

La mystérieuse lumière rouge dans le ciel du Svalbard

Fred Sigernes

Centre universitaire du Svalbard (Unis) - Département de géophysique
PB 156 - 9171 Longyearbyen - NORVÈGE
fred.sigernes@unis.no

Traduit du norvégien par **Fabrice Caline**

Résumé

Au début du mois de décembre 2002, s'est produit dans le ciel de Longyearbyen, au Svalbard, un phénomène qui a déclenché à la fois peur et curiosité et dont on a parlé dans le monde entier : le ciel a pris une couleur rouge éclatante et le jour est venu, alors qu'à cette latitude, la nuit est habituellement continue à cette période de l'année. Ce phénomène s'explique par une combinaison de conditions météorologiques particulières dans les couches supérieures de l'atmosphère, qui ont conduit à la formation d'importants nuages de glace entre la Norvège continentale, le Svalbard et le Soleil.

Abstract

The mysterious red light in Svalbard's sky

A phenomenon which provoked fear and curiosity, and was acknowledged all around the world, was observed early in December 2002 in the sky over Longyearbyen, Svalbard. The sky took a bright red colour and day broke despite its latitude where night is continuous at this time of the year. This phenomenon can be explained by the combination of particular meteorological conditions in the upper atmosphere, leading to the formation of large ice clouds between continental Norway, Svalbard and the sun.

Le Svalbard est un archipel de l'océan Arctique, situé au nord-est du Groenland et appartenant à la Norvège (voir figure 7). La nuit y est continue en hiver. Lors du solstice d'hiver, le Soleil est à 12 degrés sous l'horizon au milieu de la journée. Le crépuscule, transition entre le jour et la nuit, n'est observable à Longyearbyen qu'entre le 23 août et le 14 novembre, d'une part, et entre le 29 janvier et le 19 avril, d'autre part. De la mi-novembre à la fin janvier, le Svalbard vit au rythme de la nuit polaire et le Soleil ne dépasse jamais 6 degrés en dessous de l'horizon ; en d'autres termes, lorsque la Lune n'est pas visible, il fait nuit noire 24 heures sur 24. Il est impossible de naviguer sans lumière artificielle, car on ne voit même pas les montagnes. La seule source naturelle de lumière en dehors de la Lune, ce sont les aurores boréales.

Le 6 décembre 2002, à 7 h 30 UTC, depuis la station d'observation des aurores boréales de l'Adventdalen, située à 4 km de Longyearbyen, nous avons observé à notre grande surprise un phénomène lumineux intense à l'horizon, dans la direction sud-est. La lumière était d'un rouge éclatant. Son intensité ainsi que la portion du ciel qu'elle éclairait augmentèrent jusqu'à 10 h UTC (figure 1), puis diminuèrent jusqu'à la disparition du phénomène à 12 h 30 UTC. La lumière était tellement intense que l'on peut dire que la

nuit était devenue jour. Toute la vallée de l'Adventdalen était visible et on pouvait conduire sa voiture sans phares.

Des gens du monde entier contactèrent le personnel de la station d'observation pour en savoir plus. L'effrayante hypothèse d'une explosion thermonucléaire fut très vite lancée par certaines sources. Plusieurs experts furent interviewés en direct à la radio pour expliquer le phénomène.

Le reportage du journal local, le *Svalbardposten*, intitulé « Phénomène mystique : la nuit polaire éclairée intrigue les chercheurs », fut même mentionné dans les journaux nationaux norvégiens. Heureusement, tous les

L'auteur

Fred Sigernes fut le premier thésard en physique au Centre universitaire du Svalbard (Unis) ; il occupe aujourd'hui un poste de maître de conférences spécialisé dans la moyenne atmosphère à l'Unis. Depuis 1988, Fred Sigernes effectue chaque hiver des mesures optiques depuis la station d'observation des aurores boréales de l'Adventdalen, au Svalbard.

Le traducteur

Fabrice Caline est franco-norvégien et thésard en technologie arctique au Centre universitaire du Svalbard (Unis).
fabrice.caline@unis.no

Figure 1 - Le ciel rouge photographié par l'auteur, le 6 décembre 2002 à 8 h 42 UTC, depuis la station d'observation des aurores boréales de l'Adventdalen. (Photo Fred Sigernes)

instruments fonctionnaient correctement à la station d'observation et nous avons rapidement constaté qu'il ne s'agissait pas d'un phénomène d'origine humaine, mais au contraire d'une lumière solaire diffuse. La grande interrogation a donc été de savoir ce qui pouvait bien faire rayonner la lumière du Soleil au Svalbard à cette période de l'année.

Observation du phénomène

Le spectre lumineux et l'intensité lumineuse observés ont prouvé que le Soleil était la source du phénomène. Les spectromètres de la station d'observation de l'Adventdalen et de Ny-Ålesund sont configurés pour détecter la lumière du zénith dans la plage de longueurs d'onde allant de 4 820 à 8 570 Å (figure

2). Rappelons que l'angström (Å) est une unité de mesure valant 10^{-10} mètres et permettant de caractériser la longueur d'onde du rayonnement solaire.

La répartition spectrale du rayonnement observé a montré que son intensité croissait fortement de 6 300 à 8 400 Å, où elle a atteint 1 200 R/Å (voir encadré page suivante). Les instruments ont également identifié les lignes d'absorption de Fraunhofer. Ces lignes apparaissent sous la forme de zones (lignes) noires très distinctes à plusieurs lon-

gueurs d'onde du spectre solaire (région 4 000-7 000 Å). Les lignes de Fraunhofer sont caractéristiques du rayonnement solaire, puisqu'elles proviennent du fait que certaines longueurs d'onde sont presque entièrement absorbées par des atomes de la haute atmosphère du Soleil. Ces lignes permettent d'ailleurs de connaître la composition de l'atmosphère solaire.

En plus des mesures spectrales, on a utilisé un photomètre balayant un plan méridien nord-sud. La technique de ce photomètre est expliquée sur la figure 3. Le photomètre à balayage de la station d'observation de l'Adventdalen possède cinq canaux. La longueur d'onde centrale est choisie en fonction des couleurs de l'aurore boréale. Le canal 1 correspond à la lumière verte (longueur d'onde 5 577 Å) produite par l'excitation électronique de l'atome d'oxygène [OI]. De même pour le canal 2 qui

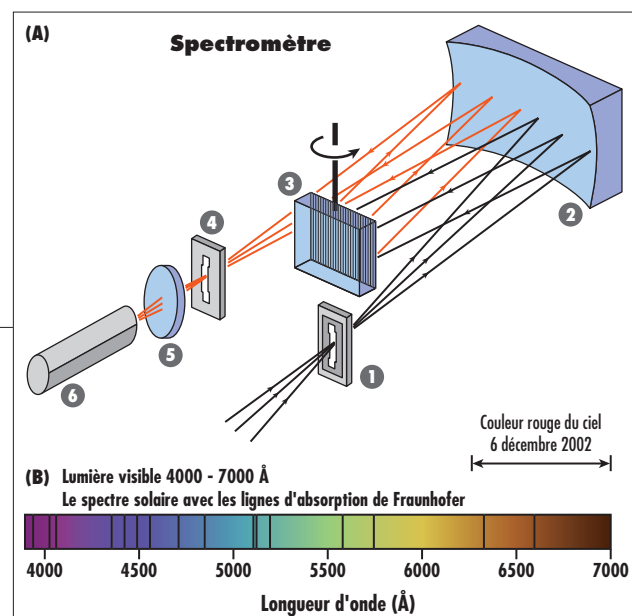


Figure 2 - La partie supérieure de la figure (A) montre comment fonctionne un spectromètre. Les composants principaux sont (1) une fente d'entrée, (2) un miroir courbe, (3) un réseau par réflexion, (4) une fente de sortie, (5) une lentille convergente et (6) un détecteur. En faisant tourner le réseau autour de son axe central, on observe les couleurs du spectre dans la fente de sortie. La partie inférieure de la figure (B) montre le spectre solaire et les lignes d'absorption de Fraunhofer (les lignes noires verticales).

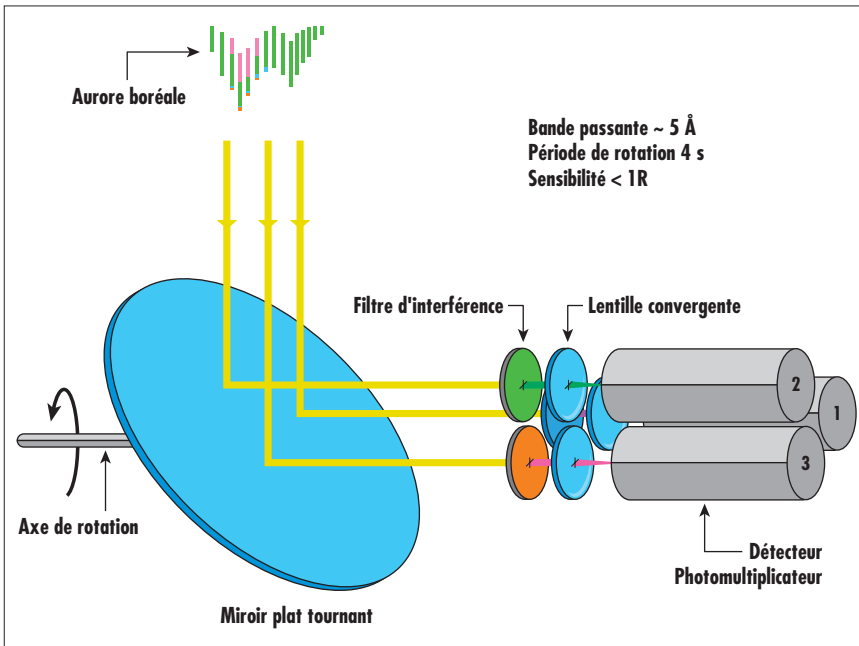


Figure 3 - Le fonctionnement d'un photomètre à balayage dans le plan méridien. Quand le miroir tourne, on enregistre l'intensité lumineuse du ciel nocturne (résultant en général d'une aurora boréale) en fonction de l'angle avec la verticale. Cet instrument comporte plusieurs canaux qui mesurent l'intensité pour des longueurs d'onde prédéfinies. On positionne le photomètre de telle sorte qu'il effectue son balayage du nord au sud dans le plan méridien magnétique.

L'unité Rayleigh (R)

Le symbole R, unité de luminance photométrique, est utilisé pour mesurer la lumière du ciel nocturne. L'unité R correspond à la quantité de quanta de lumière (en millions de photons) qui traverse une aire de 1 cm² en une seconde.

1 R = 10⁶ photons.cm².s⁻¹ et 1 kR = 10³ R

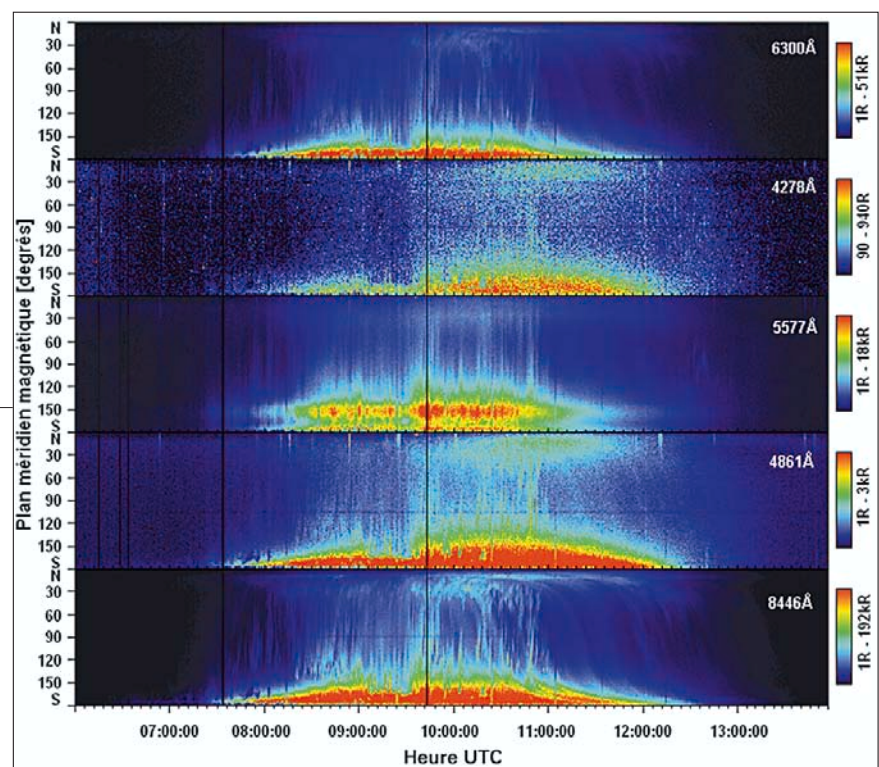
Une aurora boréale visible à l'œil nu a une luminance comprise entre 1 et 20 kR. Cette unité, qui n'est pas reconnue par le système international SI, doit son nom à J. W. S. Rayleigh.

correspond à la lumière rouge (longueur d'onde 6 300 Å) [OI] et le canal 5 à la longueur d'onde 8 446 Å [OI]. Le canal 3 correspond à la lumière bleue de longueur d'onde 4 861 Å et sert à caractériser les aurores boréales à hydrogène [Hβ]. Le canal 4 correspondant à la longueur d'onde 4 278 Å (violet) mesure la

Figure 4 - Données obtenues le 6 décembre 2002 par le photomètre à balayage de la station d'observation de l'Adventdalen. L'instrument est installé comme décrit dans la figure 3. L'intensité maximale pour chaque canal est indiquée en Rayleigh [R] par les codes de couleur sur la droite. Les cinq canaux ont pour longueurs d'onde centrales 6 300, 4 278, 5 577, 4 861 et 8 446 Å et pour bande passante environ 5 Å. Pour chaque canal, la figure montre l'intensité en fonction du temps et de l'angle par rapport à l'horizontale dans le direction du nord. L'indication 180 degrés correspond au sud. L'instrument balaye le plan méridien magnétique. On voit que la lumière est beaucoup plus intense dans le proche infrarouge (8 446 Å) que dans le bleu (4 861 Å).

lumière provenant de l'excitation électronique de l'azote moléculaire [N₂⁺]. Le champ de vision pour chaque canal est de 1 degré.

L'intensité lumineuse à 12 degrés au-dessus de l'horizon dans la direction sud-ouest était supérieure à 70 kR pour la longueur d'onde 6 300 Å (rouge), comme indiqué sur la figure 4. Pour la lumière verte (5 577 Å) et la lumière bleue (4 861 Å), elle était respective-



ment de 15 kR et 5 kR. En dehors du spectre visible, à une longueur d'onde de 8 446 Å (proche infrarouge), l'intensité atteignait 200 kR. Cela est dix fois plus que l'intensité d'une puissante aurora boréale verte.

En supposant que le phénomène est dû à la diffusion de la lumière solaire et que le diffuseur est situé sous l'horizon, au sud-est du Svalbard, on peut grossièrement calculer à quelle distance le phénomène a lieu à l'aide des observations effectuées par le photomètre.

Nous formulons cette hypothèse dans la mesure où nous sommes incapables d'identifier une quelconque structure, à la fois sur nos photographies et dans les données des photomètres. Nous observons cependant que l'intensité lumineuse est maximale à l'horizon et décroît avec la hauteur au-dessus de l'horizon (figure 4). De plus, la lumière a parcouru une longue distance dans l'atmosphère puisque nous observons essentiellement la couleur rouge, le rayonnement correspondant aux longueurs d'onde plus courtes ayant été atténué. Par un rapide calcul, on constate qu'il faut s'élever à au moins 117 km d'altitude au-dessus de Longyearbyen pour voir le Soleil le 6 décembre 2002. Si l'on prend en compte le fait que la lumière solaire se réfracte dans l'atmosphère et que l'atmosphère basse fait ombre au Soleil, il faut se déplacer horizontalement d'au moins 646 km vers le sud-est pour voir le Soleil. On se trouve alors à une

altitude de 33 km. En d'autres termes, ce qui diffuse la lumière solaire doit se situer dans la stratosphère, à une latitude proche de 75 degrés nord.

Le phénomène observé par satellite

Nos soupçons selon lesquels le phénomène était lié à la composition de la stratosphère ont été confirmés par les mesures prises depuis l'espace. Le satellite suédois *Odin* a enregistré, grâce à son spectromètre canadien *Osiris*, la lumière correspondant à ce que nous avons observé depuis le sol. L'instrument balaie l'horizon depuis l'orbite polaire du satellite. Cette technique nous donne à la fois l'altitude et la position du phénomène. *Osiris* a

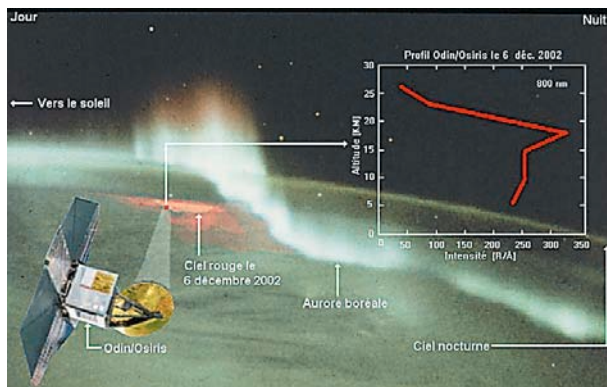


Figure 5 - Le ciel rouge vu depuis l'espace. Illustration de la façon dont le satellite *Odin* mesure le profil vertical de l'intensité lumineuse le 6 décembre 2002.

enregistré entre 12 h 47 min 9 s et 12 h 47 min 43 s UTC une couche rouge intense dans la zone (74°-73° N ; 50°-53° E), à une altitude de 20 à 25 km (figure 5). Cette information nous a donné la clé du mystère.

Lorsqu'il fait suffisamment froid dans cette couche de l'atmosphère, des nuages peuvent se former. Il faut pour cela des températures de l'ordre de -78 °C. Ces nuages s'appellent **nuages stratosphériques polaires** (en anglais, *polar stratospheric clouds*, *PSC*, voir encadré ci-contre). Ils se forment lorsque de l'air chaud monte. Les « bulles d'air » sont refroidies et les nuages se forment par condensation. Notons

que la température au sol était très élevée pour la saison. Une température de +5 °C en décembre est supérieure de 19 °C à la moyenne quotidienne mesurée entre 1976 et 1989. Toute la période de novembre à décembre 2002 a été marquée par un vent chaud du sud.

Les nuages stratosphériques polaires

Faisait-il suffisamment froid dans la stratosphère ce 6 décembre 2002 ? Pour répondre à cette question, nous avons contacté le Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMET). Ses scientifiques nous ont certifié qu'il faisait très froid dans la stratosphère sur tout l'hémisphère nord. Dans la région de la stratosphère située entre le Svalbard, le nord de la Norvège et le Groenland, la température était inférieure à -90 °C. Notons par ailleurs que des nuages stratosphériques polaires ont également été observés depuis Andøya, dans le nord de la Norvège, à cette période.

La lumière que ces nuages diffusaient a contribué à ce que le mois de décembre 2002 soit beaucoup plus clair que d'habitude. Selon l'ingénieur Kolbjørn Bekkelund, de la

Brève description des nuages stratosphériques polaires

Les nuages stratosphériques polaires ne sont pas un phénomène nouveau. Ils se forment l'hiver, lorsque l'air chaud situé près du sol est transporté vers la haute atmosphère, par exemple par les chaînes montagneuses. Cet air chaud est rapidement refroidi et des nuages se forment par condensation. En plus des cristaux de glace, ces nuages peuvent contenir des composés chimiques qui ont un effet sur la couche d'ozone. Ces nuages se forment à une altitude de 20 à 30 km, dans la basse stratosphère, et sont souvent éclairés par le Soleil par le dessous. On peut voir le spectre de la lumière sur le pourtour des nuages. Les petites particules de glace fonctionnent comme un prisme : la lumière blanche du Soleil se réfracte et les différentes couleurs qui la constituent sont dispersées dans des directions différentes. Récemment, on a découvert que les nuages stratosphériques polaires ne se forment que lorsque la température dans la stratosphère est inférieure à -78 °C.

base de lancement de fusées d'Andøya, on pouvait même observer les bateaux de pêche au large, chose habituellement impossible à cette période de l'année.

L'étape suivante a été de vérifier s'il existait des mesures concernant les nuages stratosphériques polaires pendant la période qui nous intéressait. À Ny-Ålesund (Svalbard), l'Institut polaire allemand Alfred Wegener dispose de

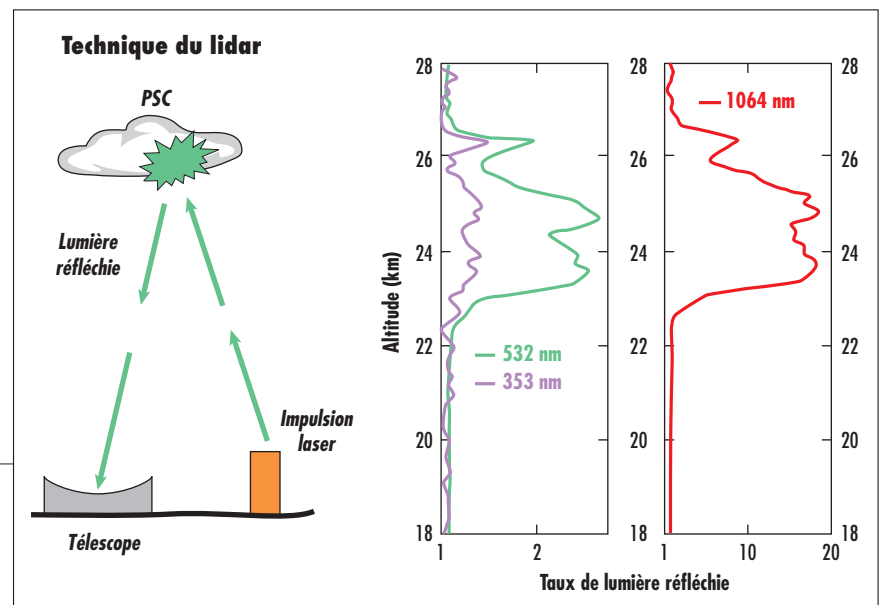


Figure 6 - Les mesures par lidar de l'Institut Alfred Wegener à la station Koldewey de Ny-Ålesund, le 9 décembre 2002. Trois lasers sont utilisés avec les longueurs d'onde suivantes : 353, 532 et 1 064 nm. L'illustration et les données ont été mises en forme par Roland Neuber, chef de la station.

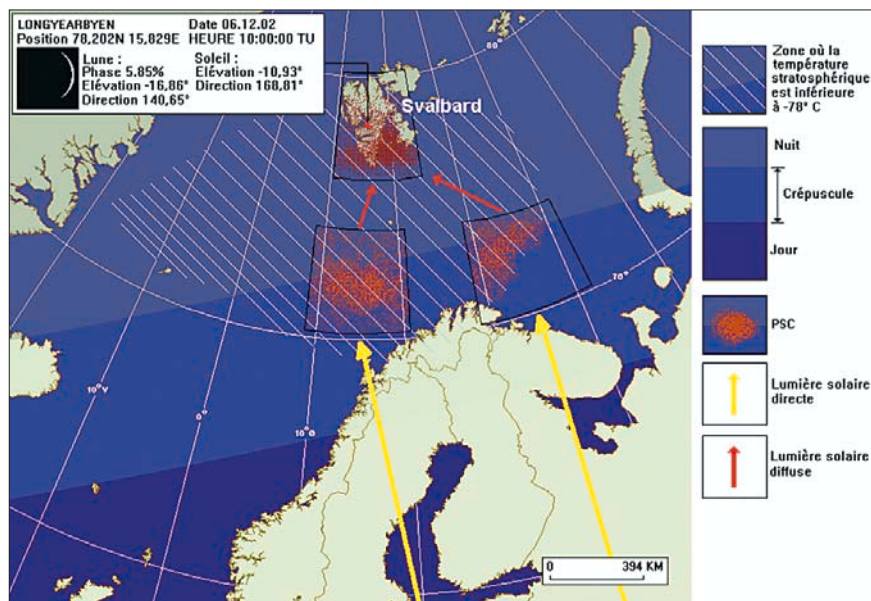


Figure 7 - Explication du ciel rouge du 6 décembre 2002. Dans la stratosphère froide, se sont formés des nuages stratosphériques polaires qui ont diffusé la lumière solaire vers le Svalbard. Les nuages se trouvaient à une altitude de 20 à 25 km et étaient principalement composés de cristaux de glace. Les mesures au sol et par satellite confirment ce schéma explicatif.

lasers qui permettent de mesurer l'altitude des nuages. Cette technique s'appelle **lidar**, ce qui signifie en anglais *Light detection and ranging*. L'impulsion laser est dirigée vers l'atmosphère. Un télescope au sol reçoit la lumière réfléchie (plus précisément rétrodiffusée), dont on mesure le temps de parcours ainsi que l'intensité. De là, on peut déduire l'altitude et l'épaisseur des nuages. Malheureusement, le ciel était couvert le 6 décembre 2002 à Ny-Ålesund. Les données des 7 et 9 décembre 2002 démontrent cependant la présence d'épais nuages stratosphériques polaires entre 23 et 27 km d'altitude (figure 6).

À Longyearbyen, nous ne pouvions pas observer cela, car le ciel était couvert ; mais le trappeur Hauke Trink, installé à Kinnvika (80° N ; 18° E), nous a rapporté que le ciel était d'un rouge éclatant en direction du sud-est les 5, 6 et 7 décembre.

Les mesures du lidar confirment qu'il faisait suffisamment froid dans la stratosphère pour que des nuages stra-

tosphériques polaires aient été présents. Autrement dit, nous sommes à présent certains que les nuages stratosphériques polaires sont à l'origine de la diffusion de la lumière solaire observée à Longyearbyen.

Le ciel rouge du Svalbard est-il un phénomène nouveau ?

Alf Seltveit, un vétéran du Svalbard, nous raconte qu'il a observé le même phénomène le 17 janvier 1979, depuis Longyearbyen. Mais pourquoi un tel phénomène ne se produit-il pas plus souvent ? La formation de nuages stratosphériques polaires est courante en hiver. Cependant, pour qu'ils diffusent la lumière du Soleil jusqu'au Svalbard, il faut à la fois que leur position et l'angle sous lequel la lumière les éclaire aient des valeurs particulières. Il faut de sur-

croît qu'il y ait plusieurs nuages afin que la lumière puisse se propager de nuage en nuage jusqu'à atteindre le Svalbard. Il est rare que toutes ces conditions soient réunies simultanément.

La figure 7 résume les conditions qui doivent coexister pour que l'on puisse observer le phénomène. Si un ou plusieurs nuages stratosphériques polaires se situent dans la zone crépusculaire située entre le nord de la Norvège et le Svalbard, ils diffusent la lumière du Soleil vers des nuages situés plus au nord. Cela nécessite qu'il fasse très froid sur une portion importante de la stratosphère.

Des calculs de rayonnement modélisant cet effet montrent que ce phénomène peut effectivement se produire. En théorie, un instrument situé à Longyearbyen peut détecter une intensité lumineuse pouvant aller jusqu'à 104 kR dans le proche infrarouge (8 450 Å). Pour la lumière bleue (4 280 Å), cette valeur est de 206 R. Ces résultats théoriques se comparent très bien à ce que nous avons effectivement mesuré à la station d'observation de l'Adventdalen.

En d'autres termes, les nuages stratosphériques polaires illuminés au crépuscule peuvent, si toutes les conditions sont réunies, diffuser la lumière solaire très loin. Depuis que nous avons compris la nature du phénomène, nous avons en effet observé plusieurs cas de ciel rouge grâce au satellite *Odin*.

Pour en savoir plus

- Lloyd N. D., D. A. Degenstein, F. Sigernes, E. J. Llewellyn et D. A. Lorentzen, 2005 : A mechanism for the red-sky enigma: Ducting of sunlight by polar stratospheric clouds. *Annales Geophysicae*, sous presse.
- Sigernes F., N. D. Lloyd, D. A. Lorentzen, R. Neuber, U.-P. Hoppe, D. Degenstein, N. Shumilov, J. Moen, Y. Gjessing, O. Havnes, A. Skartveit, E. Raustein, J. B. Ørbæk et C. S. Deehr, 2005 : The red-sky enigma over Svalbard in December 2002. *Annales Geophysicae*, sous presse.
- Site Internet [<http://fred.unis.no/6dec2002/>]