

A background image showing a microscopic view of snowflakes. The snowflakes are intricate, six-sided crystalline structures with various patterns and textures. They are set against a dark background, which makes their white and light blue colors stand out. The snowflakes are scattered across the frame, with some appearing larger and more detailed than others. The overall effect is one of natural beauty and scientific complexity.

LA RECHERCHE

DANS LE RÉSEAU DE L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

La science sous zéro

L'hiver, un défi d'adaptation
sans cesse renouvelé

Éditorial

En voie de disparition?

«On n'a jamais l'hiver qu'on veut», chante Gilles Vigneault. Nous avons en effet une étrange relation avec cette saison de moins en moins froide, de moins en moins enneigée et de plus en plus courte. Pourtant, l'hiver est notre allié. Il nous a lancé un formidable défi d'adaptation et il nous force à élaborer une science distincte ainsi que singulière. À preuve, les remarquables progrès touchant les infrastructures de transport, les approvisionnements énergétiques, la recherche de nouveaux matériaux, l'architecture ou les prévisions météorologiques.

Arrivons-nous pour autant à bien vivre avec nos hivers? Pas certain. Qui prend des vacances au Québec en janvier ou en février?

En ville, on veut des rues parfaitement déneigées, des terrasses chauffées. Tout juste si on ne réclame pas des quartiers sous cloche de verre! Nier l'hiver, c'est s'imaginer vivre ailleurs; c'est devenir apatride.

Bien sûr, il y a toujours une limite à endurer des hivers pourris – pas de neige, juste de la pluie glaciale, transformée au sol en verglas qui tourne à la névasse sale et salée. Ces hivers-là ne seraient-ils pas une conséquence des changements climatiques? Il faut donc sauver les vrais, les blancs; les hivers vivables! C'est aujourd'hui devenu ni plus ni moins qu'une bataille écologique.

Ce dossier est inséré dans le numéro de décembre 2014 du magazine *Québec Science*. Il a été financé par l'Université du Québec et produit par le magazine *Québec Science*.

Le comité éditorial était formé de :

Sylvie B. de Grosbois (UQAM)
Sébastien Charles (UQTR)
Stéphane Allaire (UQAC)
Frédéric Descheneaux (UQAR)
André Manseau (UQO)
Maryse Delisle (UQAT)
Josée Charest (INRS)
Josée Gauthier (ENAP)
Sébastien Rodrigue-Prive (ETS)
Éric Lamiot (TÉLUQ)
Céline Poncelin de Raucourt (UQ)
Valérie Reuillard (UQ)
David H. Mercier (UQ)
Raymond Lemieux (Québec Science)

Coordination:

Raymond Lemieux et Valérie Reuillard

Rédaction:

Marine Corniou, Dominique Forget, Joël Leblanc, Binh An Vu Van

Graphisme:

François Émond

Révision: Hélène Matteau

Correction-révision:

Luc Asselin

Bibliothèque nationale du Canada:

ISSN-0021-6127

Sommaire



III QUEL TEMPS EN 2100?

Pour mieux voir l'évolution climatique, les chercheurs recréent une planète à l'ordinateur.

VI L'ÉRABLE À SUCRE, UN MODÈLE

L'arbre emblème aurait du mal à s'enraciner plus au nord.

VI AU PARADIS DE LA MOUSSE

Un élément essentiel pour le maintien du pergélisol.

VII LE SECRET DE LA MÉSANGE

On connaît assez bien les mécanismes qui permettent aux oiseaux de survivre à l'hiver. Mais comment réagissent-ils aux redoux imprévisibles? Les mésanges de la forêt Macpès, à Rimouski, devraient bientôt nous donner la réponse.

VIII DES TECHNOLOGIES POUR

AFFRONTER L'HIVER

Nos voitures, nos routes, nos lignes électriques, nos éoliennes arriveront-elles un jour à faire fi du froid, du gel et du givre? Des ingénieurs québécois s'attaquent à la question.



XII LE PÈRE NOËL EST-IL CANADIEN ?

Professeur à l'École nationale d'administration publique, le politologue Stéphane Roussel se passionne pour les questions de souveraineté et de sécurité dans le Grand Nord.



QUEL TEMPS EN 2100 ?

Pour mieux voir l'évolution climatique, les chercheurs recréent une planète à l'ordinateur.

Par Binh An Vu Van

Une « brique » de 2 500 pages, résultat de la contribution de plus de 2 000 scientifiques ayant décortiqué près de 20 000 études et projections climatiques. Tel est le cinquième rapport du Groupe d'experts international sur l'évolution du climat (GIEC), dont la dernière version paraissait en mars 2014.

Le document est un concentré des connaissances actuelles sur l'avenir du climat planétaire, sur les effets des changements de température et sur de possibles mesures d'atténuation. On y lit que les humains sont certainement les responsables du réchauffement. Une augmentation de 2,6 °C à 4,8 °C est prévue pour la fin du siècle, de même qu'une élévation du niveau des océans variant entre 26 cm et 82 cm, selon les scénarios. Il y aura augmentation des précipitations aux pôles et elles diminueront dans les régions déjà arides.

René Laprise, directeur des études de 2^e cycle en science de l'atmosphère et chercheur au Centre pour l'étude et la simulation du climat à l'échelle régionale (ESCER) à l'Université du Québec à Montréal (UQAM), a participé activement à la rédaction d'une précédente version du rapport. Ce qu'il a trouvé le plus intéressant dans la nouvelle mouture? « C'est justement ce qui a déplu aux journalistes! On y démontre qu'il y a peu de

changements dans les projections. En dépit de modèles informatiques plus raffinés, et d'une puissance de calcul accrue, on obtient les mêmes résultats! »

Et ce n'est pas d'hier qu'on connaît le rôle des gaz à effet de serre sur l'avenir climatique. Le tout premier article sur le sujet remonte à 1896! Déjà, son auteur, le chimiste suédois Svante Arrhenius, estimait, à partir de quelques équations simples, que la température terrestre moyenne augmenterait de 5 °C (soit à peine plus que les 4,8 °C calculés par le GIEC) si les rejets de CO₂ doublaient à cause des activités humaines. Dans les années 1960, les premiers modèles informatiques ont à leur tour prédit que ce réchauffement se produirait particulièrement en Arctique et que la haute atmosphère se refroidirait pendant que la basse atmosphère verrait grimper sa température. Ces projections, fruit d'une science infiniment moins avancée que celle qui fonde le rapport du GIEC, se sont avérées. « La recherche s'est complexifiée, mais le message des scientifiques est demeuré le même. On le dit simplement avec de plus en plus de certitude », renchérit Dominique Paquin, spécialiste en simulations et analyses climatiques au consortium OURANOS.

« Prévoir le climat de la planète n'est conceptuellement pas plus difficile que prévoir le déplacement d'une boule de billard, illustre René Laprise, si on connaît la position initiale de l'objet, son poids, sa masse, la force avec

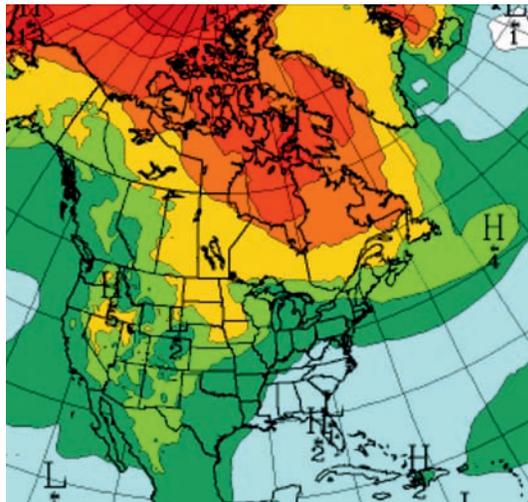
L'équipe du Centre pour l'étude et la simulation du climat à l'échelle régionale de l'UQAM. De gauche à droite : Sushama Laxmi, René Laprise, Dominique Paquin et Julie Thériault

laquelle on va la frapper et le frottement sur la table.»

Le climat de la planète est évidemment un système plus complexe, affecté par davantage de facteurs. Aussi, pour évaluer l'évolution du climat, les scientifiques comme René Laprise modélisent-ils, dans leurs ordinateurs, la planète – ou encore un continent. Ils commencent par l'atmosphère : les vents, les températures, la pression, etc. Ils ajoutent les éléments, comme la dynamique des océans, les radiations solaires ou le cycle du carbone, qui peuvent influencer le climat. Les chercheurs vont aussi programmer les grands principes physiques – comme la conservation de l'énergie – qui dictent les mouvements des masses d'air et d'eau. Quant aux

Le monde à différentes échelles

Il existe deux grands types de modèles climatiques. D'abord, les modèles mondiaux qui recréent la planète au complet; puis, il y a les modèles régionaux qui simulent un territoire limité ou un continent, en plus haute définition. Ces derniers doivent relever l'immense défi théorique consistant à assimiler les données générées par les modèles mondiaux aux frontières de leur territoire. Au Canada, un modèle planétaire est développé à Vancouver, tandis que René Laprise, à Montréal, au Centre ESCER, peaufine le modèle régional climatique canadien (MRCC).



Changements projetés pour la température hivernale en Amérique du Nord avec le modèle régional canadien du climat développé à l'UQAM. Plus le réchauffement est prononcé, plus la couleur va vers le rouge.

activités humaines, difficiles à prévoir, les scientifiques travaillent sur un éventail de projections, depuis les plus optimistes – si nous réduisons radicalement nos émissions de gaz à effet de serre – jusqu'aux plus pessimistes – advenant que nous choisissons le statu quo.

Une fois la planète recréée, il est temps de la faire tourner. Pour la démarrer, les chercheurs choisissent une année dans le passé et introduisent dans le modèle les conditions climatiques telles qu'elles étaient alors, selon les enregistrements historiques. «Disons que nous amorçons la simulation au 1^{er} janvier 1950. L'ordinateur résout toutes les équations, puis rend l'état du climat, à chaque point de grille du globe, à 00 h 15 le même jour, puis à 00 h 30, et ainsi de suite, par tranches de un quart d'heure, jusqu'en 2100!» explique Dominique Paquin. Ensuite, ils n'ont plus qu'à attendre. Ils laissent leur planète virtuelle évoluer librement et les lois de la physique agir. Ainsi, le Soleil numérique réchauffe l'atmosphère et le CO₂ s'accumule. Les superordinateurs effectueront ainsi leurs calculs pendant plusieurs mois pour une seule

projection. Si elle est bien construite et si toutes les forces sont en place, la simulation reproduira l'histoire climatique des dernières décennies. Même La Niña et El Niño devraient apparaître à l'occasion : «Leur fréquence et leur durée ne sont pas exactes. Dans les modèles, ces phénomènes surviennent parfois aux sept à huit ans, parfois quatre ou cinq; alors que, selon les observations, ils apparaissent plutôt aux cinq à sept ans», précise Dominique Paquin.

Bien sûr, les modèles informatiques ne sont ni exacts ni parfaits; aucun ne reproduit absolument la réalité. «Un modèle parfait exigerait de la part des ordinateurs une quantité infinie de calculs», explique René Laprise. Les bâtisseurs de planètes numériques doivent donc évacuer des détails, faire des approximations. C'est pour cette raison que le GIEC, quand il établit ses projections officielles, tient compte d'une cinquantaine de modèles créés par différents laboratoires dans le monde. Parmi ceux-là, le modèle régional canadien se démarque par sa capacité surprenante à reproduire fidèlement les cycles journaliers de pluie. «Il semble être vraiment le meilleur! Mais nous n'avons pas encore compris pourquoi, dit René Laprise. Par exemple, dans certaines régions du Québec, les pluies surviennent en fin d'après-midi; ailleurs, c'est autour de minuit. En testant nos simulations, même sur le climat africain, nous constatons que notre modèle fait apparaître correctement – c'est-à-dire en concordance avec les observations sur le terrain – les pics de précipitations!»

Les modèles climatiques sont des machines à voyager dans le passé plutôt que dans le futur. Les simulations représentant l'avenir ne consistent que 10% du travail. En réalité, la principale tâche des équipes de René Laprise et de Dominique Paquin est d'établir le diagnostic des modèles, de les «faire rouler» sur le passé, afin de s'assurer qu'ils reproduisent bien le climat connu. «La recherche sur les modèles climatiques est soumise à un degré de validation incroyable, comme on n'en retrouve dans aucun autre domaine», observe d'ailleurs le scientifique.

Un exemple, l'équipe de René Laprise a décelé un travers systématique du modèle régional climatique canadien (MRCC): «Pour des projections sur 30 ou 50 ans, il avait toujours tendance à être de 2°C trop chaud, en hiver.» Pourquoi? «Nous avons cherché pendant presque une année! Et nous avons trouvé: le modèle fonctionnait comme si les arbres de la forêt boréale couvraient 100% du territoire forestier!» Un paramètre avait été négligé: la forêt peut présenter des éclaircies, exposant des surfaces enneigées, et la cime des arbres peut se couvrir de neige. Or, une végétation foncée reflète seulement 15% de la chaleur solaire, alors que la neige en renvoie 90%. Une différence telle qu'elle fausse les projections. Comme on



Noël en 2100

Neigera-t-il le 25 décembre 2100? Ne posez pas la question aux climatologues! Comme ils doivent le rappeler sans cesse, leur science ne leur permet pas de prédire l'occurrence d'événements précis comme une tempête de neige, mais bien d'obtenir des portraits statistiques généraux sur des périodes de plusieurs années. Il en va de même pour leurs collègues météorologues qui, eux, ne peuvent prédire que le temps des prochains jours. Et encore...

Mais, beau joueur, le chercheur René Laprise, qui travaille aussi au Réseau canadien de modélisation et diagnostics du climat régional (MDCR), se prête à l'exercice. «Les hivers seront plus chauds et plus courts, avec encore des températures sous zéro, dit-il en rappelant les conclusions de ses analyses climatiques. En outre, l'atmosphère sera plus chargée d'eau, les précipitations seront donc plus intenses. Alors, s'il y a des chutes de neige, elles seront plus importantes. Qu'est-ce qui l'emportera: le raccourcissement des hivers ou l'augmentation des précipitations? Des hivers plus courts!»

le voit, pour que la recherche en climatologie ne s'enferme pas dans ses milliers de lignes de code, elle doit se comparer aux mesures prises sur le terrain. Aussi les chercheurs d'OURANOS collaborent-ils notamment avec Hydro-Québec, en confrontant les résultats des modélisations avec le cycle hydrologique mesuré (parfois depuis 1960) de certains bassins versants, comme celui de La Grande ou de Caniapiscau. «Les simulations sont évaluées par rapport aux mesures historiques des températures, des précipitations, des glaces marines, des eaux, des radiations. Elles sont aussi comparées aux images satellites, notamment en ce qui concerne l'étendue des nappes de neige», précise Dominique Paquin.

Les modèles se sont considérablement perfectionnés depuis que René Laprise a créé, dans les années 1990, le tout premier modèle régional canadien qui en est à présent à sa cinquième version. Et les chercheurs continuent d'en raffiner les processus. «Autrefois, par exemple, on ne considérait les sols que comme une frontière de l'atmosphère qui se contentait de réfléchir la chaleur. Aujourd'hui, les modèles intègrent les phénomènes hydrologiques, biogéochimiques et les échanges de carbone», explique **Sushama Laxmi**, aussi chercheuse au centre ESCER et titulaire de la Chaire de recherche du Canada en modélisation régionale du climat. Son équipe détaille les processus terrestres des modèles canadiens. Et elle est notamment en train d'y introduire un nouveau volet, celui de la végétation dite «dynamique». «Autrefois, dans nos modèles, dit René Laprise, la végé-

tation était influencée par le climat, mais elle ne pouvait en retour influencer le climat. À présent, la végétation peut elle aussi se transformer en modifiant le cycle du carbone. Chaque couche de sol a son propre profil de température et d'humidité; la profondeur à laquelle pénètre la pluie dépend du type de végétation et des racines; et la densité de la canopée évolue au fil des saisons et affecte la quantité d'eau qui tombe au sol.»

Autre projet d'importance du modèle régional: greffer une modélisation de la dynamique des océans. «En ce moment, explique René Laprise, les données sur l'océan proviennent du modèle mondial, car nous ne disposons que de peu de données fiables à ce sujet au Canada.» Mais le modèle mondial, peu défini, reproduit mal des processus précis comme l'influence du Gulf Stream. Les chercheurs enrichissent donc leurs connaissances grâce au réseau de sondes ARGO. Ce réseau rassemble 3 000 sondes autonomes, dispersées sur tous les océans, qui plongent jusqu'à 2 000 m de profondeur, mesurant régulièrement température et salinité.

Même avec leurs nouveaux paramètres – nuages, glaciers, lacs, forêts, océans et rivières –, les modèles ne chambouleront pas la vision actuelle du futur climatique: «Je suis satisfait de nos progrès, même si, parfois, je trouve que ça n'avance pas assez vite. Mais c'est ainsi que la science évolue», remarque René Laprise qui travaille sur ces modèles depuis 25 ans. Et, pour les chasseurs de primeurs, il ajoute: «Il n'y aura pas, à mon avis, de nouvelles révélations bouleversantes dans les prochaines années.» Mais avons-nous besoin d'encre plus de précisions avant d'agir? ■

AUTOUR DE ZÉRO

Une mosaïque de *post-it* encadre l'écran d'ordinateur de **Julie Thériault**, dans son petit bureau de l'UQAM. La jeune chercheuse au Département des sciences de la Terre a griffonné dessus des dates et des lieux de récentes tempêtes. «Fin mars au Nouveau-Brunswick, il y a eu une bonne tempête, avec beaucoup de pluie verglaçante; une autre à Toronto avant Noël», peut-on y lire, par exemple. Lorsqu'il tombe un mélange de pluie, de grésil et de glace, qui se transforme au sol en «sloche» – en névase, si on préfère –, Julie Thériault est sans doute l'une des seules personnes au pays à s'en réjouir. Car le phénomène lui fournit des données pour mieux comprendre ces tempêtes mal aimées. Elle a passé ses années d'études à courir ces événements pour les observer, développant un œil exercé à distinguer la pluie verglaçante de la neige qui fondra au sol. À présent, elle traduit leurs données physiques en algorithmes informatiques. «Je m'intéresse aux processus de formation des précipitations hivernales à des températures oscillant autour de zéro pour comprendre dans quelles conditions se constitueront le grésil ou la pluie verglaçante.» Pour y arriver, Julie Thériault tient compte des types de nuages, des particules en suspension, de la température de l'air à différentes altitudes et d'une foule d'autres facteurs: «S'il y a de la pluie au sud et de la neige au nord, où se trouvera la bande de transition? De quelle largeur sera-t-elle?» Des questions futiles pour le citadin aux pieds mouillés, mais cruciales pour Hydro-Québec ou les compagnies de transport. Incontournables aussi pour les futurs modèles climatiques, les «modèles HD» comme les sumomes René Laprise, chercheur au Centre ESCER, son voisin de bureau. Alors que, dans les continents virtuels actuellement simulés sur les superordinateurs, l'atmosphère est pixellisée en cubes de 45 km de côté, les chercheurs testent des modèles avec des points de grille espacés de 15 km ou même de 5 km. La résolution des modèles augmente à mesure que les ordinateurs deviennent plus puissants et que programmeurs, mathématiciens et physiciens trouvent des astuces pour simplifier les calculs sans perdre en qualité de prédiction. «À 45 km, explique Julie Thériault, nous ne voyions pas les phénomènes locaux. Nous sommes impressionnés par ce que nous pouvons à présent observer: des phénomènes causés par la topographie de la vallée du Saint-Laurent, par exemple, ou les microclimats des Grands Lacs.» Avec de meilleures représentations de nuages et de verglas, les modèles pourraient reproduire des phénomènes comme la tempête de 1998, quand, décrit-elle, «un vent chaud et humide du sud-ouest, canalisé par la vallée du Saint-Laurent, a causé des précipitations humides gelées par un vent glacial venant du nord en surface».



NICOLE FENTON

AU PARADIS DE LA MOUSSE

Un élément essentiel pour le maintien du pergélisol.

Un sous-bois de sphagnes avec du thé du labrador (*Rhododendron groenlandicum*), qui montre l'épaisseur de la colonie de mousses.

Nicole Fenton parle des mousses comme un entrepreneur en construction parle de laine minérale. « Selon l'épaisseur et l'espèce, dit-elle, un tapis de mousse peut avoir un pouvoir isolant de R2, R3 ou R4. » Mais la professeure et chercheuse à l'institut de recherche sur les forêts de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT), sait que les mousses, les sphagnes et autres bryophytes jouent un rôle bien plus grand – et fort méconnu – dans le maintien de la dynamique écologique de la forêt boréale.

En Abitibi, la chercheuse travaille dans la « ceinture d'argile », ces sédiments très fins qui se sont déposés il y a longtemps au fond d'un ancien lac. Un territoire compacté et mal drainé; le paradis des mousses. Ses travaux s'étendent aussi sur la Côte-Nord et dans le Grand Nord québécois; autres terrains propices.

« Les tapis de mousse, en isolant le sol de l'air ambiant, ralentissent le gel en hiver et le dégel au printemps, explique-t-elle. Dans les régions nordiques, où l'été est court, cela peut suffire à garder le sol gelé toute l'année. » Un pergélisol « mouso-dépendant », en somme.

En cette ère « climato-changeante », on entend souvent parler de la fonte à venir du pergélisol et du dégagement de méthane qui s'ensuivra, accélérant encore le processus de réchauffement. « Ça, c'est oublier le pouvoir isolant des tapis de mousse, nuance la chercheuse. Non seulement la mousse peut-elle préserver le pergélisol, mais sa croissance est favorisée par le réchauffement, ce qui permet la formation de tapis plus épais, donc encore plus isolants. »

Quand on sait que la mousse recouvre une très grande partie du sol de la forêt boréale et de la taïga, et que l'épaisseur du tapis de certaines mousses peut atteindre 60 cm, on ne peut que vouloir réévaluer les prévisions climatiques concernant les sols gelés.

Selon Nicole Fenton, cette mousse n'empêchera pas complètement le pergélisol de dégeler, mais elle ralentira le processus. « Dans les modèles climatiques actuels, on ne tient pas assez compte de cette variable. C'est ce qu'il faut maintenant clarifier. » (J.L.)

L'ÉRABLE À SUCRE, UN MODÈLE

L'arbre emblème aurait du mal à s'enraciner plus au nord.

Dans une forêt près de Windsor, en Estrie, **Nicolas Bélanger** creuse la terre et compte les arbres. « Je mesure la température des sols, leur humidité et la disponibilité des nutriments, dans le but de comprendre les aires de distribution des espèces. » Son modèle, c'est l'érable à sucre. Depuis l'Estrie jusqu'à l'Abitibi, en passant par les Laurentides, le professeur à la Télé-université et chercheur au Centre d'étude de la forêt traque les érables comme des fugitifs.

Le paradigme actuel veut que, à la faveur du réchauffement du climat, les espèces migreront graduellement vers les terres nordiques. « Mais, en réalité, on n'a encore trouvé aucun exemple de cela. Il y a plein de cas d'espèces forestières dont le territoire grimpe en altitude avec le réchauffement. L'érable à sucre, par exemple, pousse maintenant 100 m plus haut qu'il y a 40 ans dans les massifs du Vermont. Mais aucune espèce n'a encore étendu son aire de répartition vers le nord. »

Il faut dire que ce n'est pas simple, pour une essence d'arbre, de « déménager »! Soit, on pense aux variables climatiques – importantes –, mais on ne doit pas oublier qu'une espèce arrivant en terrain inconnu doit interagir avec d'autres, auxquelles elle n'a jamais eu affaire auparavant. Plantes nouvelles, champignons, micro-organismes, etc. Difficile, l'adaptation dans un écosystème étranger!

« Un érable à sucre qui tente de pousser en forêt boréale doit faire face à un sol plus acide et à un humus plus riche en carbone et en azote. Des conditions dues aux conifères qui poussent là depuis longtemps, explique Nicolas Bélanger. Pas sûr que l'espèce puisse s'adapter assez vite. Même chose pour les mycorhizes de l'érable, ces champignons microscopiques indispensables qui doivent s'associer aux racines de l'arbre. Elles sont très sensibles au pH du sol et pourraient ne pas pouvoir vivre dans ces sols acides. »

Tous ces facteurs, et d'autres dont on n'a pas tenu compte au cours des 20 dernières années, pourraient bien venir changer les prédictions en matière de migration des espèces. « En fait, il faut tenir compte des interactions biotiques, pas seulement du climat, résume le chercheur. En somme, les modèles devront être plus écologiques que climatiques. » (J.L.)



LE SECRET DE LA MÉSANGE

On connaît assez bien les mécanismes qui permettent aux oiseaux de survivre à l'hiver. Mais comment réagissent-ils aux gels et aux redoux aussi subis qu'imprévisibles?

Par Marine Corniou



FRANÇOIS VÉZINA

Le thermomètre est passé sous la barre des -15°C et le vent glacial souffle sans relâche. Emmitoufflés, bottés, chapeautés et gantés, les passants accélèrent le pas, pressés de se réfugier dans le confort de leurs maisons bien chauffées. Et dire que l'hiver ne fait que commencer!

Si les premiers froids mettent nos organismes à l'épreuve, imaginez un instant ce que subissent les animaux pendant des mois... « Pour ceux qui n'hibernent pas, c'est tout un défi! Surtout les petits animaux, qu'il s'agisse de mammifères ou d'oiseaux », précise **François Vézina**, chercheur en écophysiologie animale à l'Université du Québec à Rimouski. Il tente justement de comprendre comment les mésanges à tête noire passent le cap de l'hiver. Contrairement à beaucoup de petits oiseaux, ces passereaux au cri caractéristique (le fameux « chik-a-didi ») ne migrent pas.

« Pour vivre, les mésanges doivent maintenir leur température interne à 40°C ou 41°C . Quand il fait -30°C

dehors, elles doivent donc générer 70°C , et elles ne pèsent que 10 g! » rappelle le scientifique, admiratif devant son modèle de recherche. Il y a de quoi! Car plus le corps d'un animal est petit, plus sa surface en contact avec l'air est élevée par rapport à son volume. Résultat, ces bêtes perdent proportionnellement davantage de chaleur que les grosses, et doivent dépenser beaucoup plus d'énergie pour maintenir leur température.

« L'hiver, la dépense énergétique des mésanges est telle que, au lever du soleil, elles ont tout juste assez de réserves pour survivre quelques heures. Elles doivent manger dès le matin pour engraisser et pouvoir jeûner la nuit suivante. Leur masse fait donc « le yoyo » dans la journée! » explique François Vézina qui arpente depuis cinq hivers la Forêt d'enseignement et de recherche (FER) de Macpès, gérée par le cégep de Rimouski, où vivent quelques centaines de mésanges.

Avec ses étudiants, il a équipé ses protégées (de 200 à 300 individus) de bagues de couleur, pour pouvoir

les observer sans avoir à les capturer systématiquement. Le but de l'opération? En apprendre plus sur la capacité des oiseaux à s'ajuster rapidement, d'un jour à l'autre, aux variations de température.

«La thermorégulation chez les oiseaux est étudiée depuis les années 1950, et on commence à bien connaître les mécanismes impliqués à l'échelle saisonnière, dit le biologiste. Mais on ne sait pas encore ce qui se passe lorsque la température varie de 0 °C à -30 °C en 24 heures, par exemple. De plus, avec les changements climatiques, il y a davantage d'épisodes de redoux. Les oiseaux perçoivent-ils ce signal comme un relâchement des contraintes thermiques? Perdent-ils en partie leur capacité d'endurance? À quelle vitesse leur métabolisme s'ajuste-t-il en cas de réchauffement soudain? C'est ce que nous voulons découvrir.»

Entre septembre et mars, les mésanges de la forêt Macpès sont donc capturées, pesées et mesurées. Leur performance métabolique est également évaluée. Pour ce faire, les scientifiques placent les oiseaux dans une «chambre métabolique» dont la température est strictement contrôlée. «On mesure le métabolisme de base, qui correspond aux coûts de maintenance de l'organisme, ainsi que le métabolisme maximal. Pour cela, on fait frissonner l'animal en abaissant la température, et on mesure sa consommation d'oxygène jusqu'à ce que le métabolisme n'augmente plus. C'est un peu comme lorsqu'un athlète passe un test de consommation maximale d'oxygène!» illustre François Vézina.

Pour pousser plus loin les analyses, l'équipe souhaite aussi comparer les performances des mésanges avec celles de deux autres espèces, le plectrophane des neiges qui passe sa vie entre la toundra arctique et le sud du Canada, où il est exposé à des conditions froides toute l'année, et le bruant à gorge blanche qui fuit au contraire le froid en migrant vers le sud des États-Unis, en hiver.

«L'idée, derrière tout ça, c'est de mieux comprendre comment les changements climatiques vont affecter les espèces, et quelles sont celles qui s'adapteront le mieux à un environnement très variable», résume le chercheur. ■



COMMENT LES MÉSANGES S'ADAPTENT AU FROID

Pour survivre à l'hiver, les mésanges multiplient les stratégies. D'abord, elles profitent d'un plumage dense qu'elles peuvent gonfler pour y emprisonner l'air. C'est en quelque sorte ce que nous faisons quand nous rebourrons nos manteaux de duvet, un merveilleux isolant. «Mais chez les petits oiseaux, il y a une limite physique à la quantité et au volume des plumes!» nuance François Vézina, chercheur au laboratoire d'écophysiologie à l'UQAR. Les mésanges, comme d'autres espèces, doivent donc miser sur des changements physiologiques importants. «La nuit, par exemple, leur température interne descend de cinq à six degrés, ce qui leur permet de réduire la consommation de leurs réserves», précise-t-il.

Mais il leur faut plus. Pour augmenter leur endurance au froid, ces petits passereaux commencent à modifier leur physiologie dès la fin de l'été. D'abord, leur taux de globules rouges dans le sang (hématocrite) s'accroît. Conséquemment, ces derniers transportent davantage d'oxygène, ce qui permet à l'oiseau de maintenir son métabolisme élevé. Ensuite, la taille de plusieurs organes, dont le cœur, les intestins et les muscles pectoraux – les muscles du vol – augmente elle aussi. «N'importe quel muscle, en se contractant, produit de la chaleur. Ainsi, quand les mésanges se mettent à frissonner, contractant leurs muscles très rapidement, elles réchauffent leur organisme entier. Plus la masse de leurs muscles pectoraux est grande, plus ils produisent de chaleur. Et plus ils assurent leur endurance au froid», précise François Vézina.

Évidemment, tous les individus ne sont pas égaux quand le mercure chute. Certains tirent mieux que d'autres leur épingle du jeu. Lesquels? Le biologiste croit qu'il existe un lien entre l'endurance au froid d'un individu et son succès reproductif. C'est ce qu'il compte mettre en évidence. «Jusqu'ici, personne n'a encore prouvé que les individus les plus performants l'hiver sont aussi ceux qui transmettent le plus leurs gènes», dit-il. Son équipe a donc relevé, lors de la dernière saison de reproduction, le «succès» d'une quarantaine de couples, dont les performances hivernales seront enregistrées. Difficile d'en suivre un plus grand nombre: la forêt Macpès compte 1 100 nichoirs, mais les mésanges préfèrent de loin les sites de nidification naturels.

DES TECHNOLOGIES

Nos voitures, nos routes, nos lignes électriques, nos éoliennes arriveront-elles un jour à faire fi du froid, du gel et du givre? Ce sont quatre défis qui retiennent l'attention de nos ingénieurs chercheurs.

Par Joël Leblanc

1 DES BATTERIES DE VOITURE INTELLIGENTES

Il est loin ce temps où la jument familiale assurait le transport de toute la maisonnée en tirant la charrette ou le traîneau. Quoique rustique, ce mode de transport avait l'avantage de fonctionner aussi bien l'été que l'hiver.

Aujourd'hui, nous nous déplaçons plus loin et plus vite. Mais à l'aube du remplacement des voitures à essence par leurs équivalentes électriques, l'hiver constitue notre défi technologique principal.

Pour **Loïc Boulon**, professeur au Département de génie électrique et génie informatique, et chercheur principal à l'Institut de recherche sur l'hydrogène de l'Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR), le défi du transport électrique est double. «D'abord, les batteries ne peuvent livrer qu'une fraction de leur énergie, puisque le froid ralentit leurs réactions chimiques internes, dit-il. Ensuite, on doit tirer plus d'énergie de ces batteries, déjà moins performantes, pour chauffer l'habitacle et assurer le confort des passagers. En fin de compte, poireauter dans les bouchons de Montréal par -30 °C peut épuiser la batterie en une heure, pour une autonomie concrète de 2 km! Toute l'électricité disponible est utilisée pour le chauffage.»

Loïc Boulon planche sur une meilleure configuration électromécanique pour les batteries des voitures. Une des avenues qui se présentent consiste à utiliser une partie de l'énergie de la batterie pour réchauffer celle-ci. «Les réactions électrochimiques à l'intérieur s'y déroulent alors mieux et, paradoxalement, elle peut fournir plus d'énergie que si on ne la chauffe pas.»

Mais il est exclu de la garder chaude en tout temps, surtout si on ne s'en sert pas. «Pour optimiser la gestion de l'énergie, explique le professeur, il vaut parfois la peine d'arrêter le chauffage de la batterie si on prévoit ne pas utiliser la voiture pendant un certain temps, quitte à la chauffer de nouveau au besoin.»

VICES POUR AFFRONTÉ L'HIVER



DANIEL JALBERT/QUÉBEC

Les tests que mènent l'ingénieur et son équipe sur différentes voitures électriques permettent de développer les algorithmes qui donneront la possibilité à ces véhicules de déterminer eux-mêmes s'ils doivent cesser de chauffer leurs batteries lors des arrêts prolongés, ou continuer lors des périodes d'utilisations multiples. « Il faudra bien sûr tenir compte de la température extérieure, mais aussi de celle des composantes mécaniques de la voiture, précise Loïc Boulon. Selon la position des éléments, certaines batteries sont mieux isolées que d'autres et maintiennent plus facilement leur chaleur. Chaque voiture a ses particularités. »

2 UN BITUME PLUS ÉLASTIQUE

En matière de transport, les batteries des voitures ne sont pas le seul talon d'Achille des Québécois. Comme on sait, les routes elles-mêmes doivent endurer toutes

les misères que leur impose notre climat. Qui n'a pas déjà laissé échapper un juron bien senti en mettant la roue dans un nid-de-poule au printemps?

À l'École de technologie supérieure de Montréal (ÉTS), **Alan Carter**, professeur au Département de génie de la construction, parle de chaussée comme s'il parlait de cuisine! « Une route, explique-t-il, c'est un peu comme un millefeuille. Elle compte plusieurs épaisseurs qui ont chacune une utilité structurelle précise. Les couches du dessous, faites de graviers de différentes grosseurs, sont à la fois bien compactes et perméables à l'eau, si elles sont bien conçues. La couche du dessus, celle sur laquelle on roule, c'est la croûte, théoriquement imperméable. »

Alan Carter ne cesse d'insister sur l'importance de l'eau dans la dégradation de nos routes. Si elle s'infiltre en dessous et y reste coincée, elle gèlera l'hiver venu. L'eau qui gèle prend de l'expansion en écrasant ce qui l'entoure et en fragilisant sa structure. Au printemps, la glace fond et laisse un vide. Le passage de quelques camions lourds suffit pour ouvrir le cratère. Bonjour le nid-de-poule!

Assis dans la cabine, Loïc Boulon, professeur au département de génie électrique et génie informatique à l'UQTR. À droite, Daniel Herrera, étudiant à la maîtrise en génie électrique.

Mais puisque les couches de gâteau sous la route sont censées drainer l'eau, comment cette dernière peut-elle s'y accumuler? «Le problème, ce n'est pas le gâteau, c'est l'assiette en dessous, répond le chercheur. Si le sol naturel sous la route est constitué d'argile, par exemple, il absorbera l'eau et s'en gorgera, ce qui le rendra propice à la déformation par le gel. S'il se trouve à une assez grande profondeur – c'est-à-dire si la route est épaisse –, il ne gèlera pas; il n'y aura alors aucun problème. Sauf que les gâteaux épais coûtent cher à réaliser. C'est pourquoi les "routes d'élection" – construites à la hâte pour séduire les électeurs – se décomposent vite. Elles ont été réalisées à peu de frais, sont peu profondes et l'assiette sous-jacente est trop proche de la surface. L'eau s'y accumule, gèle en hiver, et la chaussée écope.»

Mais comment l'eau peut-elle s'infiltrer, puisque la chaussée – la «croûte» – est réputée imperméable? «Il est là, le principal problème de l'hiver. Le revêtement bitumineux de nos routes est un peu comme un caramel. Quand il fait très chaud, il ramollit, puis durcit quand il fait très froid. Surtout, il prend de l'expansion et se contracte suivant les variations de température. Le problème, au Québec, ce n'est pas précisément le froid, ce sont les écarts de température: jusqu'à 70 °C d'amplitude entre l'été et l'hiver! Le bitume qui se contracte au froid ne peut que se fissurer.» Et voilà l'eau qui risque de détrempier le gâteau.

La piste de recherche d'Alan Carter: trouver la recette qui permettra au bitume de garder son intégrité malgré les cycles d'expansion/contraction que lui imposent nos changements de saison. «On essaie de créer le revêtement parfait: il aurait toutes les qualités du bitume actuel, mais serait plus élastique.»

Durant toute la conversation, le chercheur évite le terme «asphalte» et parle plutôt d'«enrobé bitumineux» pour désigner cette substance noire avec laquelle on pave nos routes. «Le mot "asphalte" est galvaudé, puisqu'il s'agit en réalité du nom d'un composé lourd et très visqueux qu'on trouve dans le pétrole. Ce qu'on met sur les routes, c'est près de 95% de petits cailloux enrobés de 5% de bitume. Le défi, c'est de bien enrober les graviers afin qu'ils collent parfaitement les uns aux autres et forment une surface bien étanche.»

Pour ce faire, il faut liquéfier le bitume en le chauffant à plus de 150 °C, d'où la chaleur intense des chantiers d'été sur nos routes et les composés volatils qui s'échappent de la mixture et irritent nos muqueuses. «Nous travaillons aussi à abaisser la température nécessaire à l'enrobage des granulats. On a découvert qu'on peut chauffer le bitume un peu moins – à 120 °C –, puis y injecter de fines gouttelettes d'eau. Sous la chaleur, l'eau s'évapore et prend de l'expansion, ce qui crée des microbulles dans le bitume. Résultat, on obtient une mousse légère et pleine d'air, comme celle d'un dessert. Il devient alors facile d'y faire pénétrer les graviers et de les enrober.»



3 DES ISOLATEURS GLACIOPHOBES

Janvier 1998, crise du verglas. Si l'événement reste inoubliable pour tous les Québécois qui l'ont vécu, il s'est avéré déterminant pour **Christophe Volat** qui arrive de France à ce moment. «Je venais faire mes études de doctorat à la Chaire industrielle sur le givrage atmosphérique des équipements des réseaux électriques (CIGELE) de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC). Mes travaux portaient sur la distribution du courant sur des isolateurs recouverts de glace.»

Aujourd'hui professeur au Département des sciences appliquées de l'UQAC, il est bien placé pour expliquer les leçons tirées de la crise. «Le verglas de 1998 a été d'une intensité qui ne se produit qu'une fois tous les 100 ans.

Les autorités ont quand même décidé de renforcer le réseau dans les grandes zones urbaines, malgré ce faible risque.» Les pylônes qui peuvent s'écrouler sous le poids de la glace sont disparus et ont laissé place à des structures étroites qui rappellent des arbres. On a aussi

«Une crise de verglas comme celle de 1998 ne pourrait pas se reproduire.»

ajouté des lignes électriques de contournement pour assurer la distribution, même si des fils sont coupés dans une zone.

Ces lignes supplémentaires ont une autre fonction, comme l'explique Christophe Volat: «Quand une ligne est recouverte de verglas, on peut faire passer l'électricité par une autre voie. Pendant ce temps, on fait circuler un courant continu dans la première ligne pour la chauffer et faire fondre la glace. Une crise comme celle de 1998 ne pourrait pas se reproduire de nos jours.»

Mais la spécialité de l'ingénieur ne s'intéresse ni aux pylônes ni au chauffage des fils. «Je me consacre aux isolateurs. Car le danger moins connu du verglas, c'est qu'il peut provoquer des coupures de courant par arcs électriques au niveau des isolateurs.»

Les isolateurs, ce sont ces structures en boudins qui retiennent les câbles électriques aux pylônes et empêchent le courant de se rendre au sol. Une fois recouverts de glace, les isolateurs sont encore efficaces, mais quand cette glace commence à fondre, la pellicule d'eau peut conduire le courant. Alors, des arcs électriques se produisent. «J'ai mis au point des isolateurs dont le profil empêche la formation d'un manchon de glace continu. Il a fait ses preuves sur des postes à 735 kV.»



4 ET LES PALES? ON EXPLORE LA VOIE THERMIQUE

Les pales d'éolienne et les hélices d'hélicoptère présentent les mêmes défis d'ingénierie. Dans les deux cas, leur profil a été étudié pour tirer profit au maximum du flux d'air. Recouvrez-les de givre et elles perdent rapidement leurs propriétés. Si, dans le cas d'une éolienne, il n'en résultera qu'une perte d'efficacité, ce sera autrement plus critique pour un hélicoptère.

«Intégrer un système de dégivrage sur un hélicoptère n'est pas aisé, explique **Jean Perron**, physicien, professeur au Département des sciences appliquées de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC) et directeur du Laboratoire international des matériaux antigivre. Certains des plus gros hélicoptères possèdent des systèmes de dégivrage fondés sur le chauffage thermique des pales. Mais nous avons peu de solutions pour les petits hélicoptères de six passagers et moins. Le problème, c'est qu'un système de dégivrage est encombrant et ajoute du poids, sans compter l'énergie qu'il consomme. Un hélicoptère est un engin déjà très optimisé. Le poids et l'espace sont à la limite des performances mécaniques.»

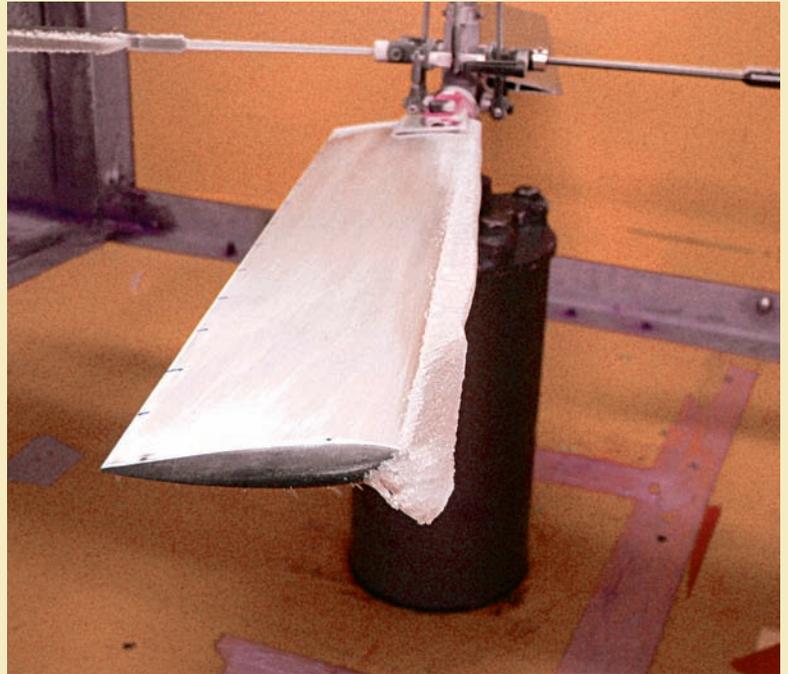
Depuis quelques années, le chercheur et son équipe travaillent avec le fabricant Bell Helicopter Textron de Mirabel pour trouver des solutions. «On explore la voie thermique, en tentant de trouver comment transmettre l'énergie entre la cabine et les pales qui tournent. Nous planchons aussi sur l'élaboration d'enduits qui empêcheraient la glace d'adhérer aux pales. Le défi, c'est que ces enduits glaciophobes, quand ils fonctionnent, adhèrent difficilement au métal.»

Autre angle d'attaque: des éléments piézoélectriques dans les pales qui pourraient les faire vibrer durant quelques secondes afin de briser le givre accumulé. Ici encore, on est loin de la commercialisation, car les vibrations doivent être importantes et nécessiteraient aussi beaucoup d'énergie.

À Montréal, **François Morency**, professeur au Département de génie mécanique de l'École de technologie supérieure (ÉTS), se penche de son côté sur le givrage des éoliennes. «Il serait théoriquement possible d'implanter des systèmes chauffants sur les pales pour faire fondre le givre, explique-t-il. Cependant, les pales sont si grandes, et tournent si vite dans l'air froid, que l'énergie requise est trop importante et que les éléments chauffants pomperaient presque toute l'énergie produite par l'éolienne.»

Il vaut mieux stopper les éoliennes lorsqu'elles deviennent inefficaces. «Nous travaillons surtout sur la détection du givre. Nous compilons des bases de données climatiques pour les régions du Québec et nous tentons de bâtir des modèles permettant de prédire la formation de givre à petite échelle. D'autant que les éoliennes elles-mêmes fournissent des informations importantes. On peut suivre en temps réel leur production d'électricité. Lorsque les valeurs sont trop basses pour le vent mesuré, on déduit que du givre s'est formé. Vaut mieux alors les arrêter et attendre que la glace se détache», estime le chercheur.

Quelques autres avenues sont explorées, comme des coussins de caoutchouc, sur le bord d'attaque des pales, qui se gonfleraient pour déloger la glace. ■



Pour mettre à l'épreuve les éoliennes, les chercheurs ont recours à des laboratoires-souffleries. On peut alors mesurer l'adhésion et l'accumulation de glace et évaluer si un revêtement permettrait à la pale de se déglacer elle-même grâce à la force centrifuge.



LES CHEMINS DE BOIS MENACÉS

Le Québec est traversé de part en part par des centaines de kilomètres de chemins forestiers. Un réseau méconnu qui pourrait souffrir du réchauffement climatique.

«Une partie de ce réseau est situé en terrain marécageux. C'est d'ailleurs pourquoi, historiquement, la coupe de bois se faisait en hiver, quand le sol était gelé, relate **Guy Chiasson**, politologue à l'Université du Québec en Outaouais et directeur du Centre de recherche sur le développement territorial. Il était aussi plus facile, alors, de transporter les billots.»

Mais le monde forestier a changé.

Tout comme nos hivers. «Il faut maintenant s'attendre à des coups d'eau provoqués par des pluies torrentielles plus fréquentes, prévient-il. Et qui endommagent les chemins.» Ce qui pose autrement la question de l'entretien: à qui cela incombe-t-il? Surtout que les utilisateurs ne sont plus seulement les camionneurs, mais aussi les villégiateurs et les motoneigistes.

Pis, l'hiver, certains tronçons sont connectés par des ponts de glace qu'il faut aussi baliser et surveiller. Or, avec nos périodes de gel écourtées, ces chemins s'avèrent plus souvent impraticables. Faudra-t-il donc sonner bientôt le glas des ponts de glace et des chemins de traverse? (R.L.)



LE PÈRE NOËL EST-IL CANADIEN ?

Professeur titulaire à l'École nationale d'administration publique (ENAP), le politologue Stéphane Roussel se passionne pour les questions de souveraineté et de sécurité dans le Grand Nord.

Le Canada a considérablement augmenté les ressources militaires déployées dans le Grand Nord, ces dernières années. Comment doit-on interpréter cela?

Officiellement, le gouvernement veut assurer une présence dans le Nord pour veiller à la sécurité et à l'application des lois. Mais il y a une autre raison, qu'on passe souvent sous silence : le Canada est en plein processus de reconstruction identitaire. Le pays symbolique que les Canadiens ont porté durant la seconde moitié du XX^e siècle – celui de la paix, de la négociation, de la tolérance – est en train de laisser place au pays qui gagne ses guerres, qui se bat contre les « méchants » et qui a des richesses extraordinaires à offrir. L'Arctique joue un rôle central dans la construction de cette nouvelle identité. Il devient un élément de fierté, de richesse et de prospérité.

Le Canada voudrait exercer sa souveraineté sur un éventuel passage du Nord-Ouest ouvert à la navigation. A-t-il les moyens de ses ambitions?

Oui, mais ces moyens seront très limités et il faudra nécessairement accepter une forme de gestion du risque. On ne pourra jamais atteindre là-bas le niveau de sécurité qu'on a dans le fleuve Saint-Laurent. Par exemple, on ne dispose pas de bases militaires dans le Nord, ce qui compliquerait les opérations de recherche et de sauvetage. Il faut huit heures à un avion Hercules pour faire le trajet entre la base de Trenton, dans le sud de l'Ontario, et Resolute Bay, au Nunavut.

Il faudra collaborer avec les États-Unis, les Danois et peut-être avec les Russes, aussi. Même les États-Unis, malgré les moyens énormes dont ils disposent, ont un seul brise-glace et très peu de ressources dans l'Arctique. En cas de catastrophe, le Canada pourra autant prêter main-forte aux États-Unis que l'inverse.



Patrouille militaire canadienne au-dessus de l'île de Baffin, l'été dernier

ADRIAN WILD/LA PRESSE CANADIENNE

Les pays côtiers de l'océan Arctique préparent leurs revendications en vue de s'approprier une portion du plancher océanique. Une sorte de «Guerre froide» pourrait-elle se développer entre le Canada et les États-Unis?

Ces questions vont se régler par voie diplomatique, en s'appuyant sur des informations scientifiques. Des géologues sont en train de déterminer à quels territoires sont reliées les chaînes de montagnes sous-marines.

Bien sûr, il y aura des chevauchements. Le pôle Nord sera réclamé au moins par le Canada et par la Russie, peut-être aussi par le Danemark. Or, on n'y trouve aucune ressource naturelle. L'intérêt du pôle Nord est strictement symbolique. Il est question de déterminer la nationalité du père Noël! On a toujours tenu pour acquis qu'il était canadien. On peut en rire, mais ce conte collectif, qu'on se raconte depuis des décennies, participe à l'identité nationale. Il y a peu de symboles qui font consensus au Canada. Les Russes, eux, ont d'autres choses sur lesquelles tabler.

Pour un gouvernement qui accorde autant d'importance à l'Arctique, le fédéral ne semble pas être particulièrement fier que le Canada assume la présidence du Conseil de l'Arctique depuis 2013. Pourquoi?

Le gouvernement conservateur entretient une triple méfiance à l'égard du Conseil de l'Arctique. D'abord, c'est une initiative des Libéraux, née sous Jean Chrétien. Ensuite, le Conseil s'est toujours préoccupé avant tout des questions environnementales, et non des questions économiques. Enfin, les Conservateurs sont d'office méfiants à l'endroit des organisations internationales qu'ils perçoivent comme inefficaces et coûteuses.

Depuis son arrivée à la présidence, le Canada tente de réorienter les priorités du Conseil de l'Arctique dans le but d'en faire une organisation de coopération pour le développement du Nord. Il est trop tôt pour savoir si cela sera un succès. Un des signes sera la présidence états-unienne qui débutera en mai prochain. On verra si elle aura les mêmes priorités. ■

Propos recueillis par Dominique Forget