



MÉRIDIEN

ANS CE NUMERO

Plaidoyer pour les dirigeables dans l'Arctique canadien	1
Insectes de l'Arctique canadien	9
Crédits pour l'Année polaire internationale	9
La toundra changeante – paléoécologie de l'Extrême-Arctique	13
Étude rétrospective <i>Qaujivallianiq inuusirijauvalauqtunik</i> sur le suicide	21
Critique de livres	22
Nouveaux membres du conseil d'administration de la Commission canadienne des affaires polaires	23
Horizon	24
Nouveaux livres	24

PLAIDOYER POUR LES DIRIGEABLES DANS L'ARCTIQUE CANADIEN

Terry A. Dick et Colin Gallagher

INTRODUCTION

Pour ceux d'entre nous qui font de la recherche dans l'Arctique, il est bien évident que des travaux de prospection extensive sont en cours et que les effets du changement de climat dans la région deviennent plus apparents¹. Il est bien évident aussi que pour les habitants de la région le coût des articles de base nécessaires à la vie quotidienne, comme les produits d'épicerie et l'essence, ainsi que les matériaux de construction, les véhicules adaptés à la neige, les moteurs hors-bord et les bateaux, est élevé. Vu les récentes tendances du prix du pétrole qui a dépassé 60 \$ le baril et les hausses encore plus fortes du coût des transports qui s'annoncent, il est sûr que le coût de la vie augmentera. Si on ajoute à ces prévisions le fait que l'Arctique est l'endroit où la population augmente le plus rapidement au pays, ainsi que les préoccupations à propos de la souveraineté canadienne et des nouvelles richesses résultant de l'exploitation des ressources non renouvelables, on constate qu'une nouvelle planification ingénieuse à long terme s'impose pour les gens du Nord, notamment pour les collectivités de l'Arctique.

Dans le Nord canadien, il existe trois principaux modes de transport : par bateau et chaland durant la période où les cours d'eau sont navigables; par aéronef à voilure fixe pendant toute l'année; et par camion pour les chargements en vrac s'il y a des routes permanentes ou praticables l'hiver. Le transport par bateau est relativement économique mais limité aux zones d'eau libre, et il pourrait être

affecté par les glaces marines si la tendance au réchauffement se maintient. Certaines routes maritimes pourraient alors devenir plus dangereuses à court terme (comm. pers. de N. Mathur). En outre, à cause du dégel printanier tardif ou du mouvement imprévu des glaces au cours d'une année, le matériel de construction essentiel expédié par bateau peut arriver trop tard pour qu'on puisse entreprendre les travaux durant l'été arctique. Le matériel se trouve alors bloqué pendant une autre année. L'utilisation d'aéronefs à voilure fixe coûte cher, et la faillite récente de plusieurs transporteurs aériens montre bien les répercussions de la hausse du prix du pétrole sur les bénéfices nets, même dans les zones très peuplées. L'aéronef à voilure fixe est malheureusement la seule option pour les déplacements durant toute l'année et la livraison des biens essentiels aux résidents des collectivités nordiques isolées, et les frais de transport continuent d'augmenter.

Le Nord canadien et, dans une moindre mesure, les régions nordiques de la plupart des provinces ont un nombre limité de routes praticables en tout temps. Certaines régions comptent aussi des routes d'hiver. Et à peu près 70 % de la masse terrestre du Canada est dépourvue de routes². La figure 1 montre les routes d'hiver existantes et celles qu'on a proposé de construire, au Canada. À cause du changement de climat, la période d'utilisation des routes d'hiver a diminué au cours de la

dernière décennie³, et les problèmes d'entretien ont augmenté². Ces facteurs conjugués à l'absence de routes d'hiver dans bon nombre de régions du Nord et au coût énorme de la construction de nouvelles routes permanentes rendent fort peu probable l'aménagement des nouvelles routes proposé.

Il faut savoir que de nombreuses routes entretenues par les industries minière et forestière ne font pas partie des réseaux routiers provinciaux ou territoriaux. Par conséquent, le réseau routier non permanent, au Canada, est beaucoup plus étendu que ce que montre la

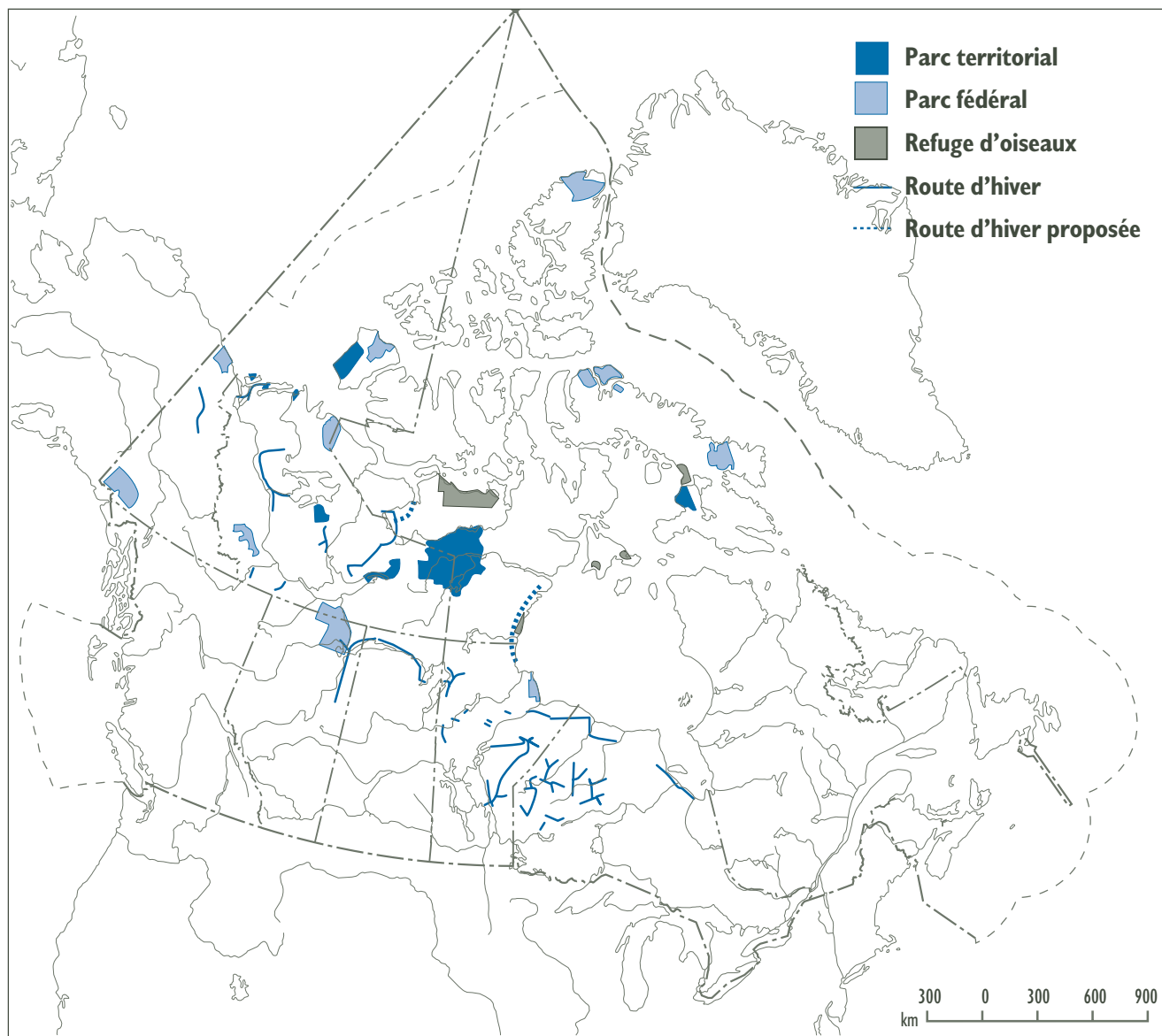
* L'information sur les routes d'hiver de la Colombie-Britannique et du Québec n'était pas fournie, et il n'y a pas de routes d'hiver au Nunavut.

figure 1*, et les répercussions environnementales de cette situation sont élevées. Le Manitoba, le Nord-Ouest de l'Ontario, certaines parties du Nord de la Saskatchewan et les Territoires du Nord-Ouest (T.N.-O.) ont de nombreuses routes d'hiver. D'autres régions du Canada, comme les T.N.-O., le Nunavut et le Nunavik, n'ont pas de réseau routier, sauf pour quelques kilomètres dans chaque collectivité. Par ailleurs, les nouvelles routes comme celle qu'on a proposé de construire à Bathurst Inlet (figure 1) desserviraient surtout les aires d'exploitation minière, et leur valeur permanente pour les collectivités du Nord serait minime. Une autre grande route dont la construction a été proposée le long du côté ouest de la baie d'Hudson desservirait plusieurs col-

lectivités et peut-être des mines, mais son coût estimé entre 1,2 et 1,7 milliard de dollars est prohibitif. On ne sait pas qui paierait pour la construction et l'entretien annuel de ces routes³.

La prospection, le mouvement du gros matériel lourd, la recherche fondamentale la gestion des ressources et de l'environnement ainsi que les questions de souveraineté exigent un mode de transport rentable (réduction du coût élevé de l'entreposage du carburant), pouvant assurer un lent déplacement au-dessus du paysage (mesures océanographi-

Figure 1
Les parcs des territoires du Nord et des parcs fédéraux et les refuges d'oiseaux. Routes d'hiver existantes et celles qu'on a proposé de construire dans les Territoires du Nord-Ouest, au Nunavut, en Alberta, en Saskatchewan, au Manitoba et en Ontario.





ques, levés géologiques et géophysiques, étude des changements planétaires et recensement des espèces fauniques) très visible, qui aurait des répercussions minimales sur l'environnement, avec des véhicules qui circuleraient facilement sur la glace rugueuse, les cours d'eau et la surface terrestre.

Compte tenu des scénarios précités, il faut de toute évidence examiner d'autres options en matière de transport. L'une de ces options est le recours aux dirigeables. Bon nombre de gens sont sceptiques en ce qui a trait à l'utilisation de dirigeables, mais la plus grande partie de la population convient que ces engins ont une infrastructure légère (ils sont eux-mêmes l'infrastructure), nécessitent peu d'entretien et consomment peu de carbu-

rant par rapport à d'autres véhicules. Une partie du malaise observé provient de l'impression que les dirigeables sont peu sûrs, impression due surtout au souvenir de l'incendie du zeppelin *Hindenburg* et au fait qu'il utilisait de l'hydrogène.

Cet article présente une perspective historique de l'exploration de l'Arctique à l'aide de dirigeables, décrit certaines technologies (actuelles et anciennes) en rapport avec les « plus léger que l'air » et fait une brève comparaison des coûts d'exploitation. Il explique les éventuels avantages des dirigeables pour la recherche environnementale et la gestion des ressources naturelles dans l'Arctique, et il évalue les conditions météorologiques du Nord en rapport avec le fonctionnement des diri-

Figure 2

Le dirigeable sphérique conçu par 21st Century Airships, de Newmarket, Ontario, convient à diverses applications. Il est actionné par un système électrique diesel silencieux et peut décoller et atterrir sur l'eau. Conception artistique de Eiko Emori à partir d'images fournies par 21st Century Airships et Peter Johnson.

geables, car cette question préoccupe continuellement ceux qui ont des doutes sur leur utilisation dans le milieu arctique « hostile ».

E X P L O R A T I O N D A N S L E P A S S É

Les dirigeables ne sont pas une nouveauté dans l'Arctique. Il y a plus d'un siècle, plusieurs explorateurs ont utilisé des ballons ou des dirigeables pour se rendre au pôle Nord. Le premier est le Suédois Salmon August Andree

(1856–1897) dont la tentative de vol en ballon gonflé à l'hydrogène a échoué parce que le gaz traversait le tissu et à cause du poids exercé par les gouttelettes d'eau et la glace sur le ballon⁴. Un Américain, Walter Wellman (1858–1934), a dirigé cinq expéditions entre 1894 et 1909. En 1907 et 1908, il a utilisé des dirigeables motorisés dans l'Arctique⁴. Un appareil italien piloté par Umberto Nobile a volé au-dessus du pôle Nord avec le célèbre explorateur norvégien Roald Admundsen à bord. Les dirigeables ont été utilisés comme plates-formes d'observation et pour la surveillance anti-sous-marine durant les deux guerres mondiales. Cette pratique a atteint un sommet dans les années 1940. Le dernier dirigeable américain qui a traversé le cercle arctique l'a fait en 1958. Peu après, la marine américaine a cessé d'utiliser ces appareils.

T E C H N O L O G I E S
A N C I E N N E S E T
T E C H N O L O G I E S
A C T U E L L E S

Bon nombre de dirigeables ont été construits entre le début et le milieu du vingtième siècle. Durant la Première Guerre mondiale, par exemple, 300 dirigeables non rigides britanniques ont protégé les convois des Alliés. Le *Hindenburg*, construit par la société Zeppelin et dont le premier vol remonte à 1936, était le plus gros dirigeable jamais construit. Il contenait 7 062 000 pieds cubes d'hydrogène, ce qui lui donnait un poids total au départ de 242,2 tonnes et une charge utile de 112,2 tonnes. Sa conception était originale même d'après les normes actuelles, car les passagers étaient embarqués dans l'énorme coque, au lieu d'être placés dans une nacelle. Le *Hindenburg* a connu une fin tragique, même si au début ses propriétaires avaient prévu utiliser de l'hélium ininflammable.

Aujourd'hui, douze entreprises (dix pays) fabriquent des appareils à charpente rigide ou semi-rigide, en forme de cigare ou de sphère. Des matériaux composites modernes conçus pour d'autres usages sont maintenant appliqués aux dirigeables. Ces nouveaux produits incluent les lamellés à trois couches, soit une couche étanche qui retient le

gaz, une couche en polyester qui assure la stabilité et une couche en polyuréthane adaptée au soudage thermique, qui sert à assembler les panneaux de lamellés. De nouveaux moteurs commandés par ordinateur ajustent les paramètres d'hélice pour maintenir l'altitude avec une poussée ascendante, permettre le vol stationnaire et incliner l'appareil face au vent. Aujourd'hui l'hélium est le gaz préféré, et comme le Canada est le troisième producteur d'hélium (2 milliards de m³ par année), une pénurie d'hélium est peu probable. On envisage l'utilisation de panneaux solaires et de réservoirs de carburant pour réduire davantage les coûts énergétiques. Deux dirigeables offerts de nos jours pour les essais et la certification par temps froids sont le Zeppelin NT fabriqué par Zeppelin Luftschifftechnik GmbH (ZLG) à Friedrichshafen, Allemagne, et un dirigeable sphérique construit par la 21st Century Airship Inc. de Newmarket, Ontario, Canada.

É V A L U A T I O N
É C O N O M I Q U E

La meilleure évaluation économique pour l'utilisation de dirigeables et les comparaisons avec les autres modes de transport est celle qui a été faite par Barry Prentice et ses collègues à l'Institut des transports de l'Université du Manitoba. Le potentiel d'utilisation de dirigeables pour le transport de marchandises dans l'Arctique, par exemple dans le cadre de l'exploitation de la mine d'Isok Lake (route de Bathurst Inlet) dans les Territoires du Nord-Ouest, est bien documenté^{5,6}. Une route praticable en tout temps de 265 km, qui mènerait à la mine, coûterait 250 millions de dollars. Il n'est pas nécessaire d'avoir des routes pour utiliser des dirigeables. En supposant qu'un dirigeable d'une capacité de 84 tonnes (l'équivalent de deux camions-citernes Super B) serait utilisé 260 jours par année, on pourrait transporter 78 des 180 millions de litres de carburant dont la mine a besoin chaque année. Le coût du dirigeable a été estimé à 60 millions de dollars, incluant le remplacement de l'enveloppe après dix ans, et son amortissement serait étalé sur vingt ans (estimation très prudente). Les frais d'assurance ont été estimés à 1,75 million de

dollars par année. Les économies attribuées à la réduction de l'entreposage à long terme atteindraient 5 millions de dollars par année. On a aussi prévu un rendement sur l'investissement de 10% après une période d'utilisation de 245 jours, et après 320 jours d'utilisation la mine réaliserait une économie supplémentaire de 4 millions de dollars⁷.

On a aussi comparé les coûts pour le transport des marchandises par dirigeable vers les petites collectivités du Nord du Manitoba actuellement desservies par des routes d'hiver⁷. Le coût par tonne de marchandises, à lui seul, pour un dirigeable d'une capacité de 30 tonnes dépassait le coût du transport routier des marchandises. Si on incluait les passagers, le coût serait semblable à celui du transport par camion. Le coût pour les dirigeables d'une capacité de 150 tonnes était inférieur d'environ 40% à celui des camions. Même s'il faut considérer d'autres variables comme la vitesse anémométrique par rapport à la capacité de transport, la distance parcourue et la consommation de carburant, l'analyse précitée montre que les dirigeables offriraient vraisemblablement une option compétitive par rapport aux réseaux de transport par les routes d'hiver. Dans une grande partie de l'Arctique, où il n'y a pas de routes d'hiver, les avions ne pourraient concurrencer les gros dirigeables.

Q U E S T I O N S
E N V I R O N N E M E N T A L E S

Les dirigeables pourraient être très utiles à la gestion de la faune. Les parcs nationaux sont très étendus, et leur accès est souvent difficile et coûteux (figure 1). L'information fournie sur les sites Internet des gouvernements fédéral et provinciaux indique que les principales espèces de mammifères gérées dans le Nord incluent le grizzly, le bœuf musqué, l'ours polaire, le caribou, le mouflon de Dall, le morse, le bélouga, la baleine boréale, le phoque commun, le phoque annelé, le phoque à crête et le phoque du Groenland. Une grande partie du Nord canadien, notamment les portions nordiques des provinces, est utilisée par les espèces de gros mammifères (figure 3). Les dirigeables pourraient même

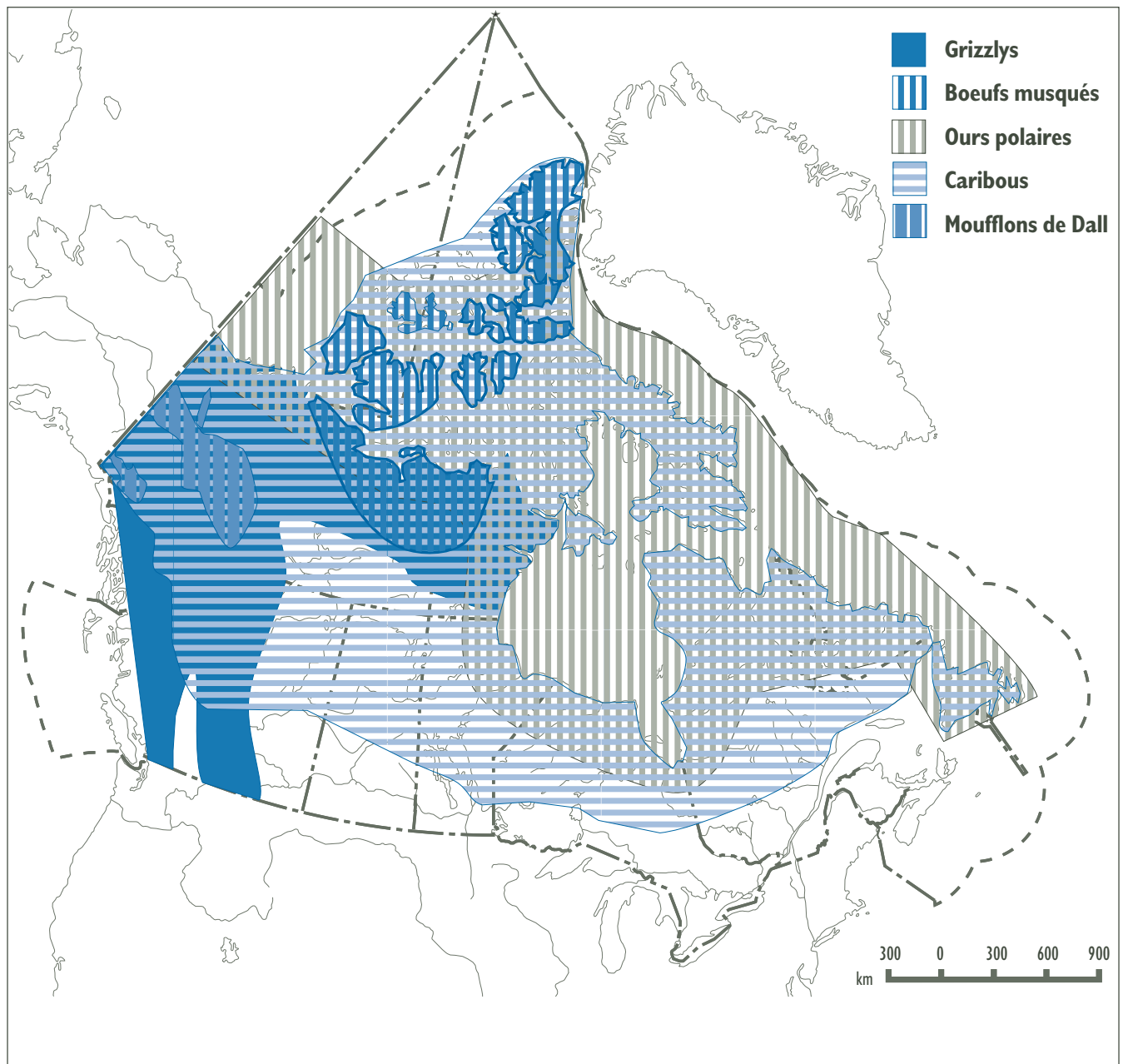


Figure 3
Répartition spatiale des grizzlys, boeufs musqués, ours polaires, caribous et moufflons de Dall au Canada.

servir aux études sur le caribou des bois et l'orignal, dans les régions boréales. On pourrait suivre à la trace les migrations des troupeaux de caribous et les mouvements des ours polaires, des grizzlys de l'Arctique et des baleines sans faire une intrusion directe dans leur habitat. Les autres espèces de mammifères marins, réparties sur un vaste territoire dans l'Arctique, pourraient être étudiées pendant toute l'année, même en période de débâcle.

Les dirigeables pourraient servir de plates-formes stationnaires pour documenter, par la photographie et d'autres méthodes, l'interaction entre les espèces sur les bords de la banquise. On pourrait facilement enregistrer

les mouvements des animaux lorsqu'ils se déplacent entre la mer, la glace et la terre ferme, en perturbant très peu les animaux et l'environnement. Les études sur les baleines à l'aide d'un avion Twin Otter nécessitent un ravitaillement tous les six heures et une vitesse anémométrique d'environ 100 nœuds. Mais un dirigeable peut demeurer en vol stationnaire sans être vu; il constitue une plate-forme stable qui se déplace lentement pour la photographie et peut demeurer en altitude beaucoup plus longtemps. Des données d'études sur les animaux peuvent être obtenues à des endroits où la glace rend le transport de surface périlleux. En fait, on peut assurer la sur-

veillance continue des glaces instables, et au besoin les dirigeables pourraient servir aux opérations de sauvetage durant les périodes où la chasse est la plus intense.

La répartition des espèces importantes pour les collectivités du Nord indique que l'ensemble des régions nordiques du Canada doit être accessible à des fins de recensement, d'exploitation et de gestion des ressources. Les dirigeables changeraient la façon dont nous considérons et gérons les mammifères et les

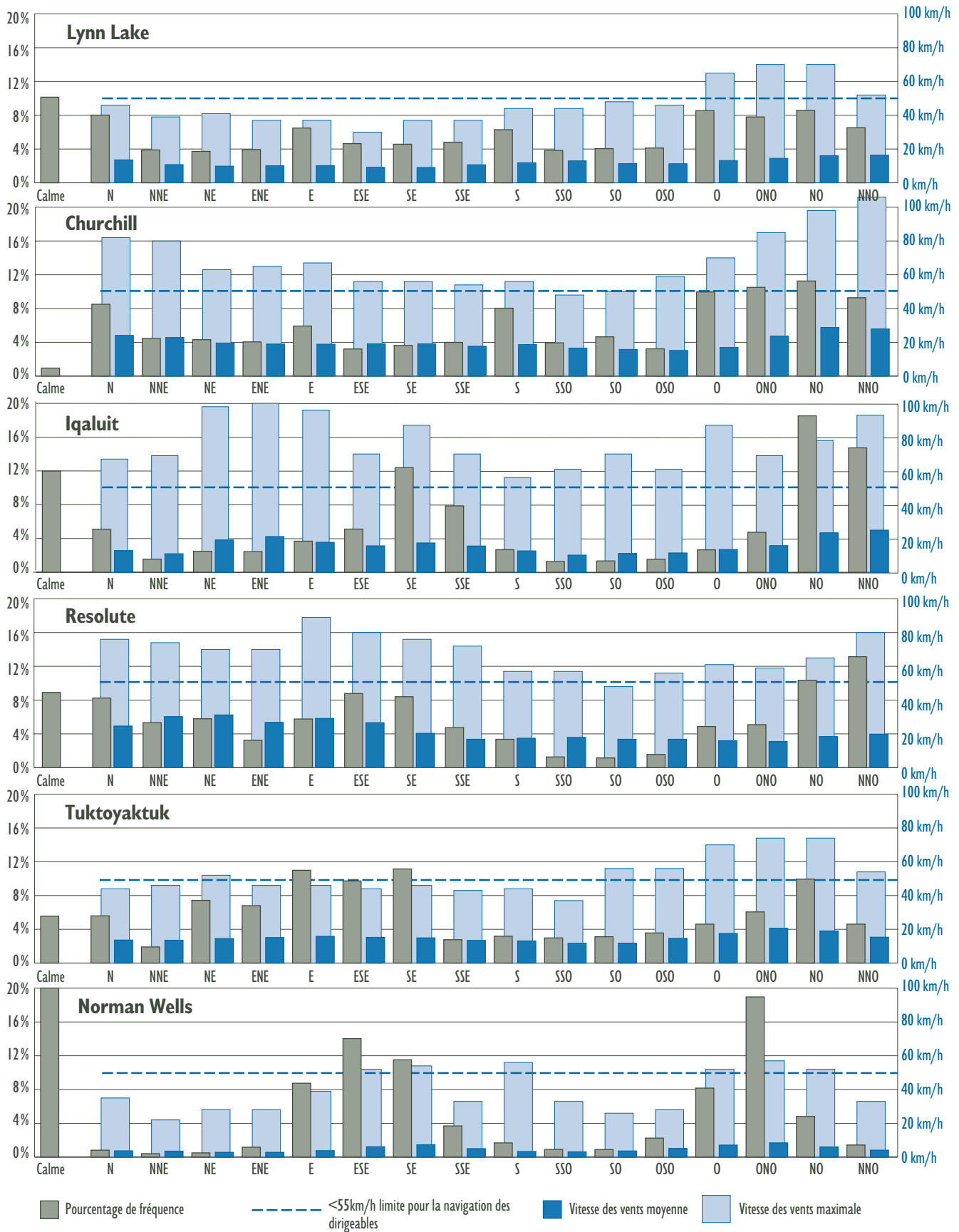


Figure 4

Le pourcentage de fréquence pour la direction des vents et leur vitesse moyenne dans six collectivités de l'Arctique

canadien entre 1994 et 2004. Le nombre total de jours pour lesquels on a obtenu des données est indiqué.

oiseaux de l'Arctique. À l'évidence, ils pourraient permettre un accès économique aux régions les plus éloignées à l'année longue et faciliter les évaluations plus précises. Si les déplacements pour assurer la subsistance et la chasse à des fins de préservation pouvaient être combinés à la gestion des ressources et à l'écotourisme, les dirigeables pourraient rendre de vastes zones du Nord beaucoup plus accessibles, tout en ne perturbant guère l'environnement.

CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES

Le Nord est considéré comme un milieu inhospitalier, et souvent on suppose que les conditions difficiles sont un obstacle majeur à l'utilisation des dirigeables. Pour examiner certaines de ces préoccupations, on a analysé les données météorologiques horaires (du 1^{er} janvier 1994 au 31 décembre 2004) propres à six endroits du Nord canadien (Lynn Lake et Churchill, Manitoba; Iqaluit et Resolute, Nunavut; Tuktoyaktuk et Norman Wells, Territoires du Nord-Ouest). Les données brutes ont été fournies par les Services météorologiques d'Environnement Canada. Les variables analysées comprenaient toutes les combinaisons possibles des éléments suivants : bruine, bruine verglaçante, brouillard, brouillard givrant, cristaux de glace, brouillard glacé, granules de glace, neige, poudrière élevée, neige en grains, neige roulée, averse de neige et fumée.

Le nombre de jours où les conditions ne se prêtaient pas au vol comprenait le nombre de jours entre 1994 et 2004 où la distance de visibilité était inférieure à deux kilomètres et où la vitesse des vents atteignait plus de 55 kilomètres à l'heure, ainsi que le nombre de jours où les conditions météorologiques incluaient un brouillard givrant, une pluie verglaçante ou une bruine verglaçante. La direction et la vitesse des vents dominants pour la même période ont été calculées pour tous les endroits (figure 4). Sur l'ensemble des variables météorologiques figurant au graphique pour la catégorie « conditions météorologiques défavorables » (figure 5) brouillard givrant, pluie et bruine comptaient pour la plus grande partie du pourcentage.

La figure 4 donne le pourcentage de fréquence pour la direction et la vitesse moyenne des vents à Lynn Lake, Churchill, Iqaluit, Resolute, Tuktoyaktuk et Norman Wells pour la période 1994–2004. La plupart des dirigeables peuvent fonctionner sous des vents d'une vitesse allant jusqu'à 55 km à l'heure, et d'après la figure 4 (voir lignes pointillées), les vents d'une vitesse supérieure à 55 km à l'heure sont relativement rares, sauf pour Iqaluit et Resolute. Les données montrent nettement que les vitesses moyennes des vents sont faibles pour les six endroits, mais il y a des jours où les dirigeables ne peuvent pas voler à cause des vents excessifs (figure 5). Si on utilise le seuil de 55 km à l'heure, il est évident, d'après la figure 4, que les grands vents soufflent dans toutes les directions. À l'exception de Resolute, qui compte pour 14 % du nombre total de 3997 jours perdus pour l'utilisation des dirigeables, le pourcentage de jours perdus pour cause de mauvais temps, atteignait moins de 8 % du nombre total de jours ayant fait l'objet d'une évaluation, pour toutes les variables météorologiques (figure 5). Apparemment, les dirigeables pourraient être utilisés pendant la plus grande partie de l'année dans l'Arctique canadien, car la météorologie ne semble pas être un facteur limitatif. Cependant, les systèmes de navigation qui permettraient d'effectuer des vols de nuit seraient essentiels si on veut faire un usage optimal des dirigeables, surtout durant les mois d'hiver.

Même si cette étude indique que les chances de succès des dirigeables sont élevées dans le Nord canadien, il reste plusieurs obstacles à surmonter, notamment : la nécessité de prouver que les dirigeables peuvent servir au transport régulier des marchandises et des personnes; les essais et la certification par temps froids; et la nécessité de mettre au point des dirigeables ayant une plus grande capacité de chargement. Le ministère de la Défense des États-Unis a déjà mis ce processus en branle; il a passé deux contrats de conception d'un dirigeable pouvant transporter 500 tonnes sur une distance de 12000 milles nautiques en sept jours. Les besoins canadiens sont moindres,

mais à plus long terme on devra probablement avoir des dirigeables d'une capacité allant de 30 à 100 tonnes.

QUE POUVONS-NOUS FAIRE POUR INTRODUIRE LES DIRIGEABLES DANS LE NORD CANADIEN ?

Il faut d'abord que les Canadiens puissent exprimer leur désir de voir utiliser des dirigeables. Iso Polar Research Inc., un organisme à but non lucratif de Winnipeg, et le comité de parrainage des dirigeables dans le Nord de l'Institut de recherches du Nunavut, à Iqaluit, font la promotion du concept et de la mise à l'essai des dirigeables dans le Nord canadien. Mais une aide supplémentaire s'impose; l'industrie, les entrepreneurs, les collectivités du Nord, les politiciens, les gouvernements et les chercheurs pourraient participer à une initiative nationale. Nous devons trouver un moyen de financer une étude de faisabilité sur le transport par dirigeable.

On pourrait peut-être utiliser une part des redevances générées par l'extraction de pétrole, de gaz et d'autres minéraux pour aider les intéressés à concevoir un nouveau réseau de transport innovateur pour le Nord, ou tout au moins pour tester le concept de la technologie des dirigeables dans l'Arctique. Une partie des crédits prévus pour la mise en œuvre de l'Accord de Kyoto pourrait servir à financer la mise à l'essai des dirigeables dans le Nord et dans l'Arctique. Après tout, les dirigeables réduisent les émissions de gaz à effet de serre, utilisent beaucoup moins de carburant que les aéronefs conventionnels et laissent de bien plus petites « traces » sur l'environnement. Pourquoi ne pas utiliser une partie des 2,6 milliards de dollars que la population du Canada a obtenus de la vente des actions de Petro-Canada⁸? Nous pourrions examiner la faisabilité du transport par dirigeable durant l'Année polaire internationale (2007–2008), quand le Canada montrera au monde entier son patrimoine arctique ainsi que ses initiatives et réalisations sur le plan social et scientifique dans le Nord. Pourrait-on afficher

un meilleur symbole de souveraineté que des dirigeables de la taille d'un navire de ligne, avec un drapeau canadien de 25 m peint sur leurs côtés, qui se déplaceraient à une altitude de 300–500 m au-dessus de la surface arctique, et qui en même temps réduiraient le coût du transport, augmenteraient l'accès à la région et n'auraient que des répercussions minimales sur l'environnement. Il n'est pas nécessaire de débloquer de nouveaux crédits pour évaluer les dirigeables dans le Nord, mais il doit y avoir une volonté nationale d'adaptation au 21^e siècle pour que nous puissions léguer aux gens du Nord un moyen de transport qui prendra le relais lorsque les ressources non renouvelables auront été épuisées.

Terry Dick est professeur et Colin Gallagher technicien au Département de zoologie, Université du Manitoba. La recherche de T. Dick est subventionnée par une chaire de recherche nordique du CRSNG.

Remerciements

Nous remercions M. Garry Prentice de l'Institut des transports, Université du Manitoba, Mary Ellen Thomas, directrice intérimaire de l'Institut de recherches du Nunavut, à Iqaluit,

et ses nombreux collègues qui travaillent dans les diverses régions du Canada, pour leur soutien et leur encouragement à notre recherche d'un mode de transport moins coûteux pour l'Arctique canadien.

Références

1. Johannesen, O.M., L. Bengtsson, M.W. Miles, S.I. Kuzmina, V.A. Semenov, G.V. Alekseev, A.P. Nagurnyi, V.F. Zakharov, L.P. Bobylev, L.H. Pettersson, K. Hasselmann et H.P. Cattle, 2004. Arctic climate change: observed and modelled temperature and sea-ice variability. *Tellus A*. 56 (4), 328–341.
2. Kuryk, Don, 2003. Seasonal transportation to remote communities – what if? Dans : *Airships to the Arctic: moving beyond the roads* (éd. B. E. Prentice, J. Winograd, A. Phillips et B. Harrison). Symposium II, 40–50.
3. Prentice, Barry E. et Jim Thompson, 2004. Economics of airships for northern resupply. 5th International Airship Convention and Exhibition, Oxford Angleterre, CD-ROM.
4. Capelotti, P.J., 1999. *By Airship to the North Pole: an archaeology of human explo-*

ration. Rutgers Press, New Jersey, 209 p.

5. Althoff, W., 2003. *Potential arctic missions*. In *Airships to the Arctic: moving beyond the roads* (éd. B.E. Prentice, J. Winograd, A. Phillips et B. Harrison). Symposium II, 1–8.
6. Prentice, Barry E., 2003a. *Airship applications in the Arctic: preliminary economic assessment*. American Institute of Aeronautics and Astronautics. 3rd Aviation Technology Integration and Operation (ATIO) technical Forum: CD-ROM.
7. Prentice, Barry E., 2003b. Airship fuel tankers for northern resource development: a requirements analysis. *Actes de la 38^e assemblée annuelle du Groupe de Recherches sur les Transports au Canada* : 592–606.
8. Dick, T.A., 2005. Environmental change and Arctic research. Dans : *Airships to the Arctic. Symposium III, Sustainable northern transportation* (éd. S. Cohen, B. Duncan and B.E. Prentice). Symposium III.

Figure 5
Pourcentage de fréquence pour les jours où les conditions ne sont pas propices au vol des dirigeables. Données pour la période 1994–2004.

Location (jours d'observation)	Conditions météorologiques défavorables (%)	Visibilité de moins de 2 km (%)	Vents de plus de 55 km/h (%)	Pourcentage total de jours où les conditions météorologiques étaient défavorables (%)
Lynn Lake (4008 jours)	~2.0	~0.5	~0.0	~2.5
Churchill (3995 jours)	~5.5	~1.0	~0.8	~7.3
Iqaluit (4009 jours)	~3.2	~1.0	~1.0	~4.5
Resolute (3997 jours)	~9.0	~3.2	~1.5	~13.7
Tuktoyaktuk (2816 jours)	~3.5	~1.5	~0.2	~5.2
Norman Wells (4012 jours)	~1.0	~1.0	~0.0	~2.0

8

INSECTES DE L'ARCTIQUE CANADIEN

Richard A. Ring

Un point de départ convenable pour un article sur les insectes de l'Arctique, au Canada, est la première expédition dans l'Arctique canadien, dirigée par Vilhjalmur Stefansson en 1913–1918. Celle-ci était parrainée par le gouvernement canadien; donc, la plupart des spécimens qui ont été recueillis (y compris les insectes et arthropodes apparentés) sont restés au Canada. Même si les expéditions scientifiques et exploratoires dans l'Arctique ont été nombreuses dans le passé, la plupart des spécimens biologiques recueillis ont été retournés aux pays organisateurs comme le R.-U., bon nombre d'autres pays européens et les É.-U. Le récit de l'expédition canadienne dans l'Arctique, publié par AMS Press à partir de 1919, comporte plusieurs sections sur les insectes et autres invertébrés.

D'autres expéditions de collecte d'insectes ont été menées à partir du Canada à diverses périodes durant le reste de la première moitié du 20^e siècle (1920–1950), mais les beaux jours de l'entomologie arctique canadienne ont commencé avec l'introduction du transport commercial par avion. À compter de 1947, l'enquête sur les mouches piqueuses du Nord et ensuite l'enquête sur les insectes du Nord ont jeté les bases des études plus actuelles sur les insectes de l'Arctique. Durant les années 1960 et 1970, une grande variété d'études ont été entreprises par des groupes et des particuliers. Le programme qui, au début, était axé sur l'obtention et la publication de données sur la taxonomie et la répartition des insectes du Nord s'est diversifié pour donner lieu à des études sur la morphologie, le comportement, l'écologie à tous les niveaux (peuplements, communautés et interactions avec les écosystèmes) et l'écophysiologie. Les travaux ont abouti à la publication d'un précieux ouvrage de Hugh Danks : *Arctic Arthropods: A review of systematics and ecology with particular reference to the North American fauna* (1981). Depuis lors, on s'est beaucoup

intéressé à la recherche sur l'adaptation des insectes dans le Nord, bien que des projets assimilés à des enquêtes se soient poursuivis.

La diversité des insectes de l'Arctique suit la tendance générale en rapport avec la biodiversité animale (et végétale), c'est-à-dire que la diversité, pour ce qui est du nombre d'espèces, diminue à mesure qu'on se déplace de l'équateur vers les pôles. Cependant, la diversité des insectes est beaucoup plus grande dans l'Arctique canadien par rapport à celle qui a été observée à des latitudes semblables dans l'hémisphère Sud. Plus de 6 000 espèces d'insectes et arthropodes apparentés (araignées, acariens, etc.) ont été recueillies, identifiées et nommées au Canada, beaucoup n'ont pas encore été décrites et nommées (1), et je suppose que bon nombre restent à découvrir (2).

Les listes qui ont été compilées permettent de faire des observations intéressantes sur les processus évolutifs. Comparativement à la même taxa des régions tempérées et tropicales, des groupes bien connus comme les éphémères communes (ordre des éphéméroptères), les libellules et les demoiselles (o. odonates), ainsi que les sauterelles, les grillons, etc. (o. orthoptères) diminuent progressivement près de la limite de la forêt de conifères, zone de transition entre la forêt boréale du Nord et la toundra du Bas-Arctique. Ces ordres d'insectes se caractérisent par leur diversité et leur abondance dans les régions tempérées et tropicales, notamment celui des orthoptères (sauterelles et locustes). Parallèlement, la plupart des insectes sociaux, comme par exemple les hyménoptères (fourmis, abeilles et guêpes) sont rarement repérés au-delà de la limite de la forêt, sauf quelques espèces de bourdons (famille des Apidés) qui constituent des petites colonies même jusque dans l'Extrême-Arctique (p. ex., dans l'île d'Ellesmere). Il est difficile d'expliquer, intuitivement ou selon une perspective évolutive, pourquoi l'énorme ordre des coléoptères

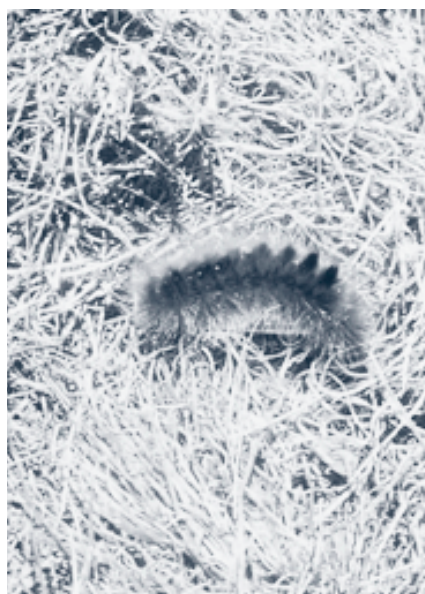
(scarabées) – dont les espèces sont très répandues dans les régions tempérées et tropicales – est si mal en point dans l'Arctique. Après tout, les scarabées constituent plus du tiers de l'ensemble des espèces d'insectes, et le nombre d'espèces d'insectes surpasse celui de toutes les autres espèces de microbes, végétaux et animaux regroupés! Je laisserai des personnes plus compétentes expliquer ce phénomène.

Par contre, l'ordre des diptères (mouches) est prépondérant dans l'Arctique. Les mouches appartiennent à l'un des ordres les plus diversifiés d'organismes vivants, et on peut trouver certaines de leurs espèces dans la plupart des écosystèmes terrestres et aquatiques, y compris les habitats marins. Elles représentent plusieurs niveaux de la structure trophique, et leurs membres comprennent des herbivores, carnivores, détritivores, décomposeurs, hématophages, pollinisateurs, parasitoïdes, ainsi que des ecto et endoparasites! Leur prédominance dans la faune arctique a d'importantes conséquences pour les végétaux, les animaux et les personnes qui vivent dans la région. En tant que pollinisatrices, elles jouent le rôle majeur qui incombe habituellement aux scarabées, aux papillons, aux oiseaux etc. (mais elles ne peuvent remplacer le vent) dans les régions tempérées et tropicales. Plus de 50% des fleurs de l'Arctique sont

CRÉDITS POUR L'ANNÉE POLAIRE INTERNATIONALE

Le 21 septembre, l'honorable Anne McLellan, vice-première ministre, a annoncé que le gouvernement du Canada fournira des nouveaux crédits de 150 millions de dollars, répartis sur six ans, pour l'exécution, avec nos partenaires internationaux, du programme interdisciplinaire innovateur élaboré dans le cadre de l'Année polaire internationale 2007–2008.

pollinisées par des insectes; la contribution des mouches à la pollinisation par les insectes est donc substantielle dans le Nord. En tant que détritivores et décomposeuses, elles sont incomparables, et en tant qu'herbivores elles jouent un rôle très important dans les rapports entre les insectes et les végétaux. En fait, certains affirment (pour l'ensemble des insectes) qu'elles ont à peu près le même impact sur les populations végétales que celui des gros herbivores mammifères, comme le caribou et le bœuf musqué. C'est toutefois la propension de nombreuses familles de diptères à vivre à l'état



Chenille velue de l'Arctique (*Gynaephora groenlandica*) au fjord Alex. L'un des insectes connus qui résistent le mieux au froid. Photo : R. Ring.

de larves dans l'eau douce qui fait que cet ordre est prédominant. Si vous êtes allé dans l'Arctique, vous savez que la région comporte une grande partie d'eaux stagnantes (lacs, étangs, etc.) et de ruisseaux et rivières à débit lent, surtout à cause du pergélisol et d'autres facteurs topographiques. En fait, une bonne part de la toundra arctique semble être composée de plans d'eau et d'îles dispersées ! Ce milieu constitue l'habitat idéal pour les larves de nombreuses familles et de nombreux genres de diptères. Résultat : des populations immenses de larves et de pupes aquatiques vivent et se reproduisent dans la toundra, et on y recense non seulement de nombreux exemplaires, mais aussi un certain nombre d'es-

pèces. Pas surprenant que de nombreuses espèces et de grandes bandes d'oiseaux franchissent chaque année la longue distance jonchée d'obstacles pour atteindre l'Arctique où elles peuvent profiter de cette ressource alimentaire naturelle fiable. Les mammifères terrestres sont aussi touchés, mais ils subissent surtout des effets délétères. Comme bon nombre de ces diptères sont des mouches piqueuses au stade adulte, ils influent beaucoup sur le comportement des mammifères terrestres, comme le caribou, et même sur les Inuit et les autres peuples de l'Arctique canadien. Les migrations et le comportement des caribous sont grandement influencés par les mouches piqueuses, notamment les hypodermes, ces endoparasites insidieux qui se nourrissent du tissu musculaire des caribous. Les Inuit et les autres peuples de l'Arctique (y compris les visiteurs, comme les entomologistes du Sud !), sont eux aussi beaucoup affectés par les mouches piqueuses et les omniprésents maringouins, mouches noires et mouches à chevreuil (les « bulldog »). Le DEET est un bon produit si votre peau le tolère ! Nous devons nous compter chanceux, je suppose, parce que ces insectes ne transmettent pas les maladies causées par des arbovirus (ou autres microorganismes) comme ils le font dans la plupart des autres parties du monde.

Par conséquent, les insectes occupent une partie intégrante de l'ensemble des habitats terrestres et d'eau douce de l'Arctique. On les trouve partout, depuis les petits étangs jusqu'aux grands lacs, depuis les petits ruisseaux jusqu'aux grandes rivières, dans les zones marécageuses et les marais. Dans les milieux terrestres, ils se logent aussi dans les sols et les plantes (lichens, mousses, herbes, arbustes et arbres), ainsi que les végétaux en décomposition et les restes d'animaux. Ils se nourrissent du sang des animaux vivants, en tant que parasites internes et externes. Pour les autres insectes, ce sont des parasitoïdes. Autrement dit, ils exercent leur activité à de nombreux niveaux trophiques dans les écosystèmes arctiques. Enfin, il ne faut pas oublier leur rôle de pollinisateurs pour de nombreuses fleurs arctiques.

Mon programme de recherche du domaine de l'entomologie arctique s'intéresse surtout à l'adaptation des insectes nordiques aux milieux extrêmes de l'Arctique canadien. L'adaptation repose sur un ensemble de caractéristiques, notamment des facteurs morphologiques, physiologiques, sensoriels, de développement et de comportement, qui favorisent la survie et la reproduction de l'organisme dans ces conditions. Deux des facteurs les plus évidents qui influent sur la répartition et l'abondance des insectes en tant que poïkilothermes dans le Nord sont les longs hivers, extrêmement froids, et les courts étés (saisons de croissance). Les insectes se sont adaptés à ces contraintes naturelles de plusieurs façons : par la structure de leur corps (pilosité et mélanisme accrus pour maintenir leur chaleur et les protéger contre les rayons UV nocifs); par leur métabolisme (plus actif aux basses températures que celui de leurs congénères du Sud); et par leur comportement et les stratégies de leur cycle de vie. Cependant, les adaptations sur lesquelles je me suis penché pendant de nombreuses années sont les façons dont les insectes ont réussi à survivre sous des températures hivernales extrêmement basses et malgré le dessèchement inhérent à cette exposition, c'est-à-dire l'écophysiologie de la résistance au froid des insectes. L'Arctique canadien est un « laboratoire naturel » pour ce genre d'études. La plupart des insectes de l'Arctique se préparent à l'arrivée de l'hiver en choisissant un lieu d'hivernage convenable (hibernaculum), où le climat sera vraisemblablement moins rigoureux, comme la couche de déchets, sous la neige (couche subnivale), les matières végétales, les crevasses, ou les terriers des petits mammifères. Ceux qui vivent dans l'eau se limitent habituellement aux endroits non gelés ou s'enfouissent dans le substrat. De nombreuses espèces ont tendance à choisir un endroit qui fond ou qui se réchauffe en premier au printemps (exposé au sud), ce qui leur donne une longueur d'avance pour leur développement durant la courte saison de croissance. D'autres, curieusement, hivernent sur la roche ou dans/sur le tissu végétal au-delà de la limite des neiges perma-

nentes, et sont alors exposées à la température de l'air ambiant!

Les preuves établies par mon laboratoire et beaucoup d'autres montrent que les insectes de l'Arctique survivent en hiver parce qu'ils utilisent deux stratégies : (1) « la tolérance au gel » grâce à laquelle au cours des périodes d'hibernation ils peuvent résister à un certain degré de gel de l'eau de leurs tissus, et (2) « l'intolérance au gel » qui fait que les insectes évitent de geler et hivernent dans un état de surfusion. La phase liquide de leurs

Stratégies de tolérance au froid des insectes

Tolérance au gel : Survie en période de formation de glace dans le corps, mais d'habitude seulement dans les fluides extracellulaires.

Sensibilité au gel : Évitent de geler grâce à la surfusion à divers degrés.

fluides tissulaires dure pendant tout l'hiver. Certaines espèces d'insectes de l'Arctique peuvent survivre de cette façon (en surfusion) à des températures allant de -55°C à -60°C ! Les deux groupes subissent diverses transformations physiologiques et biochimiques qui les préparent à résister à de si basses températures, mais l'une des principales caractéristiques de ces espèces est leur capacité de synthétiser les produits chimiques (cryoprotecteurs) comme le glucose du sucre et le tréhalose, l'alcool de sucre, le glycérol, sorbitol, mannitol, etc. et d'autres composés, avant l'arrivée des conditions délétères de l'hiver. Les

Systèmes de protection

Polyols : Glycérol, sorbitol, mannitol, dulcitol, thréitol, érythritol, ribitol, arabitol, myoinositol et éthylène glycol.

Sucres : Tréhalose, sucrose, glucose, fructose and galactose.

Protéines anti-gel : Font baisser le point de congélation mais pas le point de fusion.

Agents de nucléation : Induit la formation de glace à des températures inférieures au point de congélation relativement élevées.

autres contributions de mon laboratoire (moi-même, étudiants diplômés et adjoints à la recherche) à l'entomologie arctique comprennent notamment : (1) la reconnaissance d'un système multi-cryoprotecteur dans certaines

espèces arctiques selon lequel un « cocktail » de glucose, tréhalose, glycérol, sorbitol et de molécules protéiniques est synthétisé avant l'hibernation, (2) la découverte du plus bas point de surfusion qui ait jamais existé pour un insecte, -61°C pour le scarabée *pytho americanus* de l'Arctique de l'Ouest au Canada, et (3) le recensement de diverses anomalies dans des insectes de l'Arctique et de milieux alpins où la tolérance au gel peut co-exister avec des points de surfusion très bas. Il reste à élucider plusieurs autres anomalies propres aux insectes de l'Arctique, notamment la survie



Cocon de chenille velue. Les chenilles passent la plus grande partie de l'été et tout l'hiver dans ces cocons exposés. Photo: R. Ring.

des coccinelles en l'absence de substances cryoprotectrices connues.

Plusieurs étudiants diplômés ont été inspirés par les insectes de l'Arctique. Lee Humble a fait une importante tentative pour séparer les problèmes co-évolutifs que pose le froid par rapport à la tolérance et/ou résistance au dessèchement. Pour le nématode du saule de l'Arctique, il a prouvé que sa capacité de survivre aux basses températures hivernales et au stress dû au dessèchement étaient des moyens d'adaptation qui se chevauchent. Il a aussi étudié le comportement et l'adaptation en hiver des parasitoïdes de ces nématodes du saule. Neville Winchester a étudié la diversité des larves (porte-bois ou larves de phryganes) de l'ordre des trichoptères et leurs car-

actéristiques biologiques d'hibernation, dans les ruisseaux de la péninsule de Tuktoyaktuk. Dean Morewood a étudié les stratégies propres aux cycles évolutifs et les rapports entre les températures et le développement pour les insectes qui résistent le mieux au froid, les chenilles velues de l'Arctique (*gynaephora lymantriidae*). Cette étude a été menée au plus magnifique oasis biologique de l'Extrême-Arctique, le fjord Alexandra, dans l'île d'Ellesmere, au Nunavut. Durant cette période, un autre étudiant diplômé, Adrian DeBruyn, a étudié le comportement et l'habitat hivernaux

de deux espèces de dytiques (*hydroporus dytiscidae*) qui occupent les mares temporaires au fjord Alexandra. C'est à cette période que je suis devenu fasciné et que m'est venu le désir de collaborer avec les phytoécologistes qui avaient aménagé un site canadien pour l'Expérience internationale sur la toundra (ITEX).

L'ITEX (Canada) a vu le jour au fjord Alexandra en 1990, grâce à l'initiative de M. Greg Henry, phytoécologiste au Département de géographie de l'U.C.-B. C'était la première intervention du Canada suite à une assemblée internationale d'écologistes de la toundra qui

craignaient que les prévisions sur le réchauffement par effet de serre à l'échelle planétaire causé par l'activité humaine se concrétisent très tôt et au plus haut degré aux plus hautes latitudes. Cette expérience à grande échelle menée sur le terrain, en Arctique, devait être un programme de recherche collective à long terme exécuté par des scientifiques de neuf pays, à 26 endroits, pour examiner les effets du réchauffement estival accru sur la végétation de la toundra. Les chercheurs ont convenu d'utiliser une conception expérimentale commune et un ensemble d'espèces semblable, et de surveiller des paramètres communs dans chaque écosystème.

Des grilles composées de petits compartiments découverts translucides, en fibre de verre, qui couvraient une surface de toundra de près de un mètre carré ont été construites dans chacune des localités choisies. Elles se sont avérées efficaces pour augmenter de 1°C à 3°C, en moyenne, la température de l'air ambiant dans les compartiments, soit dans une proportion proche des prévisions établies par les modèles de changement climatique planétaire. J'ai donc estimé que nous avions une occasion idéale d'inclure une composante sur les insectes dans les protocoles ITEX. Après tout, il y a des liens écologiques très étroits entre les insectes et les végétaux ! On étudie donc depuis plusieurs années les effets des compartiments sur les insectes au fjord Alexandra, dans le contexte de l'ITEX. Des spécimens d'insectes, d'araignées et d'acariens ont été prélevés dans six communautés végétales écologiquement distinctes. Les trois principaux objectifs : (1) la comparaison des insectes et des arthropodes (c.-à-d. contrôles) dans les compartiments et à l'extérieur de ceux-ci, à l'aide des pièges à fosse jaunes standard; (2) comme les compartiments ont des effets physiques, notamment l'exclusion de certains insectes volants dont bon nombre sont des pollinisateurs connus des fleurs de l'Arctique, la comparaison de la fréquence de pollinisateurs probables dans les compartiments et à l'extérieur; et (3) l'analyse des effets directs des compartiments sur le

développement et la phénologie des insectes/arthropodes (principalement dans les micro-arthropodes du sol).

Même si on a recueilli une quantité considérable de données à ce jour, le fait que j'aie dû prendre ma retraite est un obstacle majeur à l'analyse des données et à la publication des résultats (je n'ai plus de laboratoire). Cependant, cette activité demeure un objectif primordial de mes « projets de retraite » ! D'autres raisons me font regretter mon départ forcé : les nouvelles attitudes à l'égard de la recherche nordique et la reconnaissance du fait qu'une activité permanente de recherche dans le Nord s'impose si l'on veut préserver la souveraineté du Canada. En outre, dans le domaine de la cryobiologie des insectes, on entreprend de nouvelles recherches sur des sujets passionnants comme l'acclimatation rapide au froid (ARF). Cette acclimatation chez les insectes peut se produire en quelques minutes ou quelques heures, selon un rythme de refroidissement en rapport avec l'écologie et durant la thermopériode, ce qui permet aux insectes de contrôler et de « perfectionner » continuellement leurs réactions physiologiques et leur comportement. La capacité d'ARF est étroitement liée à l'expression des protéines de stress dans l'insecte au cours de l'exposition au froid, à la chaleur et à la déshydratation. Dernièrement, on a aussi réussi à identifier certains locus du gène qui contrôlent l'expression de ces protéines de stress. Cette découverte aura vraisemblablement une portée universelle : elle fait passer ce genre d'études du champ étroit de l'entomologie au domaine de l'expérimentation biologique conventionnelle. Parallèlement, on a réussi dernièrement à confirmer dans des espèces la capacité de certains insectes à dénaturer leur mitochondrie lorsqu'ils se préparent à hiverner, et à les resynthétiser au printemps. Ce phénomène a été décrit pour la première fois par M^{me} Olga Kukal et ses collègues comme une particularité de la chenille velue de l'Arctique; il pourrait s'appliquer à une variété d'animaux qui hivernent dans des milieux extrêmes. On note donc des réalisations passionnantes dans le domaine de la cryobiologie

des insectes, mais je suis particulièrement mécontent du fait que je sois le seul entomologiste au Canada à œuvrer dans cette branche captivante de la recherche, importante pour le pays. Il n'y a personne pour combler le vide !

Au cours des années à venir, le gouvernement canadien, les habitants du Nord et les scientifiques devront faire face à de nombreuses questions actuelles et à d'imminents problèmes. Le réchauffement planétaire et ses effets sur le paysage, les Autochtones, les végétaux et les animaux (auxquels j'ai déjà fait allusion) auront une importance capitale – mais ce ne sera pas le seul enjeu. L'amincissement de la couche d'ozone et l'augmentation du rayonnement UV, les effets imprévisibles des précipitations et de la nébulosité (ou le manque à cet égard) auront d'énormes répercussions sur les températures locales au niveau du sol, des ruisseaux, lacs et rivières de la toundra, et sur les animaux et les végétaux qui vivent dans ces milieux. La fonte des glaciers, du pergélisol et des glaces marines causera aussi des perturbations. Selon les prévisions, d'ici au milieu du siècle (2050) la fonte de la glace de mer aura progressé au point de créer des zones d'eaux libres dans l'archipel Arctique canadien, ce qui ouvrira des voies de transport maritime entre l'Atlantique Nord et le Pacifique Nord. Cela ravive le débat nébuleux mais engagé depuis longtemps sur la souveraineté du Canada dans l'Arctique. La souveraineté du Canada sur les îles de l'Arctique n'est pas contestée (sauf le désaccord actuel avec le Danemark à propos de l'île Hans!), mais les voies navigables qui s'ouvrent entre certaines des îles soulèvent un autre enjeu. Les É.-U. et la Russie, par exemple, croient fermement que ces voies font partie des eaux internationales. Il faudra donc entamer des négociations. Je propose ceci : que chaque équipe scientifique et chaque expédition de prospection qui se dirigent vers le Nord soient dotées d'un porte-drapeau et d'un drapeau canadien. Que les scientifiques montrent le DRAPEAU !

Richard A. Ring est professeur émérite au Département de biologie de l'Université de Victoria.

LA TOUNDRA CHANGEANTE – PALÉOÉCOLOGIE DE L'EXTRÊME-ARCTIQUE

Christopher Ellis

Les écosystèmes terrestres de l'Arctique constituent un thème important en rapport avec la biologie du changement planétaire. Comme on s'attend à un réchauffement climatique très prononcé dans les régions arctiques, au cours des deux dernières décennies des chercheurs ont fait des études écologiques pour comprendre les effets des changements causés par l'homme sur la structure et la fonction des habitats de la toundra. Parmi ces récentes études, la plus connue est peut-être l'expérience internationale sur la toundra (ITEX), à laquelle ont collaboré des écologistes de 12 pays qui travaillaient dans des stations circumpolaires à une haute latitude de 27°N (www.itex-science.net). La démarche de l'ITEX visait à simuler le changement de climat dans l'ensemble de ces sites, donc à faire la lumière sur la réaction des écosystèmes dans des types de végétation différents. L'expérience-simulation de l'ITEX est une méthode très utilisée par les groupes de recherche. Les expériences consistaient à manipuler les facteurs locaux qui changeront en même temps que le climat, c.-à-d. la température, l'humidité des sols et les niveaux d'éléments nutritifs limitants, pour démontrer l'effet direct de ces variables en interaction sur la végétation de la toundra (pour un compte rendu récent, voir Wookey et Robinson, 1997).

En réalité, les expériences récentes en rapport avec l'écologie de la toundra sont limitées à des échelles de temps relativement courtes, soit habituellement moins de dix ans. Une expérience serait considérée comme longue si elle s'était poursuivie pendant vingt ans, même si la réaction du complexe végétation-sol peut s'étaler sur des siècles. Par conséquent, les chercheurs ont tenté de «mettre à l'échelle» ces expériences à court terme, pour savoir comment le changement de climat prévu pourrait affecter les écosystèmes de la toundra au cours de plusieurs décennies ou même de plusieurs siècles. Pour une partie importante de ce processus de mise à l'échelle on devrait utiliser l'indice paléocologique comme source de renseignements sur la dynamique à long terme d'un écosystème. La paléocologie a joué un rôle central pour confirmer ou réfuter des observations à court terme faites sur de longues périodes dans les écosystèmes des basses latitudes (p. ex., bourières et forêts dans des zones tempérées). On pourrait aussi faire de telles études dans les hautes latitudes, pour déterminer si la sensi-

bilité au climat décrite dans les études à court terme pourrait aussi avoir prise sur le développement des habitats de la toundra à long terme (p. ex., centaines ou milliers d'années). Actuellement, on possède très peu de données paléocologiques pertinentes pour les habitats terrestres de la toundra, et cette lacune est particulièrement cruciale dans l'Extrême-Arctique. Donc, on n'a pas le contexte à long terme essentiel pour faire des observations sur la sensibilité de la végétation de la toundra au réchauffement du climat qui a été démontrée par des expériences à court terme. Cet article traite de l'une des rares études sur la paléocologie d'un écosystème terrestre de l'Extrême-Arctique.

L'ÎLE BYLOT ET LE SITE DE L'ÉTUDE SUR LES ZONES HUMIDES

L'étude a été menée sur l'île Bylot (env. 73°N, 80°O), qui s'étend au Nord-Est de l'île de Baffin, dans le parc national Sirmilik (figure 1). L'île Bylot mesure env. 11 000 km², constitués

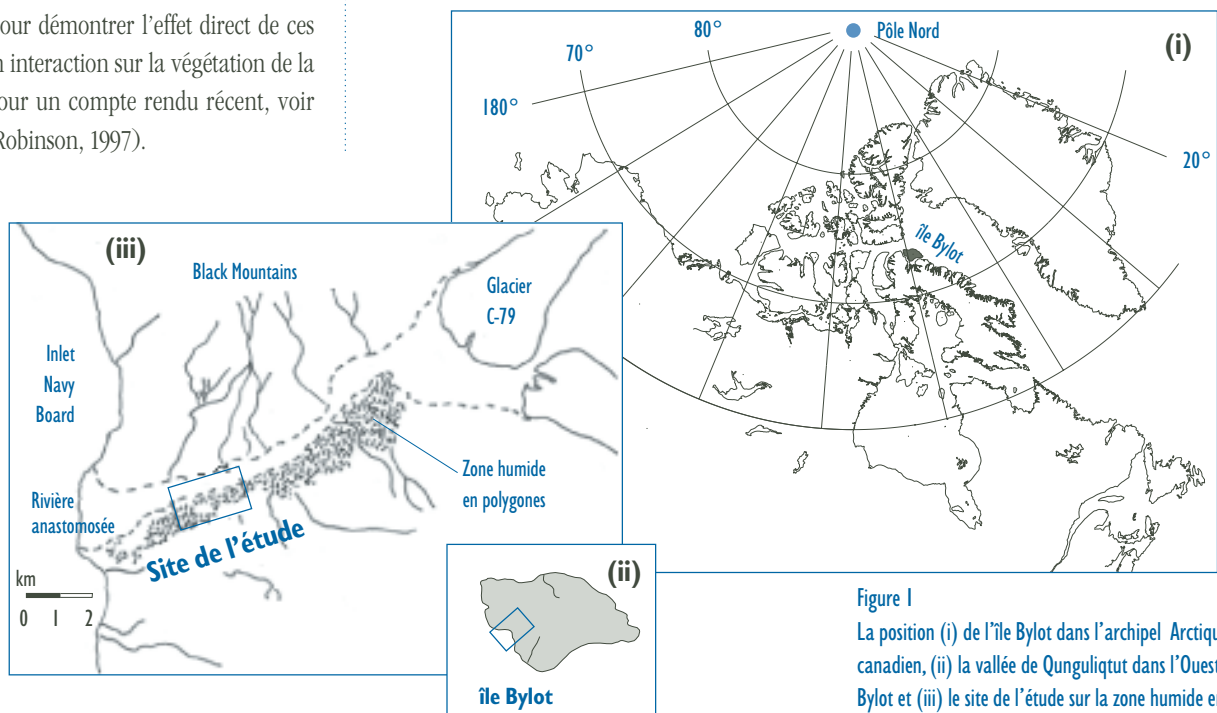
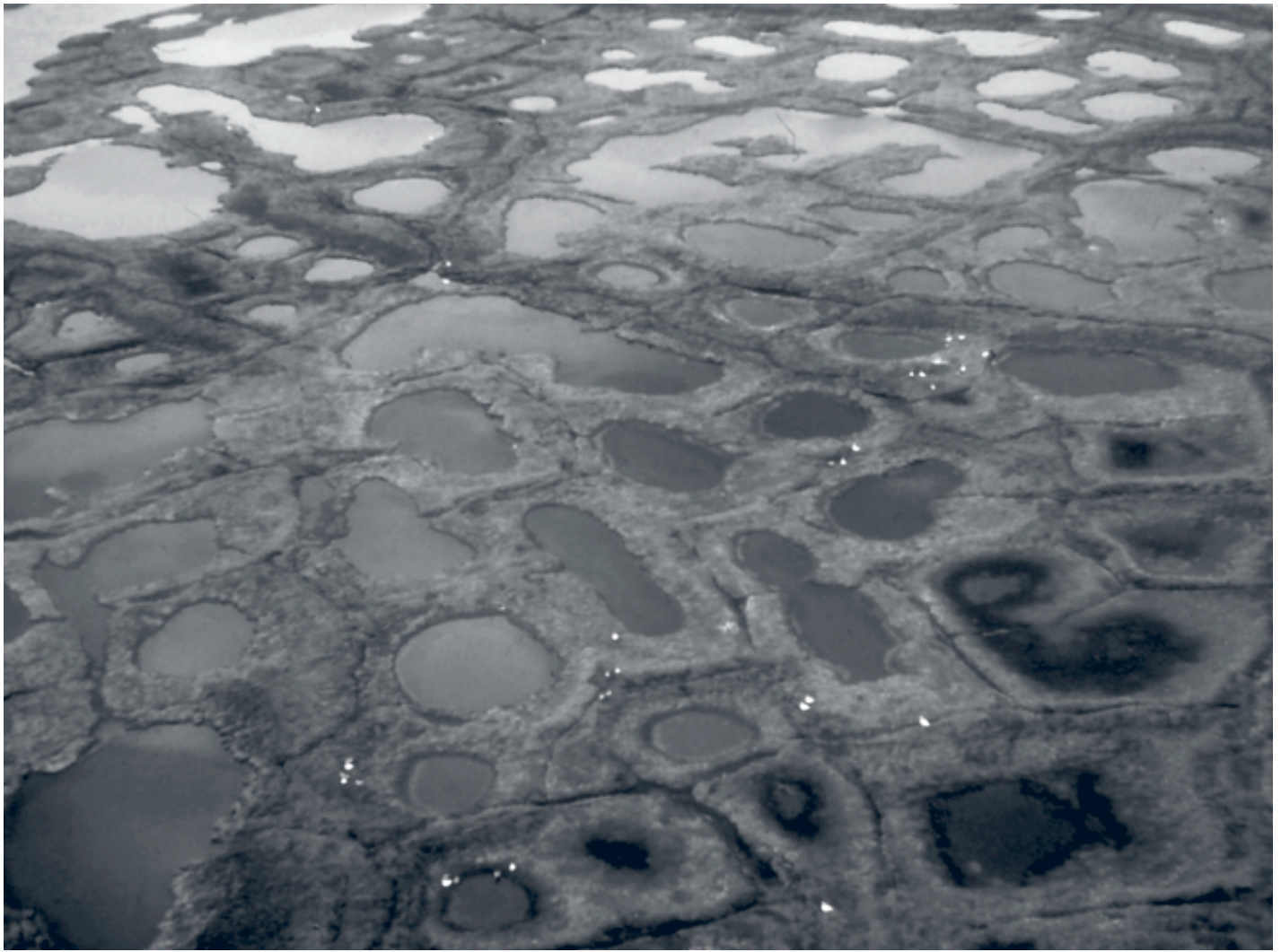


Figure 1
La position (i) de l'île Bylot dans l'archipel Arctique canadien, (ii) la vallée de Qungulikut dans l'Ouest de l'île Bylot et (iii) le site de l'étude sur la zone humide en polygones dans le Sud de la vallée de Qungulikut.



surtout de zones montagneuses (jusqu'à env. 1 600 m). Elle est couverte par une calotte glaciaire centrale et des glaciers rayonnants. La marge de l'île inclut une série de plateaux et un désert polaire à végétation clairsemée. Aux endroits où les pentes des plateaux sont proches de la mer, la couverture végétale devient plus consistante, et les zones de faible élévation sont dominées par une toundra à éricacées et à buttes de gazon. Des zones humides se créent aux endroits où l'eau de la fonte printanière s'accumule. Ces zones humides sont des parcelles habituellement isolées sur les plateaux de faible hauteur, mais elles forment de vastes écosystèmes au fond des vallées glaciaires. Alimentées selon les saisons par l'eau et les nutriments provenant des hautes

terres environnantes et des bassins hydrographiques adjacents, les zones humides basses sont des bourbiers « minérotrophiques » relativement productifs, qui renferment une grande variété d'organismes vivants. Sur l'île Bylot, la végétation de ces bourbiers comprend surtout des rouches (p. ex., *carex aquatilis* var. *stans*, *eriphorum scheuchzeri*), des herbes (p. ex., *arctagrostis latifolium*, *dupontia fischeri*, *pleuropogon sabinei*) et des mousses de marais (p. ex., *drepanocladus*, *aulocomnium*), qui constituent l'habitat estival essentiel de la sauvagine migratrice. C'est pourquoi ces bourbiers sont appelés « oasis polaires ».

Nous avons examiné l'évolution à long terme de l'une de ces zones humides de l'Extrême-Arctique, dans la vallée de Qunguliquut, sur la partie occidentale de l'île Bylot (figure 1). Le site de l'étude comprenait un système

Figure 2
Polygones concaves inondés par l'eau de fonte printanière. À noter que certains polygones concaves sont plus humides (photo du milieu) que d'autres (polygones plus secs en bas, à droite). La différence dans le degré d'humidité des polygones concaves adjacents est une caractéristique du complexe de polygones. Photo : C. Ellis.

constitué de grandes terrasses au sud de la vallée, qui dominaient le canal de la rivière adjacente. Les terrasses sont formées par l'accrétion des sables éoliens et du silt et les dépôts simultanés de tourbe (Allard, 1996). Un réseau de coins de glace se forme durant l'aggradation des terrasses, ce qui donne une zone humide complexe en polygones (figure 2). La formation de ces coins de glace est cruciale pour notre méthodologie et pour l'interprétation des résultats.

D É V E L O P P E M E N T D E S P O L Y G O N E S E T R E C O N S T R U C T I O N P A L É O É C O L O G I Q U E

La formation de coins de glace commence aux endroits où le terrain exposé depuis peu aux températures rigoureuses de l'hiver subit une contraction thermique, lorsque des fissures polygonales apparaissent (figure 3a). L'eau de fonte qui pénètre dans les fissures au printemps et en été regèle par la suite, formant ainsi des veines de glace (figure 3b). Les cassures permanentes qui se produisent dans ces veines de glace, leur inondation causée par l'eau de fonte, ainsi que le regel et les ruptures ultérieurs créent des ajouts progressifs et un grossissement qui produisent des masses de glace de terre en forme de coins. L'expansion progressive des coins de glace déplace les cryosols (sols gelés) environnants, ce qui avec l'expansion thermique des terres adjacentes crée des bombements ou bordures secs qui entourent le centre des polygones plus bas et plus humides formant ainsi des polygones concaves (figure 3c). Dans les milieux de dépôts sédimentaires, les coins de glace «syngénétiques» s'élèvent à la verticale à mesure que la limite du pergélisol (c.-à-d. la couche supérieure du pergélisol) s'élève avec l'accrétion des sédiments. Les coins syngénétiques résultent de l'aggradation à long terme de sédiments riches en tourbe dans des conditions limitantes, c'est-à-dire la sédimentation lente continue et le fissurage par le gel répété (figures 3d et 3e). Donc, les polygones concaves, au site de Qunguligtut, auront allongé du fait de la croissance des coins de glace syngénétiques à mesure que les sédiments qui forment les terrasses se seront accumulés.

Nous avons étudié le développement à long terme de cinq polygones concaves distincts. Nous avons prélevé des carottes de tourbe dans le centre gelé des polygones, à l'aide d'un carottier actionné par une machine (figures 3e et 4). Nous avons examiné les sédiments recueillis pour nous assurer que le litage était horizontal, et pas perturbé par la cryoturbation (mélangeage). Les carottes qui vont de la surface des polygones jusqu'à la

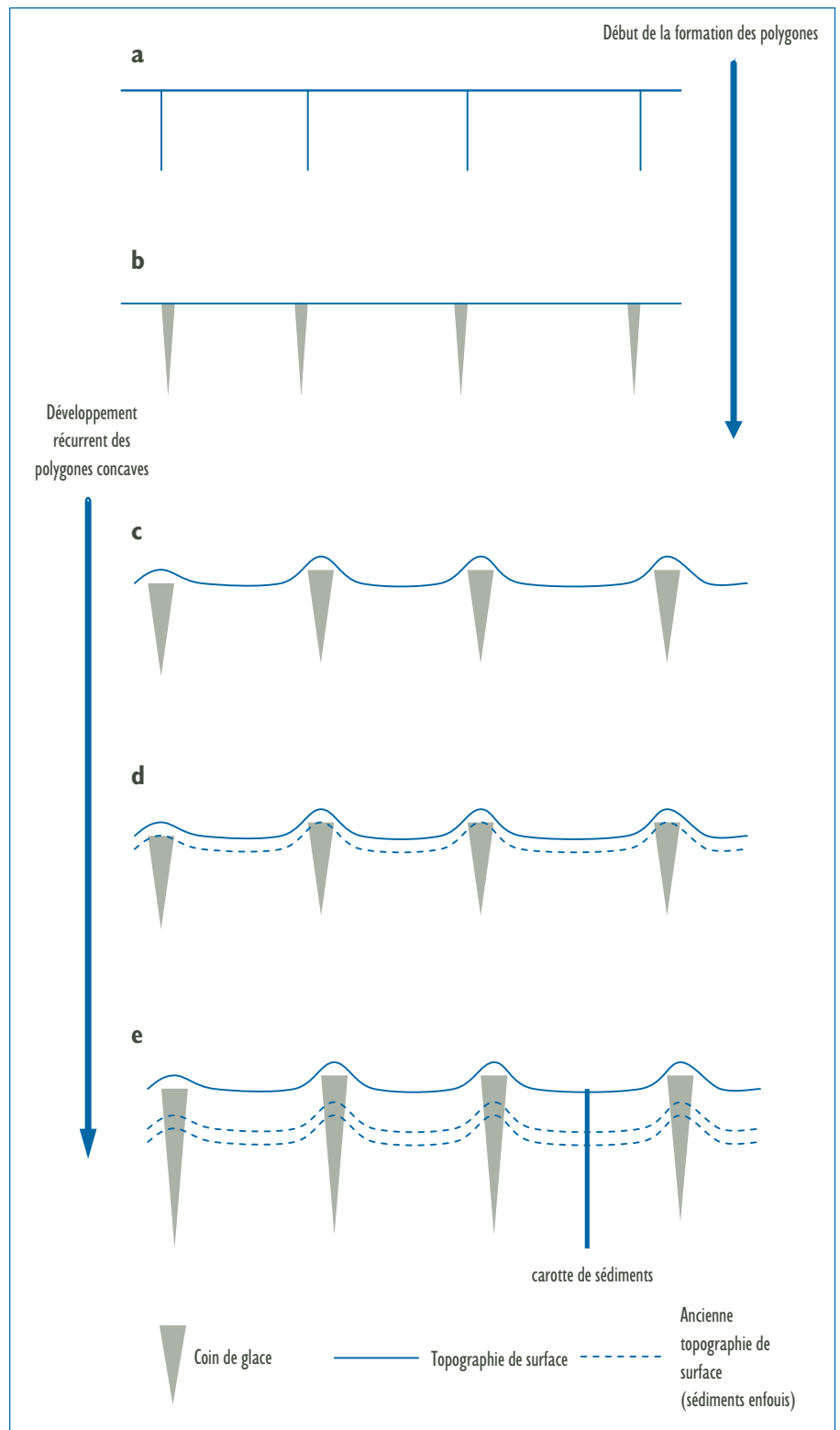


Figure 3
Schéma montrant le début de la formation et le développement récurrent des polygones concaves (voir texte, Développement des polygones et reconstruction paléocologique, pour une description du processus).

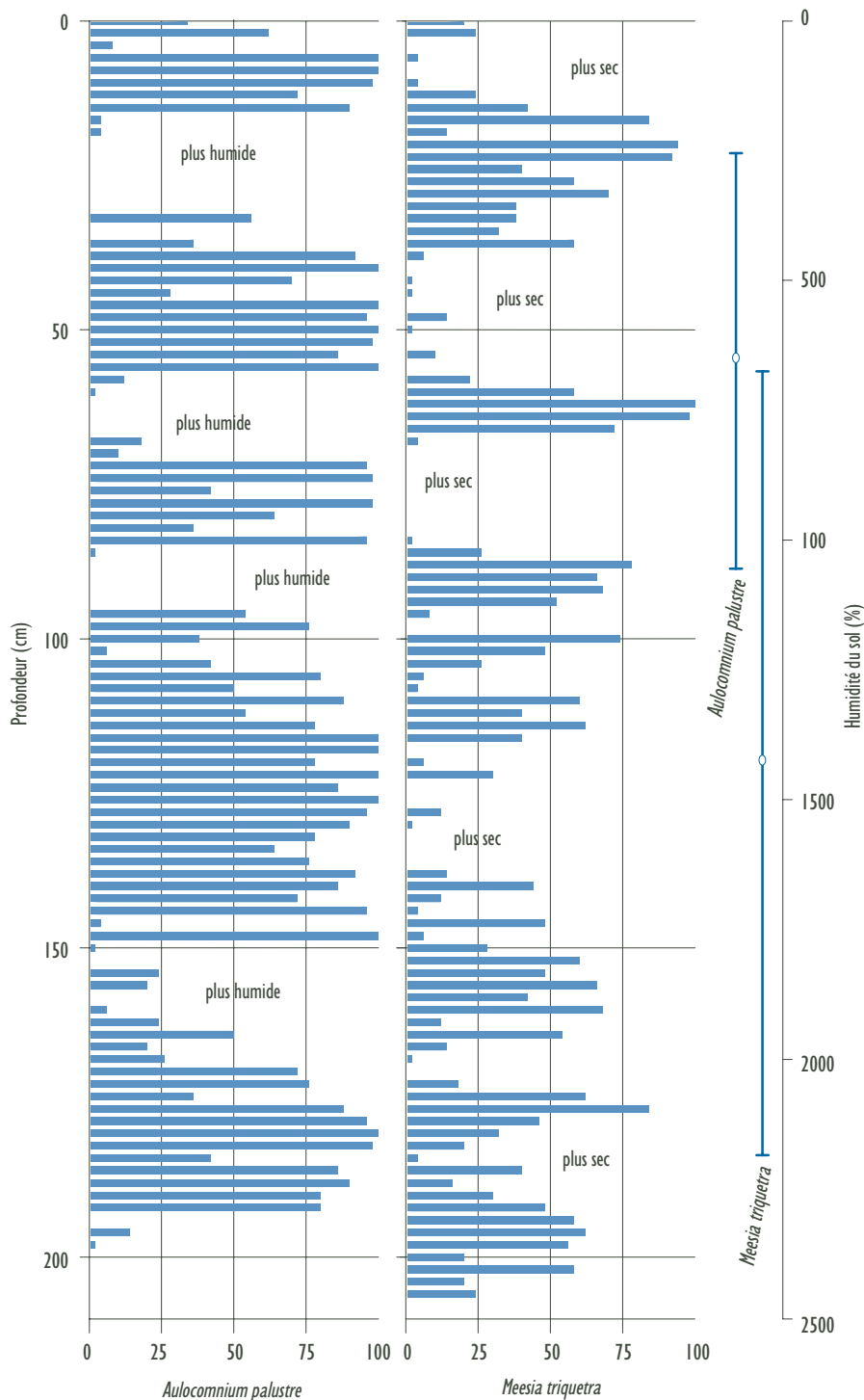


Figure 4
 Indice paléoécologique sommaire pour deux espèces de mousses différentes : *aulocornium palustre* et *meesia triquetra*. L'analyse écologique a montré une nette différence dans l'humidité du sol optimale et la marge de tolérance de chaque espèce. Cette information laisse supposer que des changements se sont produits dans le passé dans l'humidité du sol, au cours du développement des polygones, c.-à-d. à mesure que les sédiments s'accumulaient.

base minérale des sédiments ont été extraites sur une profondeur de deux à trois mètres. Elles renfermaient un mélange de restes de végétaux non décomposés et de silts éoliens, qui avaient formé des dépôts à la longue, à mesure que la hauteur des polygones augmentait. On pensait qu'il serait possible de reconstituer le changement qui se produit dans la végétation au cours du développement des polygones, en analysant les restes de végétaux non décomposés (surtout des mousses), préservés dans les couches superposées des sédiments des carottes (cf. figure 3e). Celles-ci ont été découpées en tranches de 2 cm, et des restes de mousses ont été extraits de chaque tranche (horizon) et analysés. Des petits échantillons de mousse ont été recueillis de différents horizons et datés par le radiocarbone, ce qui a donné une période de référence pour le développement des polygones.

C H A N G E M E N T D A N S
 L A V É G É T A T I O N A U
 C O U R S D U
 D É V E L O P P E M E N T
 D E S P O L Y G O N E S

L'indice des restes de mousses a montré une étonnante variation dans la végétation du passé au cours du développement des polygones (figure 4). On a combiné l'indice paléo-écologique et la recherche écologique pour examiner les facteurs environnementaux qui régissent la répartition des mousses dans le complexe de polygones actuel. L'étude écologique a montré de nettes différences, *spatialement* prévisibles, entre les espèces de mousses qui poussent dans des communautés représentatives de milieux plus secs (espèces mésiques) et celles qui poussent dans des communautés représentatives de milieux plus humides (espèces hydriques). Toutefois, l'indice paléoécologique laisse supposer que pour un site au centre d'un polygone, les différences écologiques équivalentes s'étaient créées *temporellement*, au cours du développement des polygones (figure 4). Donc, les différences entre les espèces de mousses préservées dans les sédiments ont indiqué des changements récurrents dans l'hydrologie des polygones à



la longue, à mesure que ceux-ci s'allongeaient et que les sédiments s'accumulaient.

EFFETS CLIMATIQUES SUR LE DÉVELOPPEMENT DES POLYGONES

Nous avons tenté de déterminer les effets que pouvait exercer le climat sur le développement des polygones, en comparant l'indice de végétation datée au radiocarbone à des indicateurs paléoclimatiques indépendants pour l'archipel arctique de l'Est (Bradley, 1990) : valeurs moyennes pour cinq ans du pourcentage de fonte dans la stratigraphie de la carotte de glace Agassiz-84, île d'Ellesmere (Koerner et Fisher, 1990) et valeurs moyennes pour cinq ans de $\delta^{18}\text{O}$ pour les stratigraphies combinées de deux carottes adjacentes prélevées dans la calotte glaciaire de l'île Devon (Paterson *et al.*, 1977). Ces carottes fournissent des indicateurs des températures estivales du passé (pourcentage de fonte) et de la température annuelle régionale moyenne ($\delta^{18}\text{O}$).

Nous avons constaté qu'au cours d'une seule période allant jusqu'au Petit âge glaciaire inclusivement (env. 530–300 ans av. J.C.), le changement dans la végétation reconstituée et l'humidité du sol était prononcé et uniforme dans l'ensemble des polygones examinés et présentait une étroite corrélation

Figure 5
Prélèvement d'une carotte de sédiments du pergélisol. Le carottier a été construit sur mesure par Michel Allard (Université Laval), qui supervise (à gauche). Opérateurs : Daniel Fortier (au centre) et Isabelle Duclos (à droite).
Photo : C. Ellis.

Figure 6
La force des signaux climatiques dans les indices paléoclimatiques des polygones (comparativement aux indicateurs paléoclimatiques indépendants; pourcentage de fonte et $\delta^{18}\text{O}$). Voir Ellis et Rochefort (en cours d'impression) pour une analyse complète.

<i>Force du signal climatique</i>	<i>Occurrence temporelle à travers toutes les carottes</i>	<i>Période</i>
Changements vers les conditions paléoclimatiques plus sèches ou plus humides constants à travers toutes les carottes de polygones, associés aux niveaux de plus grande ou plus petite valeur du pourcentage de fonte/ $\delta^{18}\text{O}$	6 % de l'indice paléoclimatique (env. 225 années)	Petit âge glaciaire
Changements vers les conditions paléoclimatiques plus sèches ou plus humides inconstants à travers toutes les carottes de polygones, pourtant associés aux niveaux de plus grande ou plus petite valeur du pourcentage de fonte et $\delta^{18}\text{O}$	44 % de l'indice paléoclimatique (env. 1710 années)	
Aucune association entre les carottes de polygone et les indices paléoclimatiques	50 % de l'indice paléoclimatique (env. 1950 années)	

avec les indices des carottes de glace pour le pourcentage de fonte et $\delta^{18}\text{O}$ (Ellis et Rochefort, 2004; Ellis et Rochefort, en cours d'impression). En revanche, pour la plus grande partie de la période de développement les changements de végétation examinés étaient soit (i) liés d'une manière incohérente aux valeurs substitutives du climat ou (ii) pas du tout liés aux valeurs substitutives du climat (figure 6).

GÉOMORPHOLOGIE PÉRIGLACIAIRE ET DÉVELOPPEMENT DES POLYGONES

Les changements périodiques dans la végétation reconstituée et l'humidité du sol peuvent s'expliquer en l'absence d'influence climatique (env. 50 % de l'indice paléoclimatique [figure 6]) par les mécanismes connus de la géomorphologie périglaciaire. Ainsi, le bilan hydrique (ΔS) d'une parcelle située au centre d'un polygone peut être à peu près :

$$\Delta S = P + Qg + Qs - ET \quad (1)$$

Cela est attribuable aux doubles mécanismes du contrôle climatique et/ou de la géomorphologie (figure 7). Les effets climatiques incluent les précipitations (P) et l'évapotranspiration (ET). La géomorphologie (c.-à-d. la topographie du polygone) régit l'apport en eau et l'écoulement de l'eau pour les eaux souterraines et de surface (Qg et Qs) et modifie l'apport provenant des précipitations (P) car les polygones concaves accumulent plus

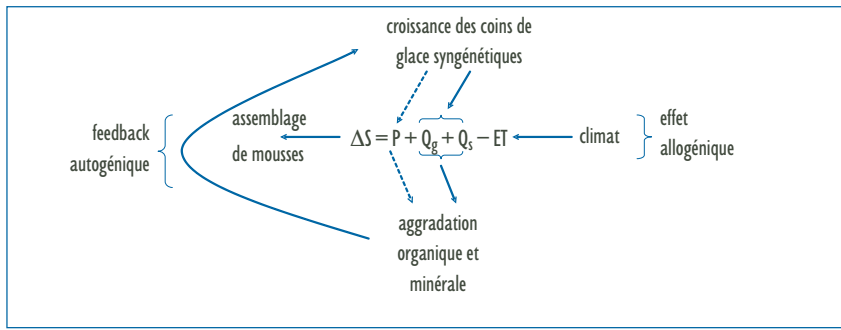


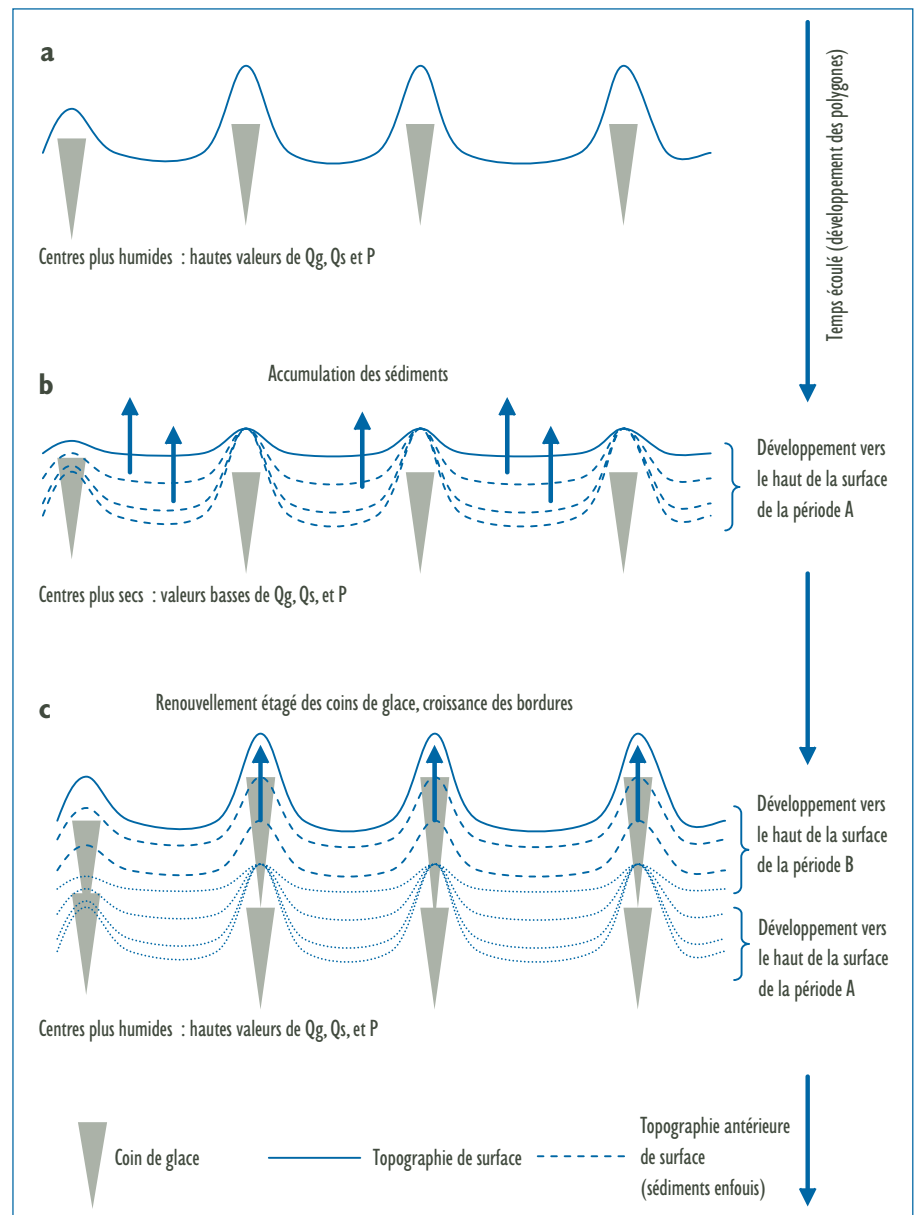
Figure 7
Diagramme montrant l'effet du climat et de la géomorphologie sur l'humidité du sol d'une parcelle d'un polygone de zone humide. L'effet de feedback autogénique supposé entre la croissance des coins de glace et les dépôts de sédiments est mis en évidence.

de neige en hiver et les polygones moins profonds sont vidés par le vent (Rovansek *et al.*, 1996; Young *et al.*, 1997). Cependant, le contrôle climatique peut aussi être indirect, à cause de l'effet de la topographie sur la croissance des coins de glace (Kasper et Allard, 2001) qui influe sur l'humidité du sol (P , Q_g et Q_s) (Rovansek *et al.*, 1996; Young *et al.*, 1997).

L'alternance de périodes plus humides et de périodes plus sèches au cours du développement des polygones peut s'expliquer si la topographie d'un polygone change au cours du développement, qui comprend des périodes où celui-ci est plus profond (bordures plus hautes et centre plus bas) et donc plus mouillé, ainsi que des périodes intercalaires où il est moins profond (bordures plus basses et centre plus haut) et plus sec. Ces changements peuvent s'expliquer par le feedback entre l'accumulation de sédiments, régie par l'apport de matières organiques et de minéraux, et la croissance vers le haut des coins de glace limitée par le taux d'accumulation de sédiments (figures 7 et 8). Si la plus grande humidité correspond à des périodes où l'amplitude entre les bordures et le centre du polygone est relativement grande (valeurs plus élevées pour Q_g , Q_s et P), la croissance vers le haut des coins de glace syngénétiques, et le développement continu des bordures, seront limités durant ces périodes humides par leur hauteur au-dessus des sédiments environnants (figures 8a). La croissance vers le haut des bordures peut ralentir ou cesser à une hauteur seuil au-dessus des sédiments environnants, et elle peut reprendre seulement après une période où une quantité de sédiments suffisante pour assurer la croissance continue des coins de glace s'est

accumulée dans le centre du polygone. Cette période intermédiaire d'accumulation de sédiments diminuera l'amplitude entre les bordures et le centre du polygone, et donc les valeurs de Q_g , Q_s et P , entraînant ainsi un changement (le sol perd une partie de son humidité et devient plus sec) évident dans l'indice paléoécologique qui montre un peuplement de mousses sèches (figures 8b). Un processus de formation de coins de glace étagés qui donne un motif à chevrons pour les

Figure 8
Schéma montrant comment le feedback entre la croissance des coins de glace et la sédimentation pourrait expliquer les changements périodiques dans l'humidité du sol des polygones, indépendamment de l'influence du climat.



coins de glace (prouvée par les études sur le terrain) pourrait donc expliquer les passages récurrents d'une période plus humide à une période plus sèche au cours du développement à long terme des polygones concaves (Ellis et Rochefort, 2004).

R É P O N S E
C L I M A T I Q U E
M O D I F I É E P A R L A
G É O M O R P H O L O G I E
L O C A L E

Les passages à une période plus humide ou plus sèche sont irréguliers entre les carottes des polygones sur plus de 44% env. de l'indice paléocologique (figure 4). Durant ces périodes, la plus grande humidité ou la plus grande sécheresse pourrait être associée aux valeurs contrastantes plus élevées ou plus faibles du pourcentage de fonte et de $\delta^{18}O$ dans les polygones adjacents. Lorsque la correspondance entre l'indice paléocologique et les relevés climatiques substitutifs montre un contraste pour plusieurs carottes, elle doit être considérée comme équivoque. Néanmoins, une telle réponse peut représenter la modification d'un effet climatique régional causé par les particularités géomorphologiques locales. Il est important de se rappeler que les changements dans l'humidité du sol (sec-humide) qui se sont produits dans le passé et qui expliquent les changements périodiques dans les peuplements de mousses (mésiques-hydriques) peuvent être considérés comme propres aux polygones individuels, c.-à-d. que les bordures entourant les centres plus bas reposent sur des coins de glace et font office de ligne de partage des eaux et de barrière entre les polygones adjacents. Donc, si un polygone était sec (p. ex., polygone b [figures 8b] avec plus basses bordures entourant son centre et faibles valeurs de Q_g , Q_s et P) et un autre humide (p. ex., polygone a [figure 8a] avec plus hautes bordures entourant son centre et plus hautes valeurs de Q_g , Q_s et P), un passage à un climat plus humide et plus froid pourrait être enregistré dans le polygone b, mais pas dans le polygone a, et vice versa. Par conséquent, une plus grande humidité et une

plus grande sécheresse dans l'indice paléocologique de l'humidité du sol, qui correspondent entre les carottes des polygones à des valeurs paléoclimatiques substitutives contrastantes plus élevées et plus faibles, pourraient dénoter une influence climatique à long terme, même si des modifications ont été enregistrées dans les carottes individuelles, en raison des particularités géomorphologiques locales.

C O N S É Q U E N C E S D E S
C H A N G E M E N T S D U
P A S S É D A N S L A
V É G É T A T I O N E T
L ' H Y D R O L O G I E

On a mentionné plusieurs mécanismes éventuels pour expliquer les changements observés dans l'humidité du sol au cours du développement des polygones. La confirmation ou la réfutation de l'existence de ces mécanismes, pour déterminer leur importance relative, dépend d'une étude paléocologique plus poussée. Cependant, quel que soit le mécanisme exact, il ne fait aucun doute que le degré d'humidité du sol a considérablement changé au cours du développement des polygones sur des échelles décennales-centennales (figure 9). Ces changements sont importants parce que l'humidité du sol exerce un contrôle sur l'écophysologie de la toundra au moyen de la production, de la décomposition et des cycles nutritifs, ce qui régit l'équilibre de l'apport et des rejets de CO_2 . Les expériences qui visent à expliquer l'effet net du réchauffement climatique sur l'humidité du sol et le bilan-C des parcelles de toundra (Johnson *et al.*, 1996) appuient les données d'observation qui montrent qu'un changement dans les sols allant d'un net apport en carbone à un rejet de carbone accompagne l'assèchement récent des habitats de la toundra (Oechel *et al.*, 1993 1995; Weller *et al.*, 1995). On pourrait s'attendre à ce qu'une nappe phréatique abaissée et une fonte accrue accélèrent le rythme de décomposition du sol (source de CO_2) par rapport à la photosynthèse (puits de CO_2), pour que l'équilibre des sols de la toundra change, c'est-à-dire qu'au lieu d'un apport ou stockage

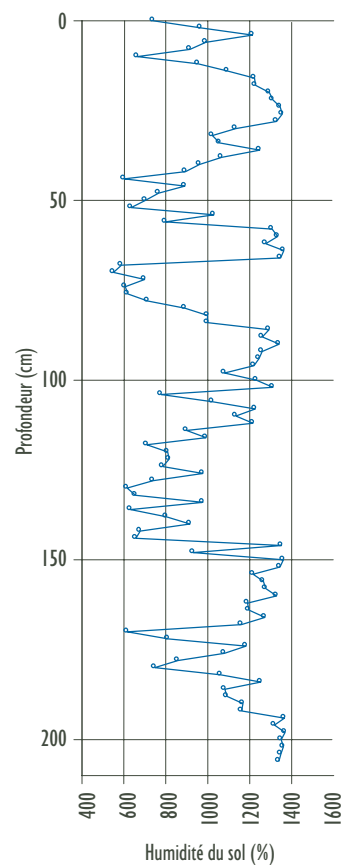
de carbone, il y aurait un rejet de carbone, ce qui donnerait un effet de feedback positif sur le réchauffement planétaire causé par le CO_2 . L'ampleur du changement dans l'humidité du sol reconstituée durant le développement des polygones est suffisante pour laisser supposer une variation dans le rôle fonctionnel (flux de CO_2) de la zone humide au cours de son développement à long terme (figure 9).

C O N C L U S I O N S

Les résultats de notre étude prouvent deux points majeurs:

1. Il pourrait être nécessaire que les modèles utilisés pour prédire le changement à long terme dans la fonction des habitats terrestres de la toundra en rapport avec l'écosystème (notamment les effets du futur

Figure 9
Changement dans l'humidité du sol au cours du développement d'une zone humide en polygones. La reconstitution est basée sur une moyenne pondérée de régression des optima d'humidité pour 14 espèces de mousses (carotte BY-A, voir Ellis et Rochefort 2004, en cours d'impression).



réchauffement planétaire) tiennent compte de la variabilité inhérente durant le développement de l'écosystème. Les sols riches en tourbe conjugués aux zones humides de l'Arctique ont contribué à la formation d'un net puits de carbone durant l'Holocène, et on estime qu'ils renferment >97% de la réserve de carbone de la toundra qui comprend env. $180\text{--}190 \times 10^{15}$ g de carbone du sol (Post *et al.*, 1982; Oechel et Vourtilis, 1994). Une plus grande compréhension de la variabilité naturelle dans les zones humides de l'Arctique est essentielle à la gestion des réservoirs de carbone à l'échelle mondiale.

2. L'existence des mécanismes qui régissent les variations de l'humidité des sols durant le développement des polygones, mentionnés dans cette étude, devrait être confirmée ou réfutée. Les résultats que nous avons obtenus laissent supposer que les expériences à court terme ont peut-être négligé l'important rôle de la géomorphologie périglaciaire dans la modification de l'effet régional du climat à des échelles locales. Cela est inhabituel, parce que les groupements de végétation fortement liés à la géomorphologie sont une caractéristique visible du paysage de la toundra. Cependant, nous prétendons que le développement des polygones à long terme pourrait avoir été périodiquement affecté par la variabilité climatique prononcée (c.-à-d. durant le Petit âge glaciaire). Le corollaire: comme on s'attend à un important réchauffement climatique causé par l'homme, même les écosystèmes de l'Extrême-Arctique seront sensibles aux futurs changements de climat. Néanmoins, la prévision des effets du réchauffement climatique sur les zones humides de l'Extrême-Arctique pourrait demander une plus grande compréhension de l'interaction entre le système végétation-sols et les processus périglaciaires.

Le principal champ de recherche de Christopher Ellis est la structure et la dynamique des communautés écologiques (surtout les

mousses et les lichens). Chris, qui travaille maintenant au Royal Botanic Garden, à Édimbourg (R.-U.), entretient des liens étroits avec Line Rochefort et son groupe de recherche de l'Université Laval, Québec.

Remerciements

C'est grâce à une bourse de recherche postdoctorale (1999–2001; crédits fournis par le CRSNG, le FCAR, le Centre d'études nordiques et la Faculté des sciences des l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval) que nous avons pu mener des études paléocéologiques pour examiner le développement du complexe de polygones de l'île Bylot, avec la participation de Line Rochefort, membre de l'équipe du « Goose Camp » de Gilles Gauthier. L'équipe pluridisciplinaire, dont la plupart des membres sont rattachés à l'Université Laval, Québec, visite l'île chaque année. Elle s'installe dans un petit camp pour étudier les divers aspects de l'écologie de l'Extrême-Arctique. Je m'estime privilégié d'avoir passé deux étés avec eux à un endroit réellement magnifique.

Références

- Allard, M., 1996. Geomorphological changes and permafrost dynamics: key factors in changing arctic ecosystems. An example from Bylot Island, Nunavut, Canada. *Geoscience Canada*, 23, 205–212.
- Bradley, R.S., 1990. Holocene paleoclimatology of the Queen Elizabeth Islands, Canadian High Arctic. *Quaternary Science Reviews*, 9, 365–384.
- Ellis, C.J. et L. Rochefort, 2004. Century-scale development of polygon-patterned tundra wetland, Bylot Island (73°N, 80°W). *Ecology*, 85, 963–978.
- Ellis, C.J. et L. Rochefort, en cours d'impression. Long-term sensitivity of a High Arctic wetland to Holocene climate change, Bylot Island (73°N, 80°W). *Journal of Ecology*.
- Johnson, L.C., G.R. Shaver, A.E. Giblin, K.J. Nadelhoffer, E.R. Rastetter, J.A. Laundre, et G.L. Murray, 1996. Effects of drainage and temperature on carbon balance of tussock tundra microcosms. *Oecologia*, 108, 737–748.

- Kasper, J.N. et M. Allard, 2001. Late-Holocene climatic changes as detected by the growth and decay of ice wedges on the southern shore of Hudson Strait, northern Québec, Canada. *Holocene*, 11, 563–577.
- Koerner, R.M. et D.A. Fisher, 1990. A record of Holocene summer climate from a Canadian high-arctic ice core. *Nature*, 343, 630–631.
- Oechel, W.C., S.J. Hastings, G. Vourtilis, M. Jenkins, G. Riechers et N. Grulke, 1993. Recent change of arctic tundra ecosystems from a net carbon dioxide sink to a source. *Nature*, 361, 520–523.
- Oechel, W.C., G.L. Vourtilis, S.J. Hastings et S.A. Bochkarev, 1995. Change in arctic CO₂ flux over two decades: effects of climate change at Barrow, Alaska. *Ecological Applications*, 5, 846–855.
- Paterson, W.S.B., R.M. Koerner, D. Fisher, S.J. Johnson, H.B. Clausen, W. Dansgaard, P. Bucher et H. Oeschger, 1977. An oxygen isotope climatic record from the Devon Island ice cap, arctic Canada. *Nature*, 266, 508–511.
- Rovaneck, R.J., L.D. Hinzman et D.L. Kane, 1996. Hydrology of a tundra wetland complex on the Alaskan arctic coastal plain, U.S.A. *Arctic and Alpine Research*, 28, 311–317.
- Weller, G., F.S. Chapin, K.R. Everett, J.E. Hobbie, D. Kane, W.C. Oechel, C.L. Ping, W.S. Reeburgh, D. Walker et J. Walsh, 1995. The arctic flux study: a regional view of trace gas release. *Journal of Biogeography*, 22, 365–374.
- Wookey, P.A. et C.H. Robinson, 1997. Responsiveness and resilience of high arctic ecosystems to environmental change. *Opera Botanica*, 132, 215–231.
- Young, K.L., M.-K. Woo et S.A. Edlund, 1997. Influence of local topography, soils, and vegetation on microclimate and hydrology at a high arctic site, Ellesmere Island, Canada. *Arctic and Alpine Research*, 29, 270–284.

ÉTUDE RÉTROSPECTIVE QAUJIVALLIANIQ INUUSIRIJAUVALAUQTUNIK SUR LE SUICIDE

Jack Hicks, Laurence Kirmayer et Gustavo Turecki

Ces dernières décennies, les taux croissants de suicide, notamment chez les jeunes Inuit (adolescents et début de la vingtaine) sont devenus un important sujet de préoccupation dans l'Arctique central et de l'Est (voir figures 1 et 2). Dans le passé, certains Inuit adultes avaient décidé de s'enlever la vie, pour plusieurs raisons, mais cette vague de décès volontaires, apparemment inexplicables, chez les jeunes était un nouveau phénomène dévastateur.

Comme on pouvait s'y attendre, le suicide au Nunavut et dans d'autres collectivités inuites a beaucoup attiré l'attention et fait l'objet de conjectures sur les mécanismes qui pourraient être à l'origine de l'augmentation notée. Cependant, les données empiriques ne révèlent pas grand-chose sur les facteurs de risque, et malheureusement, selon une idée fautive assez répandue, de nombreuses études ont été menées sur le suicide chez les Inuit sans avoir donné de résultats tangibles sur la prévalence du suicide. Cela n'est pas vrai; l'idée est basée sur des suppositions qui ont été présentées comme des faits.

En 2003, un membre de l'assemblée législative du Nunavut a posé la question suivante : « Comment se fait-il que quand quelqu'un se suicide dans un centre correctionnel on ordonne une enquête? Pourquoi ne fait-on pas de même pour les suicides que les gens commettent chez eux? Nous devrions peut-être essayer de faire la lumière sur le passé de la personne qui s'est suicidée ».

C'est pour essayer de répondre à ces questions, entre autres, que nous avons entrepris cet automne l'un des plus ambitieux projets de recherche en santé mentale qui ait été réalisé dans l'Arctique. L'étude rétrospective intitulée *Qaujivallianiq inuusirijawalauqtunik* (« apprendre des vies qui ont été vécues ») tentera d'établir les facteurs de risque et les moyens de prévention pour les Inuit du Nunavut, et de dégager d'autres données qui

pourraient faciliter les tentatives de réduction du taux de suicide anormalement élevé dans le territoire.

Une étude rétrospective (souvent appelée « autopsie psychologique » dans les textes à caractère médical) est un moyen mis en œuvre pour mieux connaître les facteurs de risque et les moyens de prévention en matière

de suicide, dans différents segments de la population. On a mené des études rétrospectives dans de nombreuses parties du monde, mais jamais dans le Nord canadien.

Comme nous ne pouvons pas interroger les victimes, nous mènerons des entrevues dirigées avec les membres de leur famille et leurs amis pour comprendre les détails de la

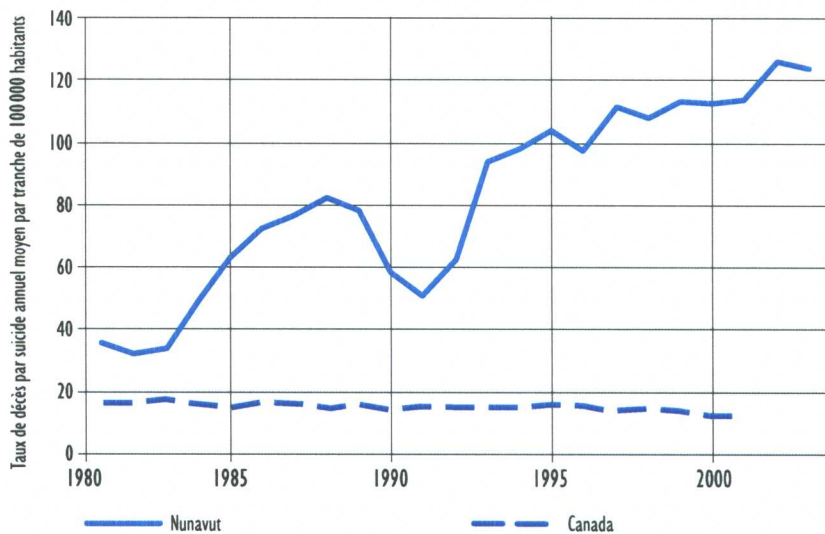
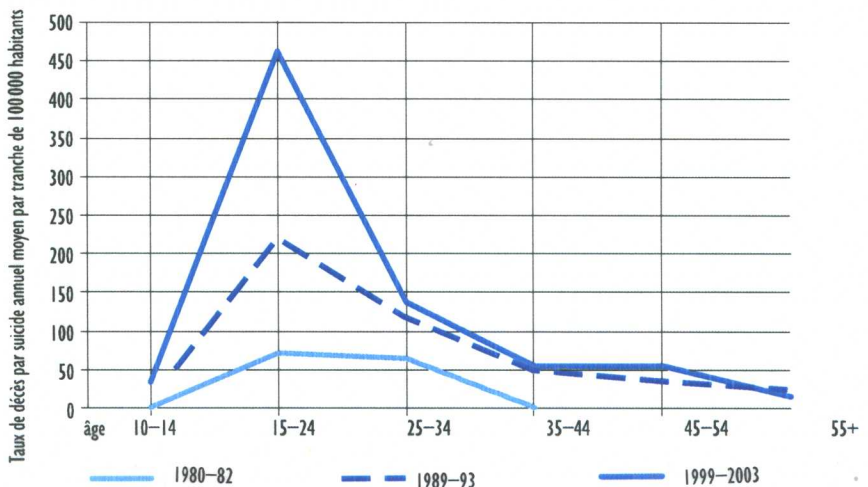


Figure 1
Taux de décès par suicide annuel moyen, Inuit du Nunavut et Canada, 1981 à 2003. Source : bureaux des coroners en chef des Territoires du Nord-Ouest et du Nunavut, et Statistique Canada.

Figure 2
Changements dans les taux de suicide par cohorte d'âge, de 1980 à 2003. Source : bureaux des coroners en chef des Territoires du Nord-Ouest et du Nunavut, et Statistique Canada.



vie des victimes – depuis leur naissance jusqu'à leur décès. Nous examinerons aussi très en détail la vie familiale et la vie personnelle des gens. Nous poserons des questions sur des sujets comme les antécédents familiaux, le dossier médical, les expériences vécues à l'école et au travail, les relations des personnes, la consommation de drogues et d'alcool, les événements traumatisants de la vie, les précédentes tentatives de suicide, etc. Nous avons essayé d'inclure tous les points mentionnés comme facteurs qui peuvent contribuer au suicide au Nunavut.

Quand nous examinons les détails de nombreuses vies terminées prématurément par le suicide, nous pouvons commencer à discerner des modèles. Cette information peut nous aider à concevoir des programmes de prévention du suicide et d'intervention plus efficaces. En Finlande, par exemple, les résultats d'une grande étude rétrospective ont mené à l'élaboration d'une stratégie nationale de prévention du suicide comprenant un éventail d'initiatives ciblées ainsi que des stratégies pour accroître l'efficacité des mesures prises par les diverses institutions. La sensible diminution du nombre de décès par suicide observée au cours de la dernière décennie en Finlande pourrait bien être attribuable à cette stratégie, et à la recherche sur laquelle elle est fondée.

Notre équipe de recherche interrogera des personnes qui ont déjà fait une tentative de suicide, qui sont encore en vie – et aussi les membres de leur famille et leurs amis. Cela nous permettra d'en apprendre davantage sur les facteurs qui font une différence dans la vie des personnes après leur tentative de suicide. Nous mènerons les mêmes types d'entrevues auprès des Nunavummiuts qui n'ont jamais essayé de se suicider, des membres de leur famille et de leurs amis, à des fins de comparaison.

La participation à l'étude est tout à fait volontaire. Une lettre de consentement signée par l'intervieweur et chaque participant confirmera que le participant a donné son consentement en toute connaissance de cause et fournira une garantie écrite de la confidentialité des résultats de l'entrevue.

L'Isaksimagit Inuusirmi Katujjigatigiit (le « Embrace Life Council » du Nunavut), le gouvernement du Nunavut, Nunavut Tunngavik Inc., la Gendarmerie royale du Canada et le coroner en chef du Nunavut sont tous en faveur de cette étude, qui a été approuvée par un conseil de révision déontologique et pour laquelle l'Institut de recherches du Nunavut (IRN) a accordé un permis de recherche scientifique.

L'étude est menée par des chercheurs du Nunavut qui travaillent avec le Groupe McGill d'études sur le suicide (MGSS), l'un des principaux organismes de recherche du Cana-

da sur le suicide. Dernièrement, le MGSS a terminé une étude rétrospective sur tous les suicides commis au Nouveau-Brunswick au cours d'une période d'un an, et les résultats ont incité le gouvernement provincial à renforcer certains aspects de leurs services de santé mentale.

Cette étude est financée par les Instituts de recherche en santé du Canada, un organisme subventionnaire indépendant du gouvernement du Canada, au moyen d'un concours de petites subventions pour les travaux concernant le suicide chez les Autochtones.

L'étude a démarré en 2005, et elle devrait durer de quatre à cinq ans. Certains résultats préliminaires seront fournis avant cette échéance.

L'information sur l'avancement de l'étude sera présentée dans un bulletin trimestriel et sur le site Web du MGSS. Le rapport sur ses conclusions sera distribué dans tout le Nunavut, notamment aux organismes partenaires et à tous les Nunavummiut qui ont accepté d'être interrogés.

Jack Hicks est le chargé de projet pour l'étude rétrospective sur le Nunavut; Laurence Kirmayer, médecin, est directeur de la Division de la psychiatrie sociale et transculturelle à l'Université McGill; Gustavo Turecki, médecin, PhD, est directeur du Groupe McGill d'études sur le suicide.

CRITIQUE DE LIVRES

Susan Rowley

Do Glaciers Listen? Local Knowledge, Colonial Encounters, and Social Imagination, par Julie Cruikshank. Vancouver : Presses de l'Université de la Colombie-Britannique, 2005.

Les glaciers des monts St. Elias sont certainement l'une des plus remarquables caractéristiques naturelles du monde. Ils avancent puis se retirent avec une rapidité fulgurante inat-

tendue, déchirant et modifiant le paysage en faisant fi des humains.

Ces glaciers forment la trame du nouvel ouvrage où Julie Cruikshank se penche sur les différentes perceptions du monde naturel par les peuples autochtones, les explorateurs et les scientifiques. Son livre est une dissertation philosophique sur la nature du savoir et la capacité des tenants d'une culture à comprendre une autre culture.

Les glaciers sont la métaphore utilisée pour l'histoire de cette région qui évolue continuellement. La venue et la disparition des glaciers forment une partie importante du récit, mais elles ne sont pas aussi cruciales que la venue et le départ des personnes, leurs interactions ainsi que leur façon de modifier le tissu social et le contexte politique de la région par leurs actes.

Do Glaciers Listen? est divisé en trois parties : Matters of Locality; Practices of Exploration; et Scientific Research in Sentient Places. «Matters of Locality» reporte le lecteur à la période qui a précédé la révolution industrielle, une époque où les cultures occidentales avaient plus d'affinités avec la nature et où les gens considéraient les glaciers comme des êtres ayant un don de prescience, qui jugeaient les transgresseurs des règles sociales. Les récents événements ont montré que le besoin de découvrir le sens des événements apparemment inexplicables existe encore. À preuve, l'opinion exprimée par certaines personnes qui estimaient que les ravages de l'ouragan Katrina causés à la Nouvelle-Orléans étaient la punition infligée par un Dieu en colère contre la ville du péché. Il semble que même au vingt et unième siècle, la science occidentale n'exerce pas une très profonde influence sur notre tissu culturel.

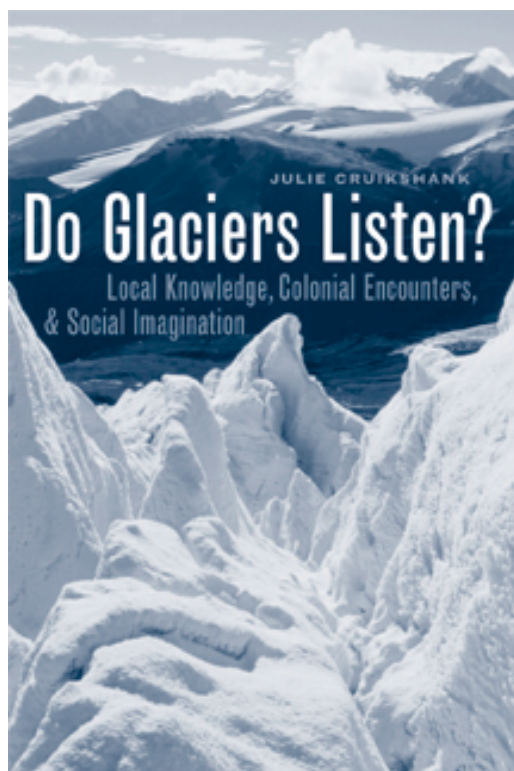
«Practices of Exploration» considère la zone de contact entre les habitants autochtones de la région et les visiteurs qui viennent de l'extérieur. M^{me} Cruikshank s'intéresse aux différences. L'argument qu'elle avance est convaincant, car elle examine les visions opposées du monde, qui parfois sont sur le point de favoriser la compréhension mutuelle et qui, d'un autre côté, engendrent parfois la dissension. Dans quelle mesure la perspective sur le monde est-elle ébranlée quand des étrangers arrivent, agissent selon des façons contraires aux croyances locales, et s'en tirent sans problème? Quels sont les réalignements effectués, et quelles nouvelles réalités favorisent l'adaptation à ces nouvelles circonstances?

«Scientific Research into Sentient Places» est la troisième et dernière section de ce volume. Dans le dernier chapitre, l'auteure se demande dans quelle mesure les visions du monde sont rapprochées de nos jours – et à quel point elles sont éloignées. Elle traite aussi la difficile question de l'intégration du savoir local et de la connaissance scientifique mise en lumière aujourd'hui par

les glaciers qui sont en train de fondre. Enfin, M^{me} Cruikshank met en garde le lecteur contre un piège: essayer d'intégrer les différents types de connaissances dans un ensemble qui ne plaît à aucun des groupes concernés.

Do Glaciers Listen? est un amalgame de textes déjà publiés et de chapitres rédigés pour ce livre. De tels ouvrages sont presque inévitablement affectés parce qu'ils assemblent des morceaux quand la chaîne et la trame ne sont peut-être pas toujours alignées pour donner une image claire. Ce n'est pas le cas ici. Ce qui au premier coup d'œil semble une intéressante digression s'avère en fin de compte une partie cruciale de la thèse. Exemple: l'étrange légende intitulée «Edward James Glave, the Alsek and the Congo», fascinante au point où vous ne pouvez faire autrement que pardonner à l'auteur son évidente indulgence. Et pourtant, si l'intrigante question de l'éventuelle influence de Glave sur l'ouvrage fondamental de Joseph Conrad intitulé *Au cœur des ténèbres* est un point accessoire, le thème central de l'article – la façon dont les forces externes façonnent et refaçonnent inévitablement les perceptions des gens de l'extérieur – est au cœur de ce livre.

Le mot crucial du titre pourrait être



**NOUVEAUX
MEMBRES
DU CONSEIL
D'ADMINISTRATION
DE LA COMMISSION
CANADIENNE DES
AFFAIRES POLAIRES**

La Commission canadienne des affaires polaires remercie les membres sortants du Conseil, Peter Johnson, Michael Robinson et Richard Binder, pour leurs nombreuses contributions des six dernières années. Elle souhaite la bienvenue aux nouveaux membres, Tom Hutchinson (président) Ron Macnab, Susan Rowley, et François Trudel (vice-président).

«Listen» (écoutent). Le lecteur doit bien prêter attention aux propos des autres personnes cités dans ce magnifique ouvrage. Comme dans ses œuvres antérieures, M^{me} Cruikshank laisse parler les Autochtones, et elle évite d'en donner sa propre interprétation. Mais elle ne fait pas la même chose pour d'autres. Elle crée soigneusement un contexte qui favorise l'interprétation des propos formulés par les étrangers, notamment les explorateurs. C'est là l'un des rares déséquilibres du livre.

Do Glaciers Listen? est une oeuvre fascinante. Les propos de M^{me} Cruikshank sur la manière dont les rencontres façonnent et créent les perceptions du monde, dont les bribes de sens sont projetées dans le paysage par les gens, sont tout à fait provocateurs. Cet ouvrage est fortement recommandé aux scientifiques, anthropologues, historiens, et à tous ceux qui s'intéressent à la construction sociale des paysages.

Susan Rowley est conservatrice spécialisée en archéologie publique au Musée d'anthropologie de l'U.C.-B. et professeure adjointe au Département d'anthropologie et sociologie. Elle est aussi membre du conseil d'administration de la Commission canadienne des affaires polaires.

H O R I Z O N

La semaine du sommet sur la science arctique

22–29 mars 2006

Postdam, Allemagne

www.iasc.no

Les changements dans l'Arctique et les communautés littorales

12–18 août 2006

Tuktoyaktuk, Territoires du Nord-Ouest

www.czc06.ca/ff/home.html

15^e congrès international des Études Inuit: L'oralité au XXI^e siècle.

Discours et pratiques inuits

26–28 octobre 2006

Musée du Quai Branly, Paris, France

Organisé par : Institut national des langues et civilisations orientales (INALCO) et Centre national de la recherche scientifique (CNRS)

Michèle Therrien ([@inalco.fr](mailto:michele.therrien))

NOUVEAUX LIVRES

Arctic Clothing, by J.C.H. King, Birgit Pauksztat et Robert Storrie. Des Autochtones, des anthropologues et des historiens passent en revue les habillements contemporains et traditionnels du Nord. McGill-Queens University Press (ISBN 0773530088).

Dans l'Arctique, les animaux marins et les animaux terrestres fournissent la matière première pour la confection des vêtements nécessaires à la pratique de la chasse ainsi qu'à la survie dans les conditions les plus rigoureuses au monde. *Arctic Clothing*, rédigé dans le cadre d'une conférence tenue au British Museum, montre le travail

des artistes autochtones et des personnes qui cousaient les peaux. L'ouvrage est une étude des façons dont les vêtements créent un lien entre les sociétés autochtones et l'environnement et de l'importance continue des animaux, des oiseaux et des poissons pour ces collectivités.

J.C.H. King est responsable de la collection nord-américaine, au Département d'ethnographie du British Museum. Birgit Pauksztat est l'adjointe spéciale-Thaw au Département d'ethnographie du musée. Robert Storrie est un ancien adjoint du Département d'ethnographie du musée.

— McGill-Queens University Press

MÉRIDIEN

est publié par la Commission canadienne des affaires polaires.

ISSN 1492-6245

© 2005 Commission canadienne des affaires polaires

Rédacteur: John Bennett

Traduction: Suzanne Rebetez

Conception graphique: Eiko Emori Inc.

Commission canadienne des affaires polaires

Bureau 1710, Constitution Square

360 rue Albert

Ottawa, Ontario K1R 7X7

Tél.: (613) 943-8605

Sans frais: 1-888-765-2701

Télec.: (613) 943-8607

Courriel: mail@polarcom.gc.ca

www.polarcom.gc.ca

Les opinions exprimées dans ce bulletin ne reflètent pas nécessairement celles tenues par la Commission canadienne des affaires polaires.