

et les lichens finissent par laisser place à de vastes zones de sol dénudé, le désert polaire. Inversement, vers le Sud, la toundra est d'abord parsemée de quelques épicéas, puis vient une mosaïque de toundra et de forêt, et enfin la forêt boréale, la taïga. La transition entre les deux écosystèmes peut être abrupte, ou s'étendre sur des dizaines de kilomètres. En Alaska, cette frontière coïncide en grande partie avec le versant Sud de la chaîne Brooks.

Notre étude comparative exigeait donc de nouvelles photographies. En hélicoptère, munis de copies des anciens clichés, nous avons photographié à nouveau plus de 200 zones du *North Slope* au cours de quatre étés. Image après image, nous avons constaté que les arbustes, parfaitement identifiables, étaient plus gros que 60 ans plus tôt. Des bosquets s'étaient étendus dans la toundra là où la taille des arbustes était jadis inférieure à notre limite de détection, soit environ 50 centimètres de haut. Le saule, le bouleau et l'aulne, les trois principales essences de l'Arctique, avaient conquis de nouvelles surfaces et grossi. Des «troupes de choc» formées de ces arbustes avaient envahi les terrasses bordant d'anciennes rivières, colonisant des hectares de territoire en quelques décennies seulement.

L'Arctique arbustif

Sur le terrain, cette transformation s'est vue confirmée. Les arbustes qui apparaissaient comme de petites taches noires sur nos clichés étaient en fait aussi grands qu'un homme. Souvent, ils étaient entourés de groupes d'arbrisseaux, que l'arbuste semblait protéger des vents violents et des tempêtes de neige. En certains endroits, des fourrés impénétrables s'étaient formés. À la fin du deuxième été, après avoir battu la campagne à travers des dizaines de ces fourrés, nous avons qualifié ces zones

d'«Arctique arbustif». Au total, les arbustes s'étaient disséminés sur plus de 200 000 kilomètres carrés en Alaska.

Mais que se passait-il dans la toundra située hors de l'Alaska et dans les forêts de la taïga, plus au Sud ? Pour répondre à cette question, des climatologues ont utilisé les radiomètres embarqués dans les satellites météorologiques de la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). En calculant l'indice de végétation normalisé, ou NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), fondé sur la réflexion par la végétation du rouge et du proche infrarouge, ils ont découvert que la toundra verdissait, autrement dit que sa biomasse augmentait. La composante arbustive de la toundra était donc en expansion.

Cet indice de végétation augmentait davantage en Alaska arctique, à l'Ouest du Canada et en Sibérie, mais aussi en Scandinavie et dans d'autres régions de l'Arctique. D'autres collègues trouvèrent des résultats similaires, tandis que les souvenirs d'habitants de régions arctiques, en Alaska, au Canada et en Russie, confirmèrent que le nombre d'arbustes avait crû sur l'ensemble de l'Arctique.

En comparant les données satellitaires les plus récentes sur le verdissement et nos clichés aériens, nous avons découvert que la toundra compte aussi davantage d'arbrisseaux (dont la taille est inférieure à la limite de photodétection). Ces petits arbustes, situés entre les monticules, sont omniprésents et ont une certaine faculté d'adaptation : leur croissance s'accélère quand les conditions s'améliorent. Ces mini-arbustes étant déjà présents sur une vaste zone, la biomasse croît sûrement plus vite qu'auparavant.

Un tel phénomène de croissance arbustive n'est pas sans précédent. D'après les pollens retrouvés dans des carottes

Petit lexique de l'Arctique

✓ Toundra

Formation végétale de l'Arctique dépourvue d'arbres, caractérisée par une végétation dense et rase. Le sous-sol y est gelé en permanence.

✓ Taïga ou forêt boréale

Forêt caractéristique des régions situées juste au Sud du cercle polaire arctique. Elle ne s'étend pas vers le Nord au-delà d'une température moyenne du mois le plus chaud inférieure à 10 °C. Composée surtout de conifères (pins, épicéas, sapins et mélèzes) et de feuillus (peupliers faux-trembles, bouleaux, saules) le long des cours d'eau, elle constitue le plus vaste écosystème du monde.

✓ Albédo

Fraction de la lumière reçue qui est réfléchiée par un corps ou une surface. La neige et la glace, excellents réflecteurs, renvoient dans l'espace, selon leur âge, entre 50 et 90 pour cent de la lumière solaire, limitant ainsi le réchauffement du sol.

2. LA FONTE DU PERGÉLISOL

provoque la formation de ravines typiques d'une morphologie géologique nommée thermokarst. Ces structures, photographiées ici dans les années 1940 par la marine américaine le long de la rivière Colville, sur le flanc Nord de la chaîne Brooks, accumulent de la neige, et influencent le régime hydrologique de la toundra.





U.S. Navy



Ken Tape

3. EN COMPARANT DES PHOTOGRAPHIES

prises dans le Nord de l'Alaska, l'une dans les années 1940 (*en haut*) et l'autre à la même époque de l'année au début des années 2000, nous avons constaté que la couverture végétale augmentait. La seconde photographie, datant de 2002, montre des arbustes de la taille d'un homme, sortes de « troupes de choc » qui progressent sur la toundra (*rectangle blanc*), là où ils n'existaient pas 60 ans plus tôt.

de sédiments, les arbustes ont envahi la toundra il y a environ 8000 ans, un phénomène connu sous le terme d'« explosion de bouleaux ». Les données satellitaires ont fourni un résultat encore plus surprenant pour la taïga. Bien que des études aient confirmé que le front d'arbres se déplace vers le Nord et en altitude, les forêts perdent de la biomasse et deviennent moins productives à l'arrière de ce front. Elles brunissent tandis que la toundra verdit, ce qui semble contredire l'idée que la forêt réagit au réchauffement climatique en augmentant sa biomasse.

Il y a une dizaine d'années, Glenn Juday et Martin Wilmking, alors à l'Université de Fairbanks, ont rassemblé des échantillons d'anneaux de croissance d'arbres de la région. Au lieu que des températures plus élevées améliorent le développement, et par conséquent l'épaisseur des anneaux de croissance, ils ont constaté que les cernes de croissance étaient plus petits, ce qui montre que ces arbres avaient poussé plus lentement. En effet, dans l'Ouest de l'Alaska, où le temps est plus humide, les arbres se développent plus vite lorsque la température augmente ; mais à l'Est, le pays est plus sec en été, de sorte que les peuplements d'arbres poussent moins vite, voire dépérissent si l'été est très chaud.

À partir des mesures d'anneaux de croissance qu'ils ont pu retrouver, deux autres spécialistes de dendrochronologie ont confirmé que le brunissement de la

taïga concerne bien toute la région arctique et toutes les espèces d'arbres. Le brunissement s'observe le plus souvent dans des sites secs et dans la partie méridionale du domaine de chaque espèce. On peut en conclure que la sécheresse et la chaleur sont les principaux coupables.

Un brunissement généralisé

Deux autres causes sont en jeu, vraisemblablement liées au réchauffement climatique : la fréquence et l'intensité des feux de forêts et des invasions d'insectes. En Alaska, les grands feux de forêt semblent survenir tous les cinq ans environ, alors que leur fréquence était auparavant plus proche de dix ans. Les attaques d'insectes, tel le dendroctone de l'épinette (*Dendroctonus rufipennis*), ont ravagé plus de 500 000 hectares de forêt en Alaska ces 30 dernières années. Elles semblent s'intensifier depuis, en raison d'hivers plus doux et d'étés plus chauds qui favorisent la survie des larves et accélèrent le cycle de vie des insectes.

Les forêts boréales ont gagné, selon les estimations, 11 600 kilomètres carrés sur la bordure Sud de la toundra en 50 ans. Mais durant la même période, elles se sont asséchées, ont brûlé et ont été endommagées au Sud du front de progression. Ces évolutions contraires risquent de transformer la forêt en prairie. Dans le même temps, les arbustes se multiplient

✓ SUR LE WEB

Arctic Climate Impact Assessment (ACIA) : <http://amap.no/acia/>

ArcticNet : <http://www.arcticnet.ulaval.ca/index-fr.php>

State of the Arctic Conference 2010 : <http://soa.arcus.org/>

International Tundra experiment (ITEX) : <http://www.geog.ubc.ca/itex/>

Quelques autres clichés pris en Alaska par la marine américaine : <http://www.ScientificAmerican.com/arctic-plants>