



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>

dans la toundra. La forêt va-t-elle se métamorphoser en toundra, et cette formation végétale en forêt ?

Nous comprenons encore mal les mécanismes de ces évolutions. Les modèles prédictifs sont imparfaits. Ainsi, alors que la glace de mer dans l'Arctique suit des lois physiques, la quantité de glace a diminué deux fois plus vite que ne le prévoyaient 13 des meilleurs modèles à grande échelle. Selon les prévisions actuelles, l'océan Arctique aura perdu ses glaces d'ici 40 ans, mais ces prévisions sont plus des extrapolations des changements observés que les résultats de modèles.

Quant à la toundra et à la taïga, leur complexité biologique et les mécanismes parfois opposés qui contrôlent la croissance végétale empêchent les modèles actuels de fournir des prévisions précises.

Une croissance ancienne qui s'accélère

Nous avons essayé d'aborder ce problème pour les arbustes de la toundra en utilisant un modèle simple de croissance et notre étude comparative des photographies aériennes. Nous nous attendions à ce que l'expansion de la toundra arbustive coïncide avec le réchauffement rapide de l'Arctique, qui s'est produit depuis les années 1970. Mais le modèle indiquait qu'elle avait commencé il y a 150 ans environ, à la fin du « Petit Âge glaciaire » qui a marqué l'Europe et l'Amérique du Nord

de 1550 à 1860. Cela correspondait exactement à la première apparition, dans la région du *North Slope*, des élans, qui broutent les arbustes.

Ainsi, les arbustes ont progressé lentement en réponse à un cycle de réchauffement naturel amorcé bien avant la révolution industrielle. Cependant, d'autres indices suggèrent que cette expansion se poursuit et s'accélère, en raison du réchauffement dû aux activités humaines. Durant 40 ans, dans les régions où les arbustes se sont multipliés, les glaciers ont reculé, le réchauffement du pergélisol s'est accéléré et le printemps commence plus tôt, comme l'indiquent les dates de gel et de dégel des rivières et des lacs. Malheureusement, il est peu probable que nous trouvions une collection de photographies datant des années 1900, ce dont nous aurions besoin pour établir que l'expansion des arbustes s'est accélérée depuis 1950.

Le même modèle prévoit qu'il faudra 150 ans pour que les zones de toundra arbustive soient complètement recouvertes d'arbustes ; là où la toundra reste rase, cela prendra encore plus de temps. Toutefois, ces prévisions ne prennent pas en compte les effets catastrophiques des incendies, qui pourraient modifier la végétation : les arbustes ont tendance à prospérer dans les zones perturbées par le feu. Et il existe sans doute des rétroactions qui pourraient accélérer le changement.

Je crois que le paysage de toundra risque de changer bien plus vite que ne le prévoit notre modèle grossier, en raison

✓ BIBLIOGRAPHIE

A. L. Swann *et al.*, *Changes in Arctic vegetation amplify high-latitude warming through the greenhouse effect*, *PNAS*, vol. 107, pp. 1297-1300, 2010.

H. Balzter, *Environmental Change in Siberia*. *Earth Observation, Field Studies and Modelling*, Springer, 300 p., 2010.

B. C. Forbes *et al.*, *Russian arctic warming and « greening » are closely tracked by tundra shrub willows*, *Global Change Biology*, vol. 16, pp. 1542-1554, 2009.

J. M. G. Hudson et G. H. R. Henry, *Increased plant biomass in a high Arctic heath community from 1981 to 2008*, *Ecology*, vol. 90, pp. 2657-2663, 2009.

D. Blok *et al.*, *Shrub expansion may reduce summer permafrost thaw in Siberian tundra*, *Global Change Biology*, vol. 16, pp. 1296-1305, 2009.

D. Verbyla, *The greening and browning of Alaska based on 1982-2003 satellite data*, *Global Ecology and Biogeography*, vol. 17, pp. 547-555, 2008.



Gastus Shaver/Marine Biological Laboratory



4. EN SERRE, SI L'ON RÉCHAUFFE le sol, les arbustes de la toundra poussent jusqu'à hauteur d'homme (*ci-dessus, le toit de la serre a été enlevé*). Ceux qui poussent sur un sol non chauffé ne dépassent pas 50 centimètres. Dans la nature (*à gauche*), de plus en plus d'arbustes atteignent une hauteur d'homme. Ces arbustes protégeraient les plus petits du vent et de la neige et favoriseraient une croissance en cercles concentriques autour d'eux (*lignes jaunes*).

La Sibérie brûle aussi

La recrudescence des feux de forêts et de toundra touche d'autres régions que l'Alaska. Ainsi, en Russie, où la forêt occupe 800 millions d'hectares, soit 47 pour cent du territoire, on a enregistré en 2010 près de 30 000 incendies. Plus de 11 millions d'hectares se sont consumés, d'après le Centre global de suivi des incendies (GPMC), à Freiburg.

Le feu de forêt ou de toundra est banal en Russie. L'année 2010 n'est exceptionnelle que par la canicule qui a sévi en juillet (jusqu'à 42 °C dans certaines régions) et parce que les incendies ont frappé les régions urbanisées, provoquant une cinquantaine de morts. En 2009, au contraire, la majorité des feux (15 millions d'hectares) ont concerné les zones peu habitées de Sibérie orientale, comme c'est le cas généralement.

Depuis une vingtaine d'années, les incendies touchent des régions de plus en plus septentrionales, tels la Yakoutie, au Nord-Est de la Sibérie, et le Kamtchatka, en Extrême-Orient. En

outre, ils sont plus précoces, se manifestant dès mars, ce qui surprend les populations, habituées à de longs hivers. Un climat plus chaud et sec augmente le risque naturel d'incendie. De fait, une équipe de l'Institut Sukachev de la forêt a montré en 2005 que la probabilité qu'une même zone de Sibérie soit touchée par un feu était d'une fois tous les 100 ans au XX^e siècle, alors qu'elle est aujourd'hui d'une fois tous les 65 ans, en moyenne. Selon le Centre Hadley de météorologie du Royaume-Uni, la forêt boréale pourrait être remplacée progressivement par une végétation arbustive de steppe. On a observé par ailleurs, en Yakoutie, que les feux de toundra sont plus fréquents.

Quelles sont les causes des feux de forêt en Russie ? La première est la combustion spontanée des tourbières. Ces écosystèmes émettent des gaz qui tendent à s'enflammer par forte chaleur ; les feux y couvent et peuvent se propager aux forêts voisines. La foudre est l'autre facteur déclenchant. Les activi-

tés humaines et les pyromanes viennent en troisième lieu, sauf en 2010 où les incendies ont touché plus de zones habitées que d'ordinaire. La désorganisation du système de gestion centralisé de forêts qui prévalait jusqu'en 2000 a été aussi montrée du doigt, à juste titre.

Les conséquences des feux de forêts varient selon les régions. À l'Est, où la forêt est exploitée par des sociétés russes et coréennes, la surface forestière tend à augmenter. On manque de données pour le reste du territoire. Quoi qu'il en soit, la population russe commence à prendre conscience du risque de voir partir en fumée sa forêt. Celle-ci n'est plus une « mer sans fin », les feux qui l'embrassent ont désormais des conséquences tangibles. Avec les incendies de 2010, et alors que le réchauffement accentue ce risque naturel, il est possible que la Russie réfléchisse enfin aux moyens de gérer durablement ses forêts.

Marie-Hélène Mandrillon,
CERCEC, CNRS-EHESS, Paris

des incendies. Par exemple, de juillet à septembre 2007, au cours d'une saison exceptionnellement sèche, le plus grand incendie de toundra jamais enregistré, provoqué par la foudre, a consumé plus de 100 000 hectares du *North Slope*. En 2009, en de nombreux endroits, des arbustes avaient déjà repoussé. Dans des zones de toundra brûlées auparavant, à l'Ouest de l'Alaska, l'étendue de la couverture arbustive a été multipliée par huit en 30 ans. Or une augmentation des impacts de foudre et de la sécheresse risque de déclencher plus d'incendies. En outre, les arbustes, avec leur biomasse et leurs ramifications plus importantes, brûlent facilement, ce qui accroît le risque.

Parmi les autres effets rétroactifs qui peuvent stimuler la croissance des arbustes dans la toundra, deux sont liés à la couverture neigeuse hivernale. Il peut sembler paradoxal que l'hiver favorise la croissance des arbustes, puisque ceux-ci grandissent en été. En fait, l'hiver influe sur les conditions du sol et la quantité d'eau disponible pour la saison suivante. La toundra est recouverte de neige neuf mois par an, et la taïga sept mois.

Quand la neige réchauffe

Là où des arbustes arrivent à recouvrir tous les monticules de la toundra, ils « piègent » la neige, produisant des congères qui épaississent la couverture neigeuse autour d'eux. La neige est un excellent isolant : une couche de neige peut contenir jusqu'à 75 pour cent d'air. Là où elle est plus épaisse et donc plus isolante, les températures du sol sont plus élevées qu'elles ne le seraient autrement.

Ainsi, dans certaines zones arbustives, nous avons mesuré des températures à la base de la couche de neige supérieures de 10 °C à celles des zones adjacentes. Cette douceur prolonge l'action des micro-organismes du sol au cours de l'hiver et favorise la dégradation de la matière organique en éléments nutritifs. Les arbustes peuvent stocker davantage de nutriments. Quand vient l'été, ils sont plus robustes, croissent vigoureusement et deviennent plus grands ; ils peuvent alors piéger plus de neige l'hiver suivant, renforçant le processus.

L'autre effet rétroactif lié à la neige provient de l'albédo, c'est-à-dire de sa réflectivité. Les branches noires des grands



Alaska Stock

5. LES GRANDS INCENDIES DE FORÊT semblent survenir plus fréquemment dans les régions arctiques, et ils sont plus intenses. Ces feux, ainsi que les dégâts causés sur des dizaines de millions d'arbres par les insectes, ont pour effet de « brunir » la forêt boréale. Or les arbustes prospèrent dans ces zones brûlées. Leurs ramifications plus importantes augmentent le risque d'incendies de grande envergure et, par-là, la probabilité que les arbustes prolifèrent encore.