

Les montagnes : des systèmes d'alerte précoce pour le changement climatique

Mountains: early warning systems for climate change



Coverture/Cover:
Jungfrau-Aletsch © JAXA 2008

SC/2015/WS/MAB/1 REV

Les montagnes : des systèmes d'alerte
précoce pour le changement climatique

*Mountains: early warning systems for
climate change*

Les montagnes : des systèmes d'alerte précoce pour le changement climatique

Les montagnes et leurs vallées adjacentes occupent un quart de la surface de la Terre, tandis qu'environ un milliard de personnes y vivent. Les montagnes contiennent plus de la moitié des points chauds (« hotspots ») de la biodiversité mondiale, sources de nourriture, textile, bois et médecine pour les peuples. Les montagnes fournissent également de nombreux « services écosystémiques ». La fourniture en eau en est un des plus importants, mais elles aident également à la régulation du climat, à la purification de l'air, et à stocker le dioxyde de carbone, un gaz à effet de serre. Elles sont également très importantes pour les peuples d'un point de vue culturel et spirituel.

Les bassins versants montagneux reçoivent et produisent une grande partie du ruissellement et des précipitations globales. Une meilleure surveillance du processus hydrologique des montagnes améliore leurs

prévisions et fournit des informations utiles au système d'alerte précoce.

Les montagnes comptent également parmi les régions les plus sensibles au changement climatique et fournissent certains des indicateurs les plus clairs du réchauffement planétaire. Au cours du XXème siècle, elles ont été soumises à un réchauffement supérieur à la moyenne, en comparaison avec le reste de la planète.

Les montagnes sont considérées comme des systèmes d'alerte précoce. La prise en compte des montagnes dans les objectifs de développement durable (ODD) devrait être considérée comme une opportunité.

L'extrême vulnérabilité des systèmes montagneux face au changement climatique englobe différents éléments : la fragilité biophysique (haute altitude, pentes abruptes,

sols superficiels) et les risques naturels tels que les inondations et les glissements de terrain dus à des conditions climatiques défavorables. Il s'agit également des effets du changement climatique sur la faune et la flore, ainsi que sur les sociétés humaines qui en dépendent.

La rapidité de la fonte glacière, ainsi qu'une période de fonte des neiges qui intervient plus tôt et plus rapidement, constituent des conséquences notables du changement climatique. Cela conduit à un déversement des eaux plus rapide ainsi qu'à des inondations en aval. De plus, ces changements peuvent causer des pénuries d'eau durant la saison de croissance agricole, à l'origine d'effets dévastateurs pour les communautés locales et pour les populations les plus en aval. Cela pourrait ainsi affecter la sécurité alimentaire régionale et le développement économique. Alors que le changement

climatique va détériorer la fourniture de certains services écosystémiques montagneux, d'autres (tels que la production alimentaire, la séquestration de carbone, les services fournis par les bassins hydrologiques et le loisir) seront renforcés afin d'assurer la résilience future.

La nécessité de réduire l'incertitude scientifique associée au changement climatique et ses impacts à l'échelle locale constitue ainsi un défi futur déterminant en matière d'évaluation de la vulnérabilité.

La réduction des lacunes en termes de connaissances des systèmes montagneux aidera la communauté internationale à mieux comprendre le changement climatique mondial, à établir de meilleures pratiques et à apporter les informations nécessaires au développement et à la mise en œuvre de politiques futures.

Mountains: early warning systems for climate change

Mountains and their adjacent valleys occupy a quarter of the Earth's surface and are home to about 1.2 billion people. Mountains contain more than half of the world's biodiversity hotspots, much of which is used by people for food, fibre, timber, and medicine. Mountains also provide diverse "ecosystem services". Providing water is one of the most crucial but they also help regulate the climate, purify the air, and store carbon dioxide, a greenhouse gas. They are also important to people culturally and spiritually.

Mountain catchments receive and produce a large fraction of global precipitation and runoff. Better monitoring of mountain hydrological process improves their prediction and provides information to early warning system. Mountains are also among the regions most sensitive to climate change and

provide some of the clearest indicators of global warming. In the 20th century, they experienced above average warming in comparison to the rest of the planet.

Mountains are considered to be early warning systems. The recognition of mountains in Sustainable Development Goals (SDGs) should be seen as an opportunity.

When we say mountains systems are highly vulnerable to climate change, we're talking about a lot of things: biophysical fragility (high altitude, steep slopes, shallow soils) and natural hazards like floods and landslides caused by adverse climatic conditions). We're also talking about effects on animal and plant life – and the human societies that rely on them.

Some related climate change impacts include rapidly melting glaciers, and earlier and faster snow melt. This leads to rapid water release and downstream floods. As well, these changes can cause water shortages during the growing season with devastating effects for local communities and populations further downstream. This in turn could affect regional food security and economic development. While climate change will degrade the provision of some mountain ecosystem services, others – such as food production, carbon sequestration, watershed services and recreation – may be enhanced to ensure future resilience.

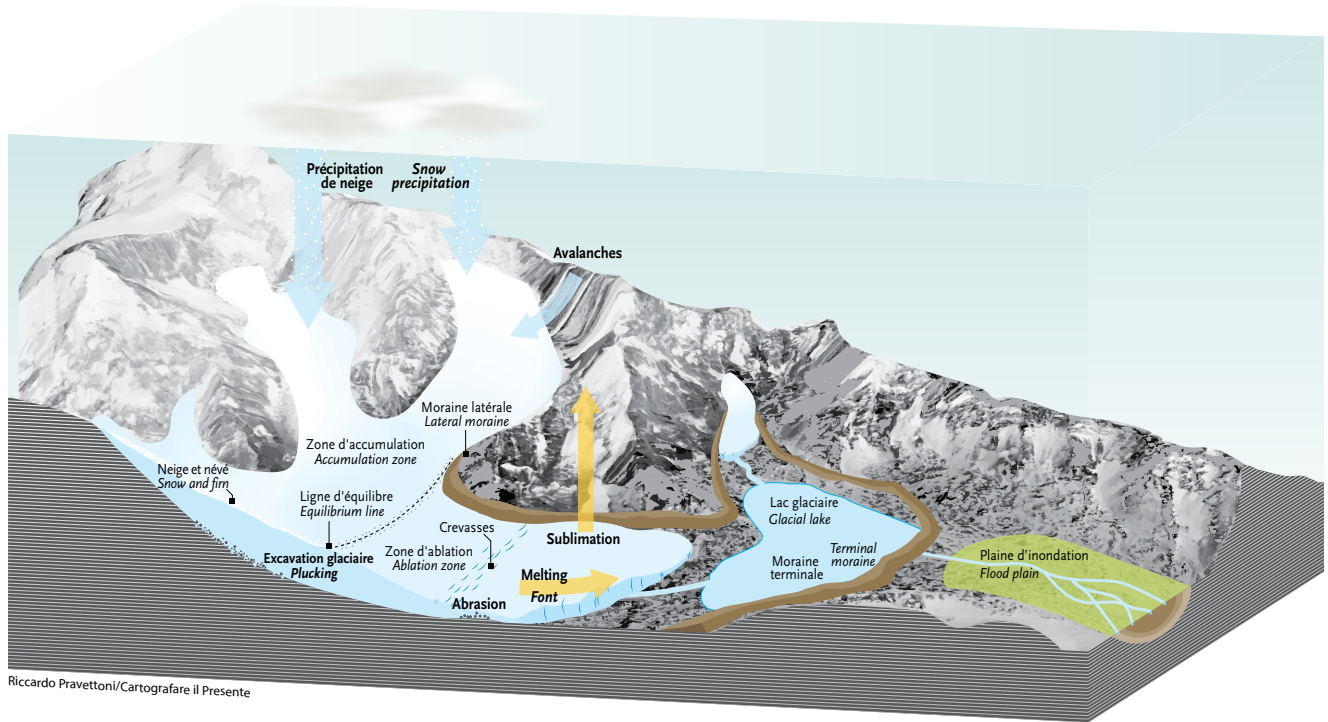
A future challenge underpinning assessment of vulnerability is the need to reduce scientific uncertainty

associated with climate change and its likely impacts at the local scale.

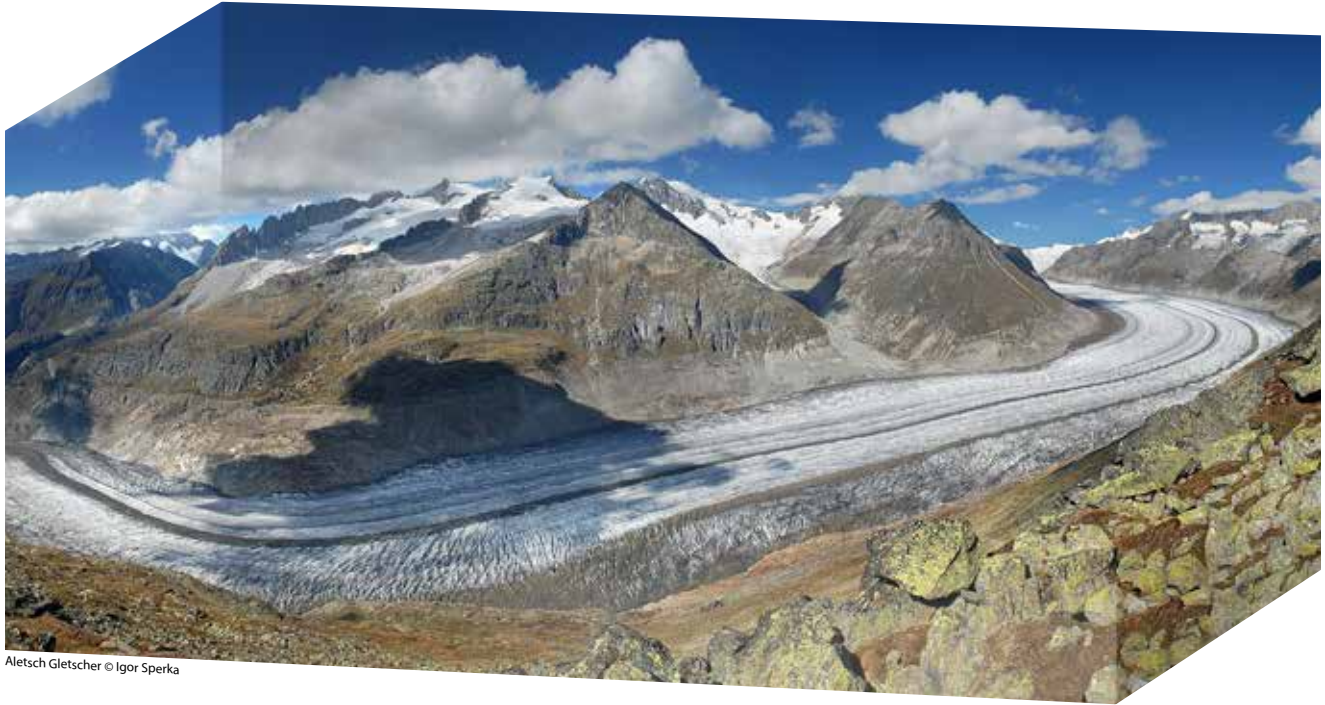
Reducing the knowledge gaps in mountain systems will help the international community to better understand global climate change and to establish best practices and inform future policy development and implementation.

Schéma d'un glacier

Diagram of a glacier



Riccardo Pravettoni/Cartografare il Presente



Aletsch Gletscher © Igor Sperka

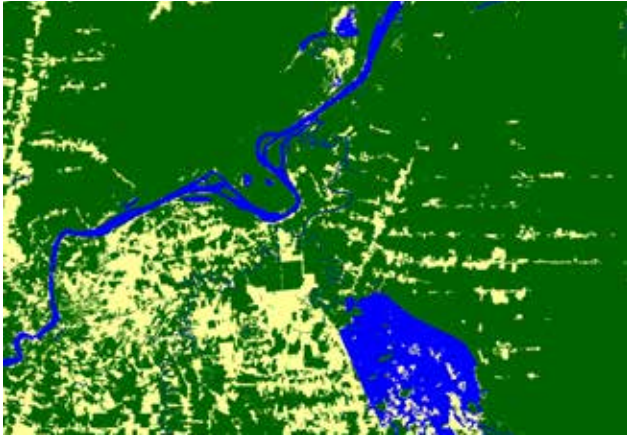


La technologie spatiale: suivre les impacts du changement climatique au fil du temps

Le développement de la technologie spatiale ces dernières décennies a rendu possible la surveillance de la Terre grâce à la télédétection par satellite et aux images satellites. Leur mouvement périodique autour de la Terre en fait des outils idéals pour suivre les impacts majeurs potentiels du changement climatique sur notre planète, tels que les températures mondiales, les configurations météorologiques, les inondations, les sécheresses, les hausses du niveau de la mer, la fonte des glaciers et des glaces polaires, ainsi que la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

The spatial technology: tracking Climate Change impacts over time

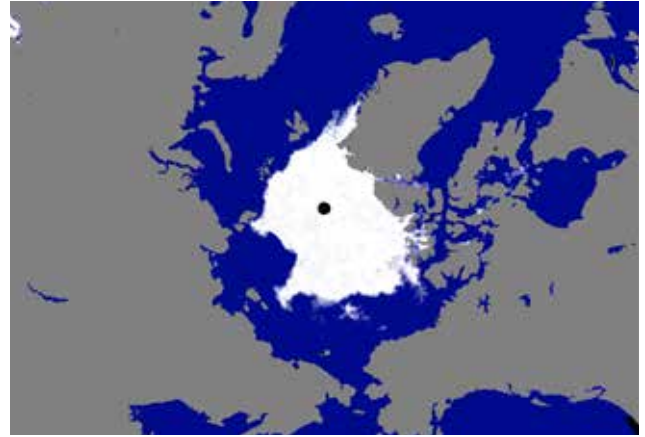
The development of space technology during the last decades has made possible the monitoring of the Earth through satellite remote sensing and imagery. Their periodic motion around the Earth makes them ideal in tracking worldwide climate change impacts over time. Different types of satellites help track the likely major impacts of climate change, such as changing global temperatures and weather patterns, floods, droughts, sea level rise, melting glaciers and polar ice, as well as the green-house gas concentration in the atmosphere.



Carte des zones forestières et non-forestières de l'Amazonie/Forest and Non Forest Map of the Amazon © JAXA Carte

Les satellites sont utilisés pour surveiller la couverture forestière dans le monde entier. La déforestation constitue un enjeu important, dans la mesure où il s'agit d'une source de gaz à effet de serre, tandis qu'elle met également en danger la biodiversité. Les observations satellites peuvent être utilisées pour détecter les tendances et les régions où la déforestation sévit, comme l'illustre l'image ci-dessus où les régions forestières (en vert) peuvent être clairement distinguées des régions non-forestières (en jaune).

Satellites are used to monitor forest cover worldwide. Deforestation is a major issue as it is a significant source of greenhouse gases, and it puts in danger biodiversity. Satellite observation can be used to detect trends and areas where deforestation occurs, like in the image above where forest areas (in green) can be clearly distinguished from non-forest areas (in yellow).



Concentration de glace marine au Pôle Nord/Sea Ice Concentration at the North Pole © JAXA

Les satellites sont idéals pour surveiller la couverture de glace à travers le monde. Cette image montre la couverture glacière autour du Pôle Nord le 14 septembre 2015. L'étendue de glace ce jour-là était la troisième plus petite qui n'ait jamais été enregistrée. Le déclin de la mer de glace arctique est généralement considéré comme une preuve du changement climatique.

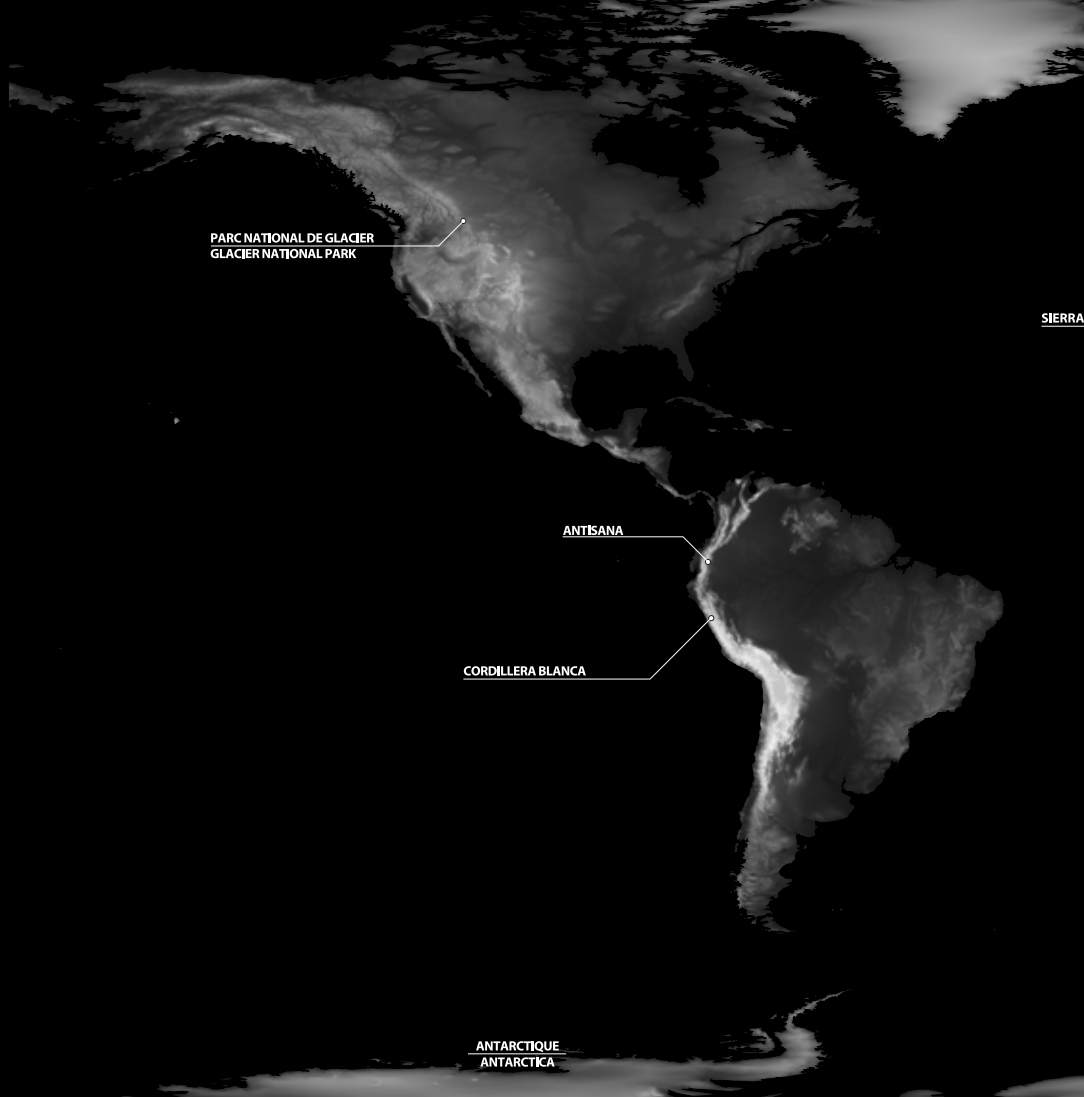
Satellites are ideal to monitor the ice cover around the world. This image shows ice cover around the North Pole on September 14th, 2015. The ice extent on this day was the third smallest that has ever been recorded. The decline of Arctic sea ice is often considered to be an evidence of climate change.



Cartographie mondiale par satellite des précipitations/Global Satellite Mapping of Precipitation © GSMap

L'utilisation de plusieurs satellites nous permet de surveiller de larges surfaces en temps quasi réel. La coopération internationale joue un rôle important dans la construction de réseaux satellites efficaces. Ces réseaux sont utilisés, par exemple, pour suivre les précipitations mondiales, comme l'illustre l'image ci-dessus. Cette technologie a un champ d'application large, comprenant la gestion des risques d'inondation, qui contribue à une société durable et sans danger.

The use of multiple satellites allows us to monitor wide areas in near real-time. International cooperation plays a key role in building efficient satellite networks. These networks are used, for example, in tracking the global precipitation as shown in the image above. This technology has broad applications, such as flood risk management, contributing to safe and sustainable society.



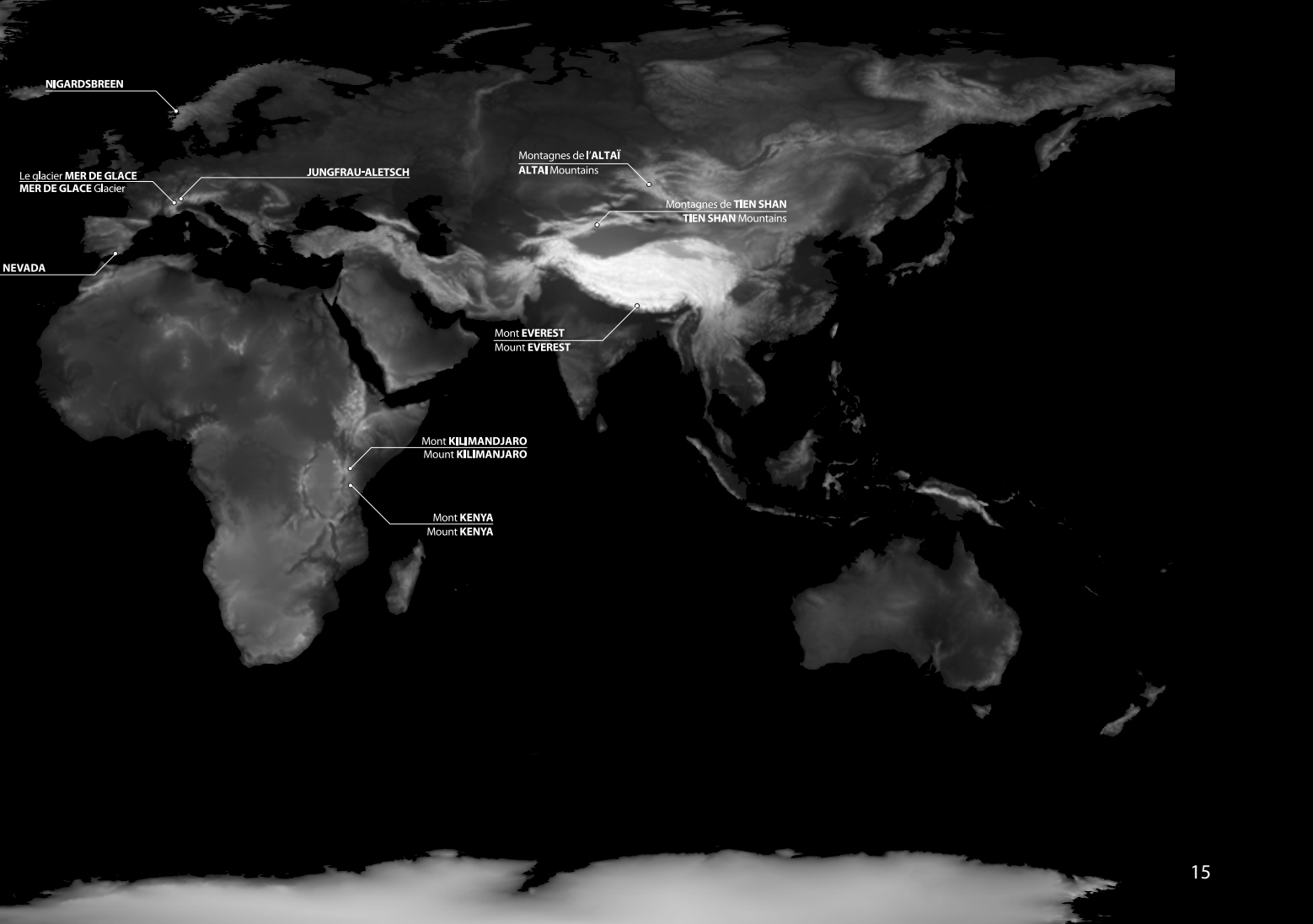
PARC NATIONAL DE GLACIER
GLACIER NATIONAL PARK

SIERRA

ANTISANA

CORDILLERA BLANCA

ANTARCTIQUE
ANTARCTICA



NIGARDSBREEN

Le glacier MER DE GLACE
MER DE GLACE Glacier

JUNGFRAU-ALETSCH

Montagnes de l'ALTAI
ALTAI Mountains

Montagnes de TIEN SHAN
TIEN SHAN Mountains

NEVADA

Mont EVEREST
Mount EVEREST

Mont KILIMANJARO
Mount KILIMANJARO

Mont KENYA
Mount KENYA

AOÛT
AUGUST 2015



©USGS

Le glacier Mer de Glace: Le climat menace la population des Alpes françaises

La Mer de Glace est un glacier alpin situé sur la face nord du massif du Mont-Blanc. Avec ses 12 km de longueur, il est le glacier le plus étendu de France. Les eaux sous glaciaires de la Mer de Glace sont utilisées de manière saisonnière pour la production d'hydroélectricité.

Le changement climatique a déjà eu un impact notable sur les glaciers alpins. L'augmentation des températures a causé une accentuation de la fonte du glacier, provoquant une perte de masse quasi continue au cours des 30 dernières années. Depuis 1985, l'épaisseur moyenne des glaciers alpins a diminué d'environ un mètre par an, entraînant un fort recul du glacier. Au cours des 20 dernières années, les glaciers de la Mer de Glace et d'Argentière (situés à proximité l'un de l'autre, dans la vallée de Chamonix) ont reculé de plus de 700 m. D'après

les projections actuelles, la Mer de Glace continuera à fondre à un rythme soutenu au cours des décennies à venir; d'après les divers scénarios concernant les émissions de carbone et autres composants dans l'atmosphère, le glacier pourrait reculer de 1200 m au cours des 30 ans à venir. Dans ces régions montagneuses, le recul du glacier n'aura pas qu'un impact sur le volume du ruissellement d'eau et la génération d'hydroélectricité; il pourrait également impacter la stabilité de certains glaciers suspendus et menacer des vallées fortement peuplées. Le retrait des glaciers peut également entraîner la formation de lacs glaciaires alimentés par les eaux de fonte. Ces lacs constituent un danger pour les zones habitées; si la digue retenant un lac glaciaire venait à céder, la crue résultante pourrait être dévastatrice pour les populations locales.



©Jürg Alean (WGMS)



©Hiclu Catalin



©Sergey Novikov



©Jean-Paul Grandmont (Wikimedia Commons)

Mer de Glace Glacier: Climate change threatens the population of the French Alps

The Mer de Glace ("Sea of Ice") glacier is located on the northern slopes of the Mont Blanc massif in the Alps and at 12 km is the longest glacier in France. Sub-glacial waters from the Mer de Glace are used seasonally for the generation of hydroelectricity.

Climate change has already had a great impact on glaciers in the Alps. They have lost mass almost continuously over the last three decades due a large increase in melting caused by rising temperatures. The average thickness of Alpine glaciers has decreased by about one meter per year since 1985 which has led to strong deceleration of the glacier. The Mer de Glace and the Argentière glacier, very near to each other in the Chamonix Valley, have retreated

by more than 700 m over the last 20 years. Models reveal that the Mer de Glace will continue to shrink dramatically in coming decades. Depending on the levels of greenhouse gases emitted into the atmosphere, this retreat could be up to 1200 m over the next 30 years. Not only will water runoff and hydroelectric generation in mountainous areas be affected, but melting could also have a major impact on the stability of steep hanging glaciers, the collapse of which could threaten densely populated valleys. Shrinking glaciers could also lead to the formation of glacial lakes containing meltwater. These lakes are a potential danger to inhabited areas because when the dam containing the glacier lake breaks, the sudden release of water can cause severe flooding.



©JAXA



©JAXA

Jungfrau-Aletsch : Une belle région menacée

La région de Jungfrau-Aletsch se situe au sud-ouest de la Suisse, entre les cantons de Berne et du Valais, et inclut le plus grand glacier des Alpes, le Grosse Aletschgletscher (« glacier d'Aletsch ») dont la superficie atteint 78 km². Le site Jungfrau-Aletsch des Alpes suisses a été classé au patrimoine mondial de l'UNESCO en 2001. La région du Jungfrau-Aletsch est caractérisée par des extrêmes. Cet environnement comprend des zones chaudes et sèches, des prairies et des champs cultivés, des forêts tempérées ainsi que d'impressionnants paysages de glaciers. Tout ceci est réuni sur une zone géographique réduite, à seulement quelques centaines de mètres d'altitude, et génère une inestimable diversité

d'écosystèmes et une incroyable richesse en termes de processus écologiques et biologiques. L'intérêt du site réside tant dans sa beauté que dans la richesse des informations qu'il recèle sur la formation des montagnes et des glaciers ainsi que sur le changement climatique actuel. Les ruissellements montagneux de cette zone géographique alimentent des fleuves majeurs tels que le Rhône et le Rhin et sont essentiels à l'approvisionnement en eau de l'Europe centrale et occidentale. Le glacier d'Aletsch a reculé d'environ 3,4 km depuis le milieu du dix-neuvième siècle, pour moitié au cours des 56 dernières années. D'ici à 2050, 75 % de la surface du glacier est susceptible de disparaître.



©Igor Sperka



©Mihai-Bogdan Lazar



©David Gubler

Jungfrau-Aletsch: A beautiful region under stress

The Jungfrau-Aletsch region is located in southwestern Switzerland between the cantons of Berne and Valais. It is home to the largest glacier in the Alps, the 78 km² Grosser Aletschgletscher ("Great Aletsch glacier"). The Swiss Alps Jungfrau-Aletsch was designated as an official UNESCO World Heritage Site in 2001 and is a region characterized by extremes. The environment changes from hot and dry areas, to meadows and cultivated fields, to cool forests and impressive glacial landscapes. All of this occurs within a very small area and over only a few hundred meters in altitude. The result is a wide range of ecosystems

and rich ecological and biological processes. The site also is valued both for its beauty and for the wealth of information it contains about the formation of mountains and glaciers, as well as the effects of a changing climate. Mountain run-off feeds major rivers including the Rhône and the Rhine and is important for the water supply in western and central Europe. The Great Aletsch Glacier has retreated by about 3.4 km in length since the mid-nineteenth century, nearly half of which occurred during the past 56 years. By 2050, 75% of the glacier area in the Swiss Alps is likely to disappear.



©JAXA



©JAXA

Sierra Nevada : Réchauffement d'une région riche en biodiversité méditerranéenne

La Sierra Nevada est une chaîne de montagnes située dans le sud de l'Espagne, dans la région andalouse. Elle comprend la plus haute chaîne de montagnes de la péninsule ibérique dont le point culminant est le mont Mulhacen (3 482 m). La Sierra Nevada abritait autrefois le glacier le plus méridional d'Europe, le Corral del Veleta, jusqu'à sa disparition totale en 1913 suite à la hausse des températures au début du 20ème siècle. La région recèle une grande variété de flores singulières parmi lesquelles sont répertoriées plus de 2 100 espèces différentes. Alors que 20 % des espèces végétales d'Europe y sont

représentées, c'est dans cette zone que les impacts du changement climatique sont le plus visibles. Entre 2001 et 2008, le nombre d'espèces composant la flore a diminué de 8 % sur quatre des sommets de la chaîne. Le Programme sur L'Homme et la Biosphère et les autorités espagnoles et andalouses ont travaillé de concert à la mise en place de l'Observatoire de Changement Global de Sierra Nevada. Ce projet de recherche à long terme vise à recueillir des informations socio-écologiques sur les principaux types d'écosystèmes afin d'identifier les impacts sur cette zone du changement global.



©Parque Nacional y Parque Natural de Sierra Nevada



©Parque Nacional y Parque Natural de Sierra Nevada



©Parque Nacional y Parque Natural de Sierra Nevada

Sierra Nevada: A warming Mediterranean Biodiversity Hotspot

The Sierra Nevada mountain range is located in the Andalusian region of southern Spain. It contains the highest mountain chain in the Iberian Peninsula, including its highest peak Mulhacén (3,482 m). It used to be the site of the southernmost glacier in Europe, the Corral del Veleta, until it completely vanished in 1913 due to an increase in temperature at the beginning of the 20th Century. The region is home to numerous unique types of flora, with over 2,100 different species recorded. This represents 20% of all European plant species and it

is here that the clearest impacts of climate change can be seen. The number of flora species decreased by eight per cent on four summits between 2001 and 2008. The UNESCO Man and the Biosphere Programme has worked together with Spanish and Andalusian authorities in the implementation of the Sierra Nevada Global-Change Observatory. This long-term research project will compile socio-ecological information on the major ecosystem types in order to identify the impacts of global change in this area.

OCTOBRE
OCTOBER 2006



©JAXA

Nigardsbreen : Les fluctuations du glacier émissaire

Le Nigardsbreen est l'un des nombreux glaciers émissaires du Jostedalbreen (« breen » signifie glacier en norvégien). Situé dans le Parc National de Jostedal, près des côtes occidentales de la Norvège, le Jostedalbreen est une grande calotte glaciaire d'Europe continentale (474 km²).

Le Nigardsbreen a une superficie de 48 km². Culminant à 350 m au-dessus du niveau de la mer, il est le glacier émissaire le moins élevé du parc, ainsi qu'un des glaciers les plus accessibles au monde. Au cours des 50 dernières années, le glacier a oscillé entre périodes d'expansion et de recul.

Le Jostedalbreen, avec de nombreux autres glaciers norvégiens, contribue grandement à la production d'hydroélectricité ; cette énergie compte pour 98 % de l'énergie produite en Norvège pour l'usage domestique et pour l'exportation. Environ 15 % du ruissellement utilisé provient de bassins glaciaires dont les réserves sont principalement disponibles en été. Mais sa faible altitude rend le Nigardsbreen plus sensible aux variations de précipitations et donc plus sujet à la fonte que les glaciers situés à l'intérieur des terres. Le recul du glacier a pour conséquence une importante modification de la végétation dans les zones adjacentes.



©Hallgeir Elvehoy (WGMS)



©Svein-Magne Tunli (Wikimedia)



©Nicram Sabod



©iPics

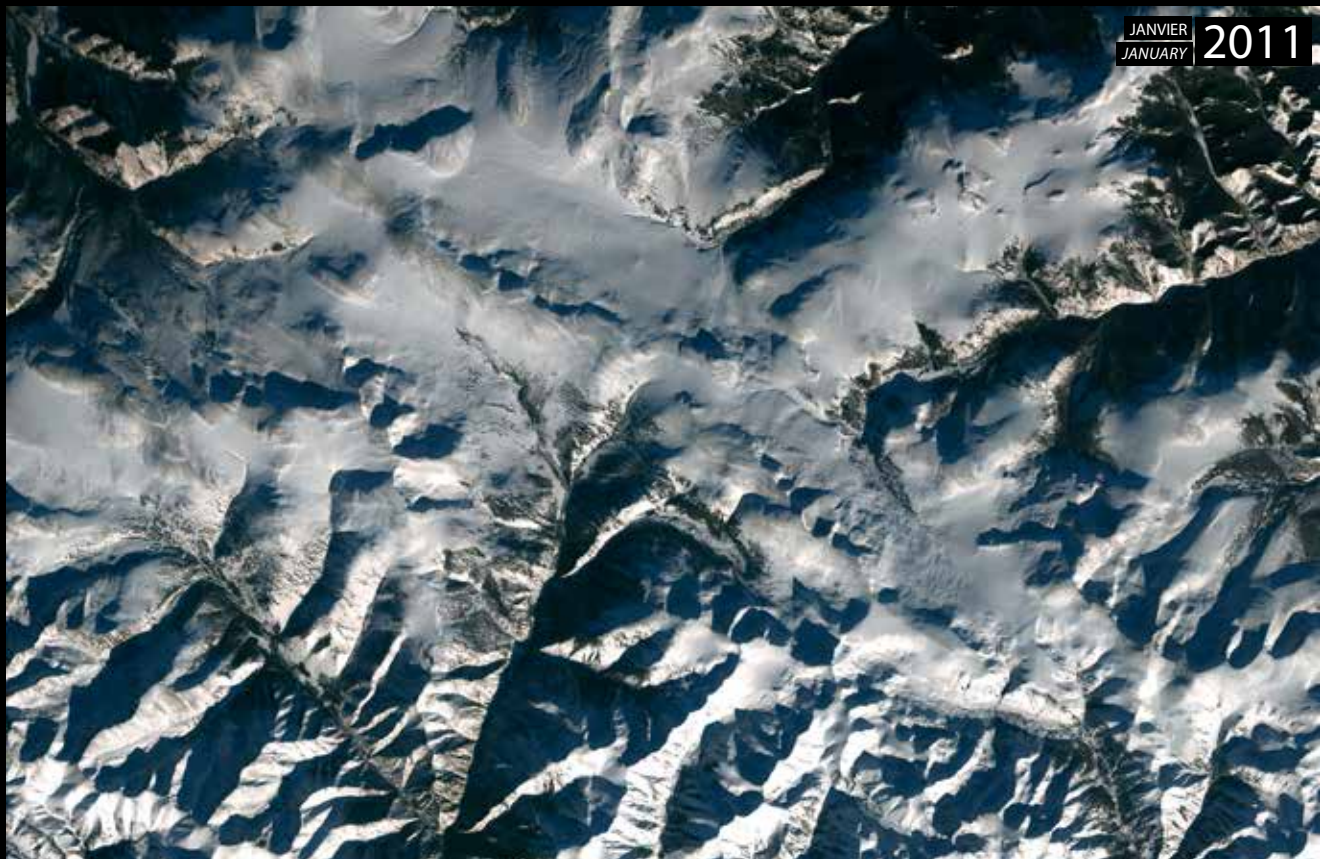
Nigardsbreen: Fluctuations of the maritime outlet glacier

Nigardsbreen is one of several icy arms extending out from the Jostedalbreen (“breen” meaning glacier in Norwegian). Jostedalbreen lies in the Jostedal National Park near the western coast of Norway and is the largest ice cap on mainland Europe (474 km²).

Nigardsbreen has a surface area of 48 km². At 350 m above sea level, it is also the lowest arm in the park and one of the most accessible glaciers in the world. For the last 50 years, this glacier has experienced alternating periods of growth and loss.

Together with many other Norwegian glaciers, Jostedalbreen contributes significantly to hydropower, which accounts for 98% of the energy produced for Norway’s domestic use and export. Around 15% of the run-off used for power generation comes from glaciated basins with most of the water being available during summer. But because of its low altitude Nigardsbreen is more sensitive to changes in precipitation and thus to melting than glaciers situated further inland. This leads to significant vegetation changes in areas near the glaciers.

JANVIER
JANUARY 2011



©JAXA

Montagnes de l'Altai : Le changement climatique révèle d'anciennes tombes

L'Altai est une région de montagne en Asie centrale qui s'étend sur la Chine, le Kazakhstan, la Mongolie et la Fédération de Russie. Le changement climatique est à l'origine d'une fonte rapide des glaciers de l'Altai, du pergélisol ainsi que les champs des neiges avec une perte de l'eau de surface. La partie russe de l'Altai a été classée au Patrimoine Mondial de l'UNESCO en 1998, une partie du site est devenue la Réserve de biosphère de Katunskiy en 2000.

Les Scythes construisirent des monticules funéraires, appelés kurgans, dans la région de l'Altai en Sibérie. Leur localisation dans le pergélisol (sol d'une température

inférieure à 0 °C pendant au moins deux ans) a permis leur conservation exceptionnelle.

Grace au pergélisol, le contenu des tombes a été parfaitement préservé depuis 2 500 ans, on y trouve des objets en métal et en or, et même des matières organiques (corps momifiés, parfois couverts de tatouages magnifiques, chevaux sacrifiés, objets en bois ou cuir, vêtements, textiles, etc.). Le changement climatique met actuellement le pergélisol de l'Altai en danger. Les experts ont détecté une augmentation des températures de 2 °C au cours des 100 dernières années.



©Dmitry A. Mottl (Wikimedia)



©Al Jazeera English



©Natalya Polosmak, IAE SB RAS, Novosibirsk



©LMproduction

Altai Mountains: Climate change reveals ancient tombs

The Altai is a mountain region in Central Asia lies across the borders of Russia, Mongolia, China and Kazakhstan. Global climate change is causing a rapid melting of the Altai glaciers, permafrost, and snowfields and a loss of surface water. In 1998, the Russian part of the Altai range was designated a UNESCO World Heritage site and, in 2000, part of the site became the Katunskiy Biosphere Reserve.

The Scythians built burial tombs – known as kurgans – in the Altai region (Siberia). These are uniquely situated in a

permafrost zone. Permafrost is defined as soil that is below 0 °C for two years or more.

Due to the permafrost, the grave contents have been preserved for the last 2,500 years. They include metal and gold objects, and even organic material (mummified and sometimes beautifully tattooed human bodies, sacrificed horses, wood or leather items, clothes, textiles, etc.). However, the Altai permafrost is now endangered by climate change. Experts have detected a temperature increase of 2 °C over the past 100 years.



©JAXA



©JAXA

Mont Everest : Risque d'Inondations éruptives de lacs glaciaires dans la région

Le mont Everest est le plus haut sommet du globe (8 848 m) ; il se situe dans le Parc national de Sagarmatha, un site du Patrimoine Mondial de l'UNESCO au cœur de l'Hindou-Koush-Himalaya.

Les glaciers de l'Himalaya et ses calottes glaciaires sont considérés en Asie comme un véritable « château d'eau » ; les quelque 1,3 milliards de personnes vivant en aval utilisent cette eau pour l'agriculture, pour leur consommation ainsi que pour la production d'énergie.

Le Parc national de Samargatha abrite un des bassins hydrographiques les plus densément glacés du Népal, le

bassin du Dudh Koshi. Les glaciers de la vallée reculent et la surface totale couverte par les glaciers du bassin du Dudh Koshi a diminué de 143 km² entre 1980 et 2010, ce qui équivaut à une perte de surface de 27 %.

La fonte des glaciers entraîne le développement rapide de lacs glaciaires dont les berges sont couvertes de glace fragile et d'éboulis instables. Les inondations éruptives de lacs glaciaires (IELG) font peser une lourde menace sur la population, les infrastructures et les ressources environnementales de l'Hindou-Koush-Himalaya. Elles se produisent lorsque les berges d'un lac glaciaire cèdent et que l'eau se déverse le long des vallées.



©Ethan Welty



©Paribesh Pradhan/CIMOD



©Dorothea Stumm/CIMOD

Mount Everest: Risk of Glacial Lake Outburst Floods in the region

Mount Everest, the highest peak in the world (8,848 m), is located in Sagarmatha National Park, a UNESCO World Heritage Site in the Hindu Kush-Himalayas.

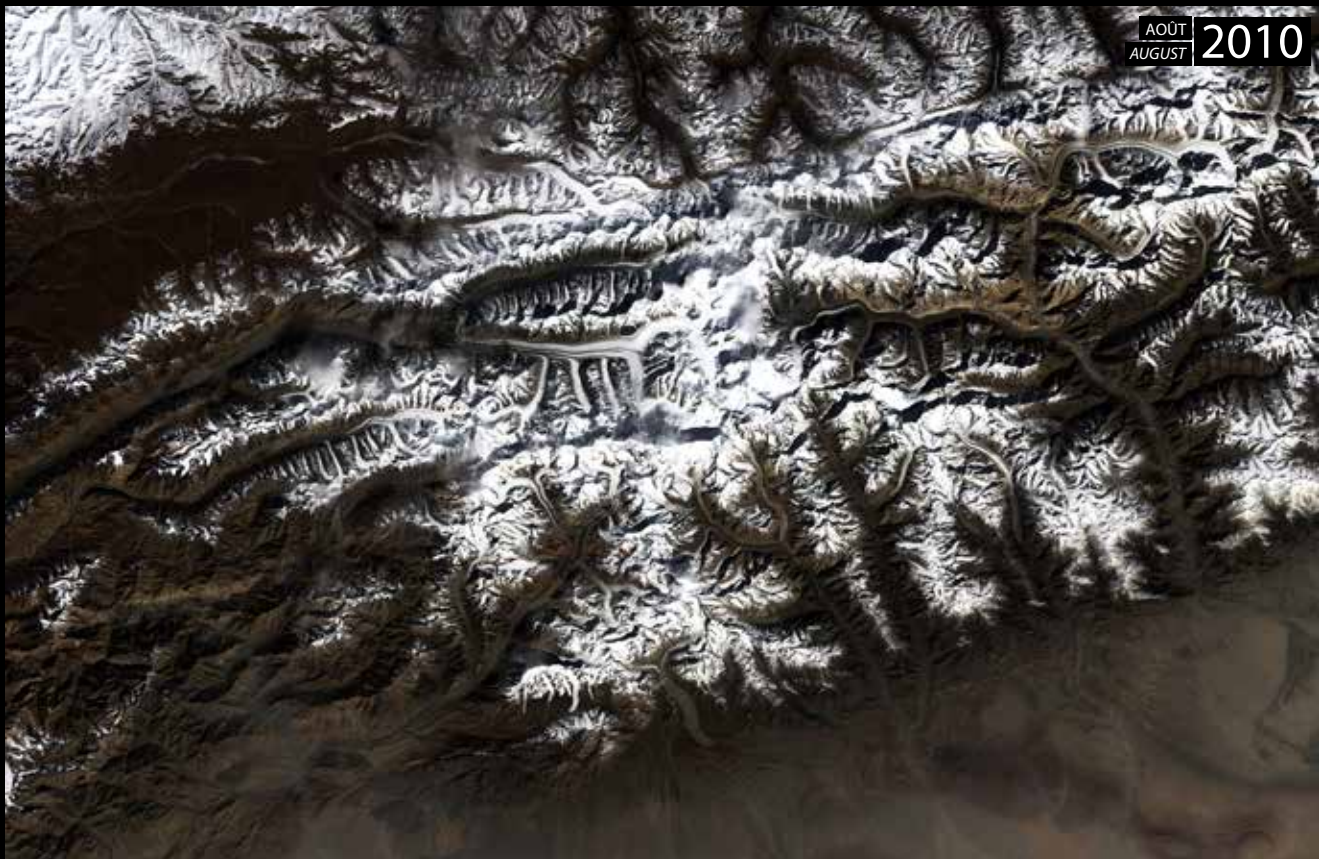
The Himalayan glaciers and ice caps are considered a “water tower” for the 1.3 billion people downstream in Asia who use it for agriculture, drinking and power production.

The Sagarmatha National Park houses one of the densely glaciated basins of Nepal, the Dudh Koshi Basin. The glaciers

in the valley are retreating and the total area covered by glaciers in the Dudh Koshi Basin declined by 143 km², which is equivalent to 27% area loss between 1980 and 2010.

Melting glaciers cause the rapid expansion of glacial lakes which are surrounded by banks of unstable ice and loose debris. Glacial Lake Outburst Floods (GLOFs) constitute serious risks for the population, infrastructure and environmental resources in the Hindu-Kush Himalayas. These occur when the lake bursts and water cascades down mountain valleys.

AOUT
AUGUST 2010



©JAXA

Tien Shan : Il en faut peu pour menacer un léopard des neiges

Les montagnes du Tien Shan constituent un des systèmes montagneux les plus importants d'Asie, et qui présente une large variété d'écosystèmes et une biodiversité riche. La région accueille de nombreuses espèces vulnérables et menacées telles que le léopard des neiges et le plus grand mouton sauvage au monde, l'Argali. Un faible changement de températures (rien qu'un très léger réchauffement) peut porter atteinte à l'écosystème fragile dans lequel ces animaux vivent.

La chaîne de montagnes est également une source importante d'eau douce pour l'Asie centrale. Selon de récentes estimations, elle abrite 7 590 glaciers,

recouvrant une surface d'environ 13 271 km² et comprenant 1 840 km³ de glace.

L'élévation des températures dans la région a conduit à un allongement de la période et à une augmentation de l'intensité de la fonte des glaces, à l'origine d'un recul des glaciers qui s'accélère à différents rythmes à travers la région. Le glacier Tuyuksu, un petit glacier de vallée dans le Tien Shan kazakh (au nord), couvre une surface de 2 451 km². Le Tuyuksu est le seul glacier du Tien Shan pour lequel de perpétuelles observations ont été mises en œuvre depuis les années 1930. Ces mesures révèlent que le glacier a été en recul quasi-permanent, avec une perte d'environ 21% de sa surface, de 1957 à 1999.



©NASA Earth Observatory



©Dennis W. Donohue



©Chirkov

Tien Shan: It doesn't take much change to threaten a snow leopard

The Tien Shan is one of the largest mountain systems in Asia and features a wide variety of ecosystems and a rich biodiversity. The region is home to many vulnerable and endangered species such as the Snow Leopard and the world's largest wild sheep, the Argali. A small change in temperature – even just a bit warmer – can harm the delicate ecosystems in which these animals live.

The mountain range is also a major source of freshwater for central Asia. According to recent estimates, it harbours 7,590 glaciers covering an area of about 13,271 km² and comprising 1,840 km³ of ice.

Heightened temperatures in the region have increased the period and intensity of snow and ice melt, and have led to accelerated retreat of glaciers at varying rates across the region. The Tuyuksu Glacier, a small valley glacier in the Kazakh (northern) Tien Shan, covers an area of 2,451 km². The Tuyuksu is the only Tien Shan glacier for which continuous observations have been taken since the 1930s. These measurements reveal that the glacier has been in nearly continuous retreat with a loss of about 21% of its area from 1957 to 1999.



AVRIL | 1994
APRIL

©JAXA



FÉVRIER | 2011
FEBRUARY

©JAXA

Mont Kenya : un château d'eau au coeur d'une région semi-aride

Situé sur l'équateur à environ 190 km au nord de Nairobi, le mont Kenya est le deuxième plus haut sommet d'Afrique (5,199m). Il était composé de 18 glaciers, 12 glaciers principaux et 4–6 secondaires. Aujourd'hui éteint, cet ancien volcan a été désigné Réserve de biosphère par l'UNESCO en 1978 et classé au Patrimoine Mondial en 1997. Au cours du XXème siècle, neuf des dix-huit glaciers que comptait le mont Kenya ont disparu, et sa couverture glaciaire s'est réduite de plus des 75%. Le glacier Lewis, le plus grand glacier du mont

Kenya, est un des glaciers tropicaux à propos desquels nous avons le plus de données ; entre 1934 et 2010, il a perdu 90 % de son volume, pour la plus grande partie au tournant du siècle. Le Mont Kenya fournit 97 % de l'énergie hydroélectrique du pays. Il est un véritable « château d'eau », fournissant de l'eau à plus de 7 millions de personnes peuplant les régions avoisinantes. Les pentes boisées dans les zones moyennes et hautes du mont constituent, avec tous les grands fleuves qui y naissent, la source la plus importante d'eau douce.



©Franco Pecchio



©FieldsportsChannel TV



©Chris 73 (Wikimedia Commons)



©CIAT

Mount Kenya : A water tower in a semi-arid region

Situated on the equator about 190 km north of Nairobi, Mount Kenya is the second-highest peak in Africa (5,199 m) and was comprised of 18 glaciers in total, 12 main and 4–6 secondary glaciers. This ancient, extinct volcano was designated a UNESCO Biosphere Reserve in 1978 and was made a World Heritage site in 1997. During the 20th Century, nine out of 18 glaciers on Mount Kenya vanished, decreasing the ice cover by more than 75%. The Lewis Glacier – Mount Kenya’s largest and one of the best-

documented tropical glaciers – decreased in volume by 90% from 1934 to 2010 with the highest rates of ice volume loss occurring around the turn of the century. Mount Kenya provides 97% of Kenya’s hydroelectric power and acts as a water tower, supplying water to over 7 million people living in the surrounding region. The forested slopes in the middle and upper zones of the mountain are the most important source of freshwater with all the major rivers in the region originating there.



©JAXA



©JAXA

Mont Kilimandjaro : La vie et les cultures des peuples sont touchées

Le mont Kilimandjaro est situé dans le Nord de la Tanzanie, non loin de la frontière avec le Kenya. Avec ses 5 895 mètres d'altitude, il s'agit du point culminant du continent africain; son sommet est composé de plusieurs glaciers. Classé au patrimoine mondial de l'UNESCO, son nom provient du swahili « Kilima Njaro » qui signifie « Montagne étincelante », en référence à sa légendaire calotte glaciaire, aujourd'hui en phase de retrait rapide. Parmi les habitants de la région, le peuple autochtone Chagga pratique depuis des siècles une culture durable sur les versants inférieurs du Kilimandjaro. Au-delà des raisons économiques, leur attachement à cet

environnement repose sur des valeurs culturelles, sociales et symboliques. L'accès aux points d'eau fut longtemps géré de façon traditionnelle par des comités de canaux, structures sociales dédiées à l'organisation de l'irrigation. Au cours des cent dernières années, environ 85 % de la calotte glaciaire du Kilimandjaro a disparu. La surface des glaciers qui couvraient 11,40 km² en 1912 est passée à seulement 1,76 km² en 2011. En plus de la fonte de la calotte glaciaire, une baisse de 30 % des précipitations et l'élévation des températures ont eu un impact considérable sur les modes de subsistance sur les versants du Kilimandjaro et dans ses forêts.



©enote



©Peter Prokosh



©munierd

Mount Kilimanjaro: Peoples' lives and cultures are being affected

Mount Kilimanjaro is located in northern Tanzania near the border with Kenya. At 5,895 m, it is Africa's highest peak and has an icy top consisting of several glaciers. A UNESCO World Heritage Site, its name derives from the Swahili words 'Kilima Njaro' which means 'shining mountain' – a reference to its legendary but now fast disappearing ice cap. Among its inhabitants are the Chagga, an Indigenous people who have been sustainably cultivating crops on the lower slopes of the Kilimanjaro for centuries. Apart from economic reasons, their attachment to the environment is

also based upon cultural, social and symbolic values. For a long time access to water in villages was traditionally managed by canal committees, a social arrangement used to organize irrigation among users. Over the last 100 years about 85% of the Kilimanjaro's ice cover has disappeared. Glaciers shrank from an area of 11.40 km² in 1912 to only 1.76 km² in 2011. In addition to the melting icecap, a 30% reduction in rainfall over the last century along with increased temperatures has affected peoples' livelihoods on the slopes and forests of Kilimanjaro.



Parc national de Glacier : Glaciers en voie de disparition

Le parc national de Glacier s'étend sur une surface de 4 000 km² et se situe au sein des montagnes Rocheuses au nord des États-Unis, près de la frontière canadienne.

Les variations de températures et des schémas de précipitations dues au changement climatique ont de fortes répercussions sur le parc national de Glacier. 83 % des glaciers ont disparu depuis la moitié du 19^{ème} siècle et les 17% restant sont en retrait. La fonte des glaciers a mis à mal l'agriculture et l'économie de la région. La pêche est touchée par le réchauffement climatique mondial ; le rendement agricole et les

pâturages déclinent des suites d'une baisse de l'approvisionnement en eau ; les incendies de forêts sont en hausse, rendant ces dernières plus vulnérables.

En 1932, le parc national des Lacs-Waterton (Alberta, Canada) et le parc national de Glacier (Montana, États-Unis d'Amérique) ont été réunis pour former le premier « parc international de la paix » du monde. Situé de part et d'autre de la frontière entre les deux pays, il offre des paysages d'une beauté exceptionnelle. Il est particulièrement riche en espèces végétales et en mammifères ainsi qu'en prairies, forêts, éléments alpins et glaciers.



©Jurg Alean



©Photosbyjam



©Snehit



©Larsek

Glacier National Park: Vanishing glaciers

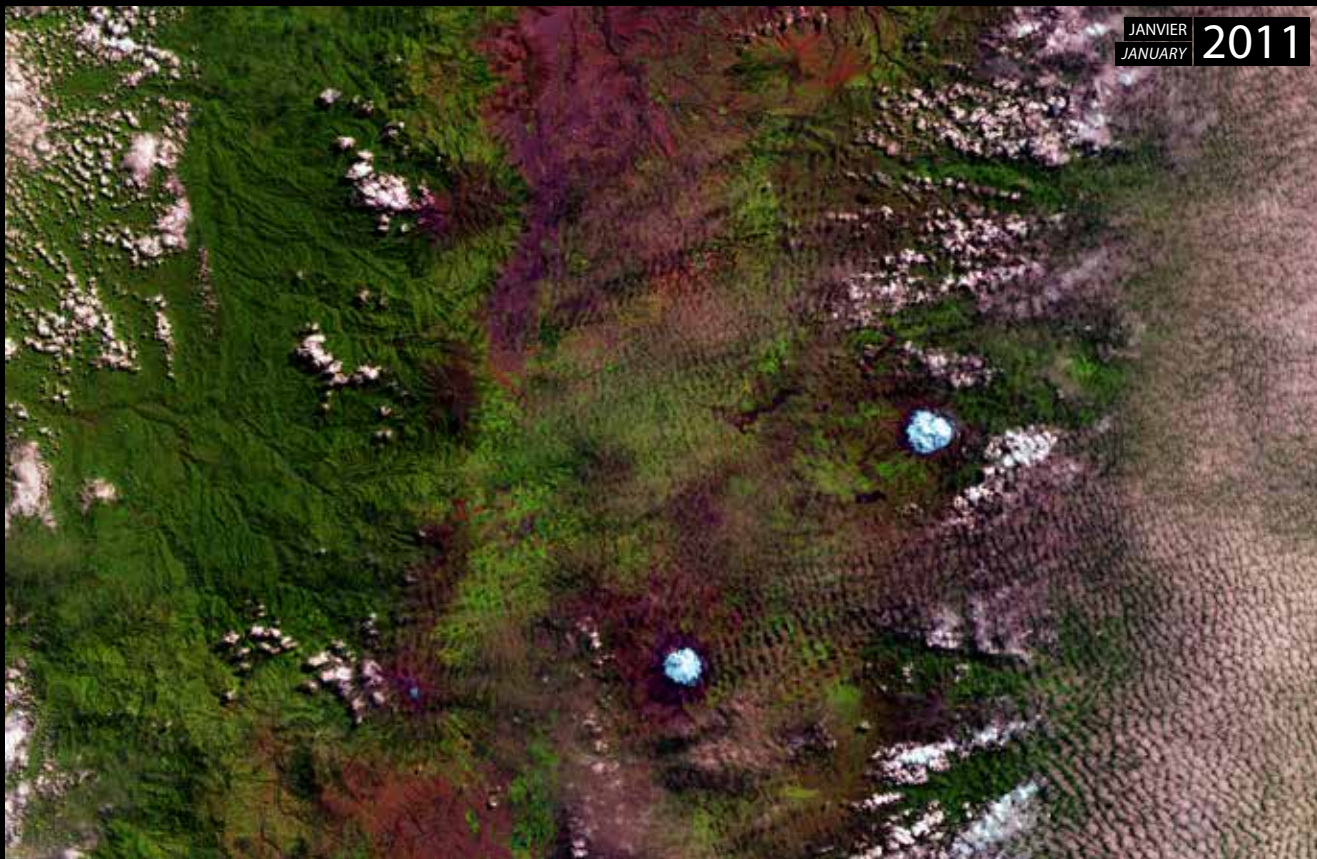
This national park covers over 4000 km² and is located within the Rocky Mountains in the north of the United States near the Canadian border.

Glacier National Park has been highly affected by climate change due to variation in temperature and precipitation. Since the middle of the 19th Century, 83% of the glaciers have vanished and the rest have retreated. The melting has negatively affected the region's agriculture and economy. The fishing industry has felt the impact of global warming, there are lower crop and pasture yields because of a lower

water supply, and increased forest vulnerability because of more wildfires.

In 1932 Waterton Lakes National Park (Alberta, Canada) was combined with the Glacier National Park (Montana, United States) to form the world's first International Peace Park. Situated on the border between the two countries and offering outstanding scenery, the park is exceptionally rich in plant and mammal species as well as prairie, forest, and alpine and glacial features.

JANVIER
JANUARY 2011



©USGS

Antisana: Les écosystèmes de páramos, des «éponges naturelles» menacées

Situé à 50 km au sud-est de Quito, l'Antisana est un des plus grands volcans d'Équateur. Culminant à 5 573m d'altitude, ce volcan coiffé d'une calotte glacière clairement délimitée est couvert de 22 km² de neige et possède 17 glaciers émissaires. Entre 1979 et 2007, les glaciers de l'Antisana ont perdu un tiers de leur superficie.

Avec le volcan voisin Cotopaxi, l'Antisana fournit la majeure partie de l'approvisionnement en eau des 1,6 millions de personnes habitant Quito. Les flancs du volcan sont couverts de páramos, des écosystèmes

de zones humides alpines de haute altitude, qui jouent un rôle d'éponge naturelle. Les páramos stockent et filtrent de grandes quantités d'eau qu'ils libèrent ensuite progressivement; ils représentent une source vitale d'approvisionnement en eau douce et jouent un rôle crucial de tampon vis-à-vis des variations des écoulements d'eau. Ces points chauds de biodiversité sont fragiles et extrêmement vulnérables au changement climatique ainsi qu'aux perturbations humaines. La hausse des températures et la diminution des précipitations vont continuer à dégrader ces écosystèmes.



©Ecuadorpostales



©Fotos593



©Ecuadorpostales



©Ruslana Iurchenko

Antisana: Páramos ecosystems, natural sponges under stress

The Antisana volcano lies 50 km southeast of Quito and is one of the largest in Ecuador. Rising 5,573 m above sea level, the volcano is topped by a well-defined ice cap and covered by 22 km² of snow and 17 outlet glaciers. Between 1979 and 2007, glaciers on the Antisana lost one-third of their surface area.

Antisana and the neighbouring Cotopaxi Volcano provide a substantial part of the water supply for Quito's 1.6 million inhabitants. The flanks of the volcano are covered with páramos, high-altitude alpine wetland

ecosystems that act as natural sponges. Storing, filtering and gradually releasing large amounts of water, the páramos act as vital suppliers of freshwater and help regulate water flows. These fragile biodiversity hotspots are extremely vulnerable to climate change and human disturbance. Higher temperatures and decreased precipitation will lead to further degradation of the páramos ecosystems. The results of recent research show that the páramos play a critical role in this region, and that further degradation will pose significant threats to safeguarding water supplies.

AOÛT | 2010
AUGUST



©JAXA

Cordillera Blanca : Fonte des glaciers tropicaux et pénuries d'eau

Le Mont Huascarán, le pic le plus élevé du Pérou (6 768 m) se situe dans la Cordillera Blanca (« cordillère blanche »), la chaîne de montagnes tropicale recouverte de glace la plus haute et la plus étendue au monde. Le parc national de Huascarán fut désigné réserve de la biosphère de l'UNESCO en 1977 et fut inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO en 1985. On estime qu'environ 22% de la zone glacière de la Cordillera Blanca a disparu entre 1970 et 2003. La plupart des petits glaciers, se situant dans des zones d'altitude moins élevées de la Cordillera Blanca, sont condamnés à disparaître dans les décennies à venir. Les glaciers du Mont Huascarán ont perdu au moins 13 km²

de glace et environ 40% de leur surface depuis 30 ans. Des recherches récentes concernant les bassins versants de la Cordillera Blanca estiment que la fonte totale des glaces de la région entraînerait une diminution du débit d'eau durant la saison sèche annuelle, allant de 30 à 60% selon le bassin en question. 2 millions d'individus se trouvent dépendants de l'eau issue du parc national de Huascarán, et sont ainsi vulnérables face aux risques de pénuries d'eau, liées notamment au débordement des lacs glaciaires. De 1941 à 2005, environ 30 000 personnes ont perdu la vie dans plus de 30 catastrophes liées aux glaciers dans la Cordillera Blanca péruvienne.



©Traveler



©sernanp



©sernanp



©Christopher Cruzet

Cordillera Blanca: Loss of tropical glaciers and water shortages

Mount Huascarán, Peru's highest peak (6,768 m) is located in the Cordillera Blanca, the world's highest and most extensively glacier-covered tropical mountain range. The Huascarán National Park was designated a UNESCO Biosphere Reserve in 1977 and a World Heritage site in 1985. It is estimated that about 22% of the glaciated area in the Cordillera Blanca disappeared between 1970 and 2003. Many of the smaller, lower-lying glaciers in the Cordillera Blanca are predicted to disappear within a few decades. Glaciers on Mount Huascarán have lost at least 13 km² of ice and about 40% of their area compared to

30 years ago. Recent research on catchments in the Cordillera Blanca suggests that the complete melting of the glaciers would lead to a decrease in annual dry season discharge of 30% to 60%, depending on the watershed. Two million people depend on water originating from the Huascarán National Park and are vulnerable to the risks of water shortages and floods, including Glacial Lake Outburst Floods. During the period 1941–2005, at least 30,000 people were killed by more than 30 glacier-related disasters in the Peruvian Cordillera Blanca.



©JAXA



©JAXA

Antarctique : Le continent de glace sonne l'alarme sur le réchauffement climatique

L'Antarctique, continent de glace du Pôle Sud, connaît des températures extrêmes pouvant descendre jusqu'à -90°C . Avec une altitude moyenne de 2 300 m, il s'agit du continent le plus élevé au monde. Les monts Transantarctiques, une chaîne qui s'étend sur environ 3 000 km, forment une frontière naturelle entre les calottes glaciaires de l'Antarctique oriental et de l'Antarctique occidental, soit un immense glacier qui constitue la calotte polaire. 30 millions de km^3 de glace y sont emmagasinés, ce qui représente 90 % de la quantité de glace à l'échelle mondiale et 75 % des réserves d'eau douce de la planète.

Chaque année en début d'hiver, alors que le froid polaire s'installe, la surface de l'océan refroidit graduellement. Les premiers lacs de glace entament leur phase de cristallisation lorsque la température de l'eau atteint $-1,8^{\circ}\text{C}$. La mer se solidifie. Puis, au fil du temps, la glace s'épaissit et les eaux entourant le continent se couvrent de plus de 19 millions de km^2 de glace. Vers la fin du printemps, la glace se délite, cédant la place aux eaux profondes de l'océan Austral.

Le cycle autrefois immuable de formation de la banquise est aujourd'hui perturbé. Au cours des 50 dernières années, les

températures moyennes de l'Antarctique ont augmenté, comme partout ailleurs sur le globe.

Les changements qui opèrent dans l'Antarctique se répercutent sur le système climatique mondial, en particulier sur les courants maritimes et les vents. La fonte de la banquise côtière risque de provoquer une élévation du niveau de la mer à l'échelle planétaire au point d'inonder les villes côtières. Ces changements pourraient s'avérer désastreux pour la faune locale qui s'est adaptée aux conditions extrêmes de l'Antarctique. La moindre variation, si infime soit-elle, pourrait menacer leur survie à long terme.

Les glaciers de l'Antarctique offrent aux scientifiques d'importantes données permettant de mieux comprendre la stabilité du climat sur une échelle de 10 000 ans grâce à l'analyse de carottes glaciaires. Il est possible de dater la glace et ses différentes couches. Plus le forage est profond et plus la glace est ancienne. De petites bulles d'air sont emprisonnées dans la glace ; l'analyse de leur composition (et en particulier de leurs niveaux en dioxyde de carbone) ainsi que d'autres paramètres essentiels vient éclairer notre compréhension des modèles climatiques antérieurs.



©Sarah Del Ben



©Bruno Jourdain



©Luc Jaquet

Antarctica: The ice continent sounds the alarm on global warming

The icy continent of Antarctica's position at the South Pole produces extreme temperatures – down to –90°C. With an average altitude of 2,300 m, it is the highest continent in the world. The Transantarctic Mountains – a range stretching about 3,000 km – naturally delineates the western and eastern ice sheets, a massive glacier forming the polar cap. Antarctica stores 30 million km³ of ice. This accounts for 90% of all the planet's ice and 75% of all freshwater.

Every year in early winter when the polar cold sets in the ocean surface cools gradually. When the water temperature drops below –1.8°C, the first ice flakes start crystallizing. The sea freezes. Then over time, it thickens and the waters around the continent are covered by more than 19 million km² of ice. Then at the end of spring, the ice crumbles and gives way to the open waters of the Southern Ocean.

Today, this previously unchanging cycle of sea ice is being disturbed. Over the last 50 years, average Antarctic temperatures have increased, just like the rest of the planet.

Changes in Antarctica affect the world's climate system, especially sea currents and winds. Melting land fast ice threatens to raise sea levels around the planet, inundating coastal cities. And the changes could be disastrous for animals living there that have adapted to extreme Antarctic conditions and any variation, even if it is very small, could threaten their long-term survival.

Glaciers in Antarctica have provided scientists with important opportunities to better understand climate stability over the last 10,000 years by analyzing ice cores. Ice can be dated back in time through its various layers and the deeper scientists drill the older the ice. Trapped in the ice are small bubbles of air and their composition, including the atmospheric carbon dioxide levels, can be measured together with many other important parameters for understanding past climates.



L'Exposition « Les montagnes : des systèmes d'alerte précoce pour le changement climatique » a été développée par le Programme hydrologique international (PHI) et le Programme sur l'homme et la biosphère (MAB) de l'UNESCO en vue des négociations de la Convention Cadre des Nations Unies de 2015 à Paris. Elle marquera le 70ème anniversaire de l'UNESCO et sera également l'occasion de commémorer le 50ème anniversaire des programmes de l'eau de l'UNESCO en contribuant à la VIIIème Phase (2014–2021) du programme du PHI « Sécurité de l'eau : réponses face aux défis locaux, régionaux et mondiaux ».

L'UNESCO souhaite remercier les partenaires suivants pour leurs généreuses contributions qui ont permis de réaliser cette exposition :

- Le gouvernement flamand (Belgique)
- La Délégation permanente de la République française auprès de l'UNESCO
- Le Gouvernement de l'Autriche, Ministère Fédéral de l'Agriculture, des Forêts, de l'Environnement et de la Gestion de l'Eau
- L'Agence d'exploration aérospatiale japonaise (JAXA)
- La Commission Géologique des États-Unis (USGS)
- Le Service de Surveillance Mondial des Glaciers (WGMS)
- Le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE)
- GRID-Arendal
- Wild Touch
- La Cité internationale universitaire de Paris
- Le Centre international pour le développement intégré des montagnes (ICIMOD)

L'UNESCO remercie également tous les auteurs et relecteurs des publications utilisées, pour leurs travaux de recherche et leurs contributions précieuses.

The Exhibition "Mountains: early warning systems for climate change" has been developed by the UNESCO International Hydrological Programme (IHP) and the Man and the Biosphere Programme (MAB) for the 2015 United Nations Framework Convention on Climate Change negotiations in Paris. It marks the 70th anniversary of UNESCO. It also commemorates the 50th anniversary of UNESCO's water programmes and contributes to the VIIIth Phase (2014–2021) of the IHP "Water security: responses to local, regional and global challenges" programme.

- *The Government of Flanders, Belgium*
- *The Permanent Delegation of the French Republic to UNESCO*
- *The Government of Austria, Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management*
- *The Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)*
- *The United States Geological Survey (USGS)*
- *World Glacier Monitoring Service (WGMS)*
- *United Nations Environment Programme (UNEP)*
- *GRID-Arendal*
- *Wild Touch*
- *Cité internationale universitaire de Paris*
- *International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD)*

UNESCO also thanks all the reviewers and authors of publications used for this exhibition for their vital research and valuable contributions.



Coordinators

UNESCO: Bárbara Ávila, María Rosa Cárdenas Tomažič, Siegfried Demuth, Peter Dogse, Anil Mishra, Kristine De Schampelaere.
GRID-Arendal: Tina Schoolmeester.

Case studies compilation

Bárbara Ávila, María Rosa Cárdenas Tomažič, Peter Dogse, Anais Leuridan, Anil Mishra, Kristine De Schampelaere.

Scientific Reviewers

Björn Alftan, Samjwal Bajracharya, Bolívar Cáceres, Gino Cassassa, Jerome Chappellaz, Patrick Ginot, Kjetil Melvold, Chrispine Omondi Juma, Georg Kaser, Francisco Mesa, Francisco Sánchez, Igor Severskiy, Arun B Shrestha, Christian Vincent, Mathias Vuille, Samuel Nussbaumer, Rainer Prinz, Yao Tandong, Koen Verbist, Pius Z. Yanda, Michael Zemp.

JAXA

Naoko Matsuo, Daisuke Tajiri, Yoshio Toukaku.

USGS

Linda Owen

GRID-Arendal

Per Magnus Andresen, Marie Halvorsen, Riccardo Pravettoni/
Cartografare il Presente, Petter Sevaldsen.

UNEP

Matthias Jurek

Translations and editing

John Crump, Nicolas Durand, Marie Laure Faber, Heloise Lenfant.

Special thanks to

Isabelle Brugnon, Anais Chagankerian, Carlos Gangoso, Yan Gavillot, Georgette Gobina, Rosanna Karam, Takahiro Konami, Barbara Lwanga Kavuma, Yo Nishimura, Vincent Van Ryssegem, Martin Wickenden.

© UNESCO 2015

Quatrième couverture/*Back cover*:
Tien Shan © JAXA 2010



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



Programme
Hydrologique
International



Man and
the Biosphere
programme

