà, furent établis un réseau de parcs nationaux, des réserves naturelles et des sanctuaires pour oiseaux, comprenant une grande partie du Svalbard en dehors du Spitsberg central. D'autres zones protégées furent aussi créées entre 2002 et 2005. Aujourd'hui, plus ou moins 65% de la superficie du Svalbard a un statut de zone protégée. Toutefois, le trafic léger et non-motorisé ainsi que les activités à l'extérieur sont autorisés plus ou moins partout, sauf à Kong Karls Land où l'accès est généralement interdit car cette île est un lieu unique où les ours polaires se reproduisent. L'accès est également interdit aux sanctuaires pour oiseaux de Moffen à certaines époques de l'année.

Au sud d'Isfjord, la Festningen Geotope Protection Area fut déclarée zone protégée en 2003. Le but était de préserver une zone où se trouvent des affleurements géologiques de grande valeur ayant un intérêt scientifique tout particulier. Cette zone fournit une section géologique de référence complète et bien étudiée: la section Festningen où on retrouve des traces uniques laissées par le pergélisol ainsi que des empreintes fossiles de dinosaures. Plusieurs autres zones protégées comprennent également des affleurements géologiques de grande importance.

En 2002, la loi sur l'environnement du Svalbard est entrée en vigueur. Tout impact important sur le paysage de l'ensemble du Svalbard est régulé par cette loi. Il est, par exemple, permis de récolter des roches et minéraux, soit comme souvenirs ou comme échantillons scientifiques. Par contre, il est

interdit de ramasser des fossiles dans les zones protégées de 1973 ainsi que dans les réserves naturelles de Hopen et Bjørnøya. Les visiteurs sont tenus d'informer le gouverneur de l'archipel ou l'Institut Polaire Norvégien de leurs découvertes à valeur scientifique.

## Plusieurs règles importantes

Tout voyage au Svalbard doit se dérouler sans aucun dégât, ni pollution. En d'autres mots, aucune sorte de détérioration de l'environnement naturel et culturel ni même de perturbation non nécessaire sur l'homme ou sur les animaux ne sont tolérées.

Les voyageurs qui ne résident pas mais désirent voyager seuls au Svalbard sont obligés de soumettre un rapport lorsqu'ils quittent la zone 10 (zone entre Van Mijenfjord et Isfjord, au centre du Spitsberg). C'est également le cas pour les personnes, touristes ou autres voyageurs, se déplaçant sur terre dans un rayon de plus de 20 km de Ny-Ålesund ou en bateau au large de Kongsfjord.

Les voyageurs doivent s'assurer que leurs activités soient conformes aux réglementations en vigueur dans les zones visitées. Cela implique également les réglementations de la chasse et de la pêche. Les visites des sites protégés sous-entendent que le voyageur connaît les règles de protection de l'environnement en vigueur.

Tout trafic motorisé sur terre, à l'exception du trafic par les motos de neige qui est régulé par la «Motor Traffic Regulation», nécessite un permis exonéré. Ceci est également valable pour l'atterrissage d'hé-

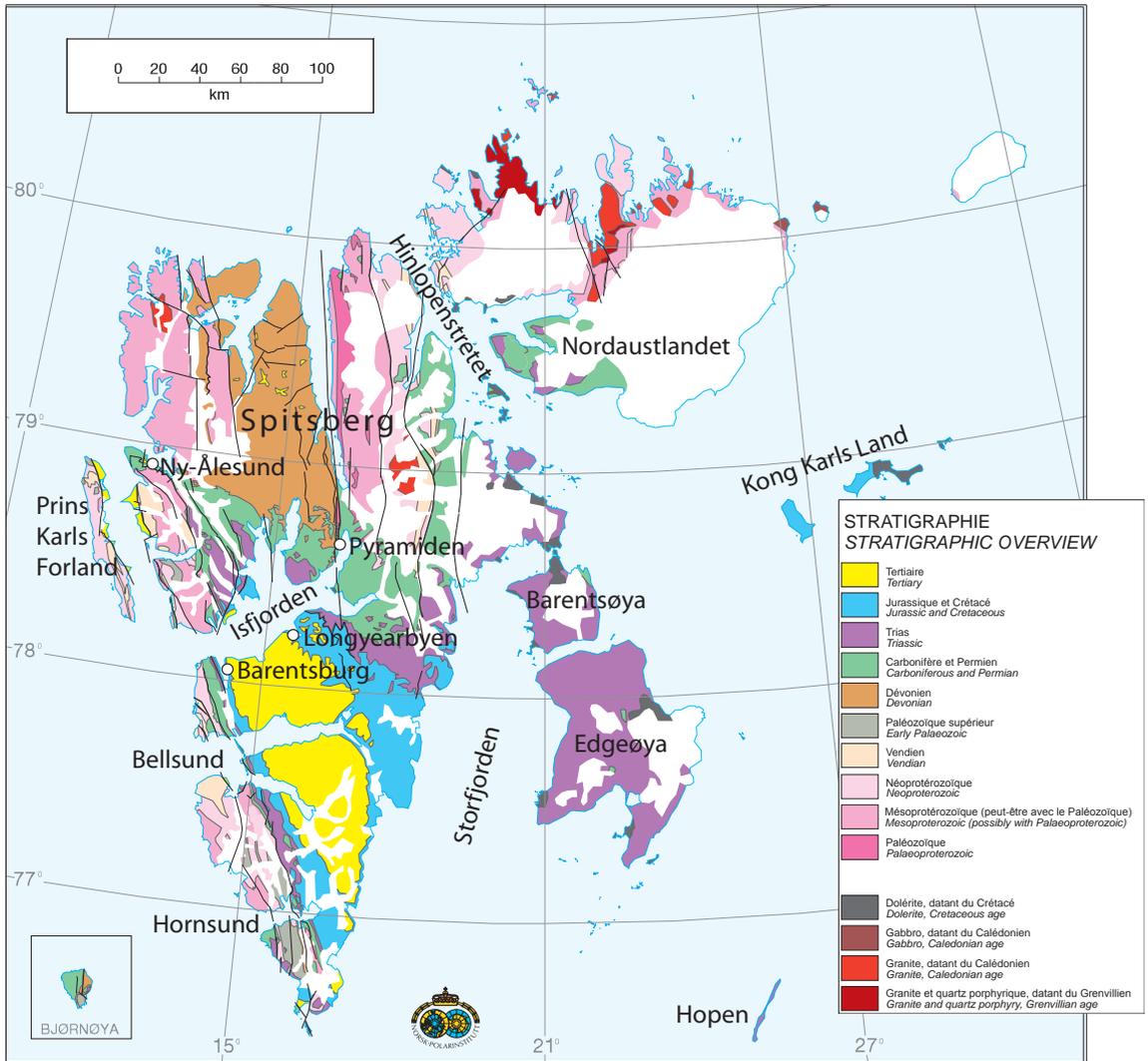
licoptères dans des zones non prévues à cet usage. Un permis exonéré est généralement donné avec un permis de recherche. Il faut savoir qu'il existe des règlements différents régulations pour les résidents du Svalbard et pour les touristes.

Tous les voyageurs qui quittent une zone habitée doivent porter une arme susceptible de les défendre contre les ours polaires. Ne jamais approcher ni poursuivre un ours blanc ! Les ours polaires sont une espèce protégée et ne peuvent être tués qu'en cas d'autodéfense, c'est-à-dire lorsque c'est la seule solution. De plus amples informations concernant les ours blancs et les règles de sécurité peuvent être obtenues auprès du gouverneur de l'archipel ou de l'Institut Polaire Norvégien.

Tout reste d'activités humaines datant de 1945 ou plus anciens est automatiquement protégé et classé comme héritage culturel. Ceci s'applique aux objets fixes et mobiles. Des installations plus récentes peuvent également être protégées par des notices spéciales. Il est interdit d'établir un camp à moins de 100 m d'un site protégé ou faisant partie de l'héritage culturel. Un camp basé pour une semaine ou plus doit être approuvé par le Gouverneur.



Photo: D. Blomeier.

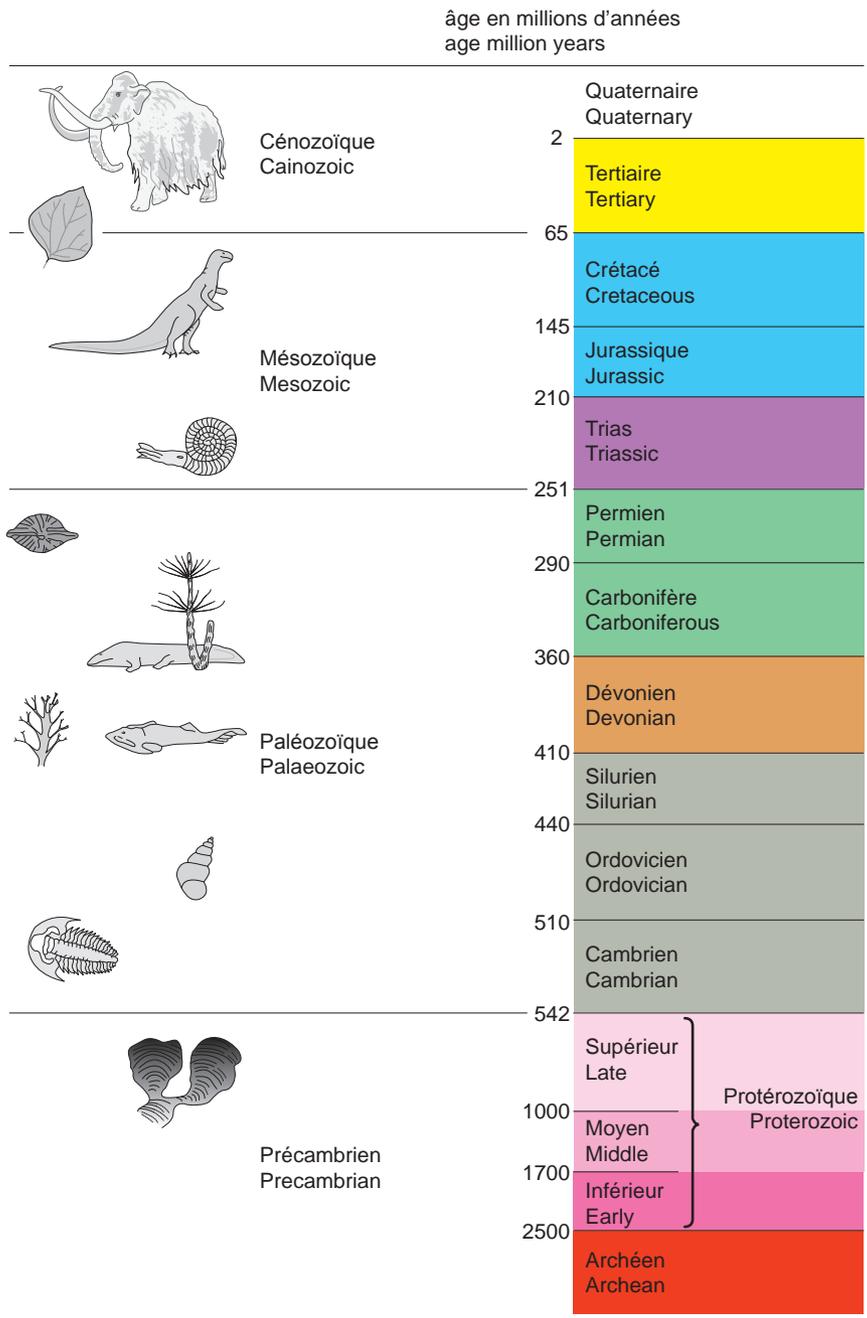


### L'échelle des temps – la structure de la géologie

L'échelle des temps géologiques est subdivisée en plusieurs périodes. Elle se base principalement sur l'observation non seulement des différents types de formes vivantes mais aussi de leur présence ou de leur absence. Les noms de l'échelle des temps géologiques constituent la nomenclature standard utilisée par les géologues partout dans le monde. Le Précambrien représente la plus ancienne période allant du début de l'histoire de la

Terre jusqu'il y a 542 millions d'années. L'ère suivante qui a duré de 542 millions d'années à 251 millions d'années est appelée Paléozoïque. Elle est suivie par le Mésozoïque qui se termine il y a 65 millions d'années. Le Cénozoïque est la période de temps qui a commencé il y a 65 millions d'années et continue encore de nos jours. Les deux derniers millions d'années de l'histoire de la Terre s'appelle le Quaternaire.

# ECHELLE DES TEMPS GEOLOGIQUES • GEOLOGICAL TIME SCALE





## **Fascinante géologie**

Le Svalbard fascine les gens depuis plus de cent ans. Le paysage, sauvage dans sa forme la plus pure, et les magnifiques montagnes sont d'une beauté à vous couper le souffle. La diversité géologique du Svalbard explique pourquoi les paysages sont tellement différents d'une région à l'autre. Hornsund, par exemple, est entouré de massifs montagneux en dentelles; la côte est du Spitsberg méridional se caractérise par des nunataks en plateaux, alors que le paysage de Woodfjord se distingue par des pentes plus douces aux couleurs particulières, dans les tons rouge. Aucun autre endroit du nord de l'Europe ne possède une telle diversité géologique ainsi que des affleurements rocheux dans lesquels sont représentés autant d'étages géologiques. Comme une grande partie du territoire est complètement nue, sans végétation ni sol, il est possible d'étudier le substratum rocheux de manière continue sur de très grandes distances. Toutes ces particularités font du Svalbard un endroit unique pour l'étude des processus géologiques, ou pour admirer son incroyable beauté.