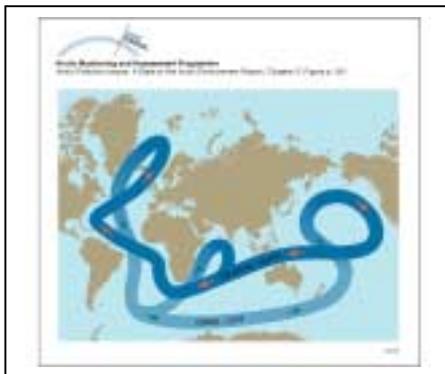


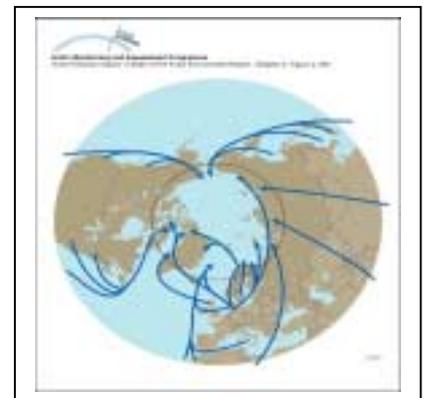
L'ARCTIQUE EST UN ECOSYSTEME !

Si l'on regardait l'Arctique depuis l'espace, il faudrait affronter des vents solaires produits par le soleil en effusion et qui soufflent par bourrasques de 200 km par minute. Il faudrait aussi traverser la couche d'ozone de la stratosphère à - 200 ° C pour parvenir à la zone tampon à 3 km entre les couches supérieures et inférieures de l'atmosphère. L'Arctique nous apparaîtrait alors comme une masse de 15 millions de milles carrés de banquise s'étendant dans la noirceur de l'hiver. En été, ces glaces ne font plus que 8 millions de kilomètres carrés. La banquise s'étend vers le sud pour atteindre les trois seules portes de sortie de l'Océan Arctique - soit par un passage étroit dans l'Atlantique Nord à l'ouest du Groenland; soit via le vaste détroit de 500 km entre le Groenland et Svalbard; ou encore par le Détroit de Béring qui couvre une distance de 70 kilomètres entre le Tchoukotka et l'Alaska avant de se jeter dans la Mer de Béring et de là, atteindre l'Océan Pacifique. La terre qui ceinture l'Océan Arctique est recouverte par de nombreux glaciers mais elle est principalement dominée par la Calotte polaire du Groenland qui atteint à elle seule 1.7 million de kilomètres carrés et qui peut atteindre, à son point maximal, une épaisseur de 3 200 m, ce qui représente un volume de 2.8 millions de kilomètres cubiques. Comme les doigts d'une main, de vastes coulées de glace de la calotte polaire s'étendent bien en deçà du cercle polaire vers les montagnes de Norvège et de l'Oural, de Kolyma, de l'Alaska, du Yukon et de la Terre de Baffin.

D'épaisses couvertures de neige s'étendent vers les océans mais cela ne suffit pas à couvrir les déserts polaires et les semi-déserts des terres continentales. Dans ces vastes étendues, les boeufs musqués et les rennes grattent le sol à la recherche de fourrages; renards et loups vont ça et là à la recherche de nourriture tandis que dans leurs tanières sous la neige, les ours polaires femelles dorment et donnent naissance à leur progéniture. Sous le sol gelé se trouvent des enclaves glacées et le pergélisol; profonds et continus dans l'Arctique septentrional mais discontinus dans le subarctique. Sous la glace qui couvre la surface des lacs profonds, des rivières et des mers, l'eau demeure au-dessus du point de congélation alors que la température de l'air peut atteindre jusqu'à - 50°C ou plus froid encore.



En suivant le cycle des saisons, le soleil s'élève sur l'horizon et irradie l'Arctique, réchauffant l'air et amenant du coup la glace de mer à s'amincir et à se retirer. Sur la terre, la neige et la glace fondent; le niveau des rivières s'accroît des eaux provenant de la fonte des neiges. De larges volumes d'eau s'écoulent alors vers les régions côtières où ils abaissent tant la température que le taux de salinité de la mer. Ces eaux circulent ensuite à l'intérieur de l'Océan Arctique et se fraient un passage sous la surface plus chaude de la mer avant de s'échapper par des passages étroits vers l'Atlantique Nord et l'Océan Pacifique. Baleines et phoques se déplacent vers le nord, fournissant la nourriture nécessaire aux ours polaires. Sur la terre, le rayonnement du soleil réchauffe la végétation en surface et le sol dénudé, élevant leur température au-dessus de celle de l'air. Étant donné l'absence de nuit, la terre se colore de vie pratiquement du jour au lendemain. La faune migratoire dont le renne, l'oie, le canard et



l'échassier reviennent se nourrir de la nouvelle pousse des plantes et des insectes qui émergent. Les saumons remontent le cours des rivières et les ours s'en rassasient. Sous la surface, le sol se réchauffe plus lentement et dégèle pour former une 'couche active' où des micro-organismes et des larves d'insectes reprennent leurs activités. Les matières organiques, juste au-dessus du pergélisol, commencent alors à se décomposer.

Tel est l'écosystème de l'Arctique ! La Cryosphère. Il s'agit d'un écosystème relativement autonome (une sorte de Méditerranée du Nord); l'atmosphère, la terre, l'eau douce et la mer y sont intimement liés (mariés) tant du point de vue vertical que latéral. Il y a circulation à l'intérieur du système de la terre vers l'eau et vers la mer puis vers la terre à nouveau. La glace, la mer, les éléments chimiques, la faune, la flore et les humains circulent tous à l'intérieur et autour de l'Océan Arctique. Si l'on 'pousse' l'une des composantes du système, les effets se feront ressentir ailleurs dans le système. Par conséquent, si le climat change - comme depuis toujours - et se réchauffe, de plus en plus d'eau libérée par la fonte des glaces, se mettra à circuler dans l'Arctique. Si la population de capelan s'effondre, dans la mer, les effets en sont ressentis sur la terre via la chaîne alimentaire; si des polluants sont relâchés dans l'atmosphère ou dans la mer à un endroit donné, ils seront fort probablement emportés vers d'autres régions.

Il s'agit d'un seul et même écosystème intégré et dynamique sur une échelle massive, orchestré par le soleil.



Cet écosystème n'est cependant pas isolé du reste du Globe - aucun écosystème ne l'est complètement. L'Écosystème Arctique se marie vers le sud avec les régions plus chaudes du monde et interagit avec elles. En hiver, la masse d'air arctique amène de l'air froid vers le Sud. En revanche, les vents du Sud entraînent de l'air plus chaud - et des polluants - vers le Nord. Mammifères, oiseaux et poissons migrent vers l'Arctique, en été, pour se nourrir et se reproduire dans les eaux riches en marge des mers glacées, des régions côtières, dans les estuaires et les dans les marécages avant de regagner le Sud pour l'hiver. L'eau de mer se refroidit avec les courants qui l'entraînent vers le Nord.

L'eau douce qui résulte de la fonte de la neige et de la glace s'ajoute à la grande 'courroie de transmission océanique' - aussi appelée la circulation thermohaline - qui influence le climat terrestre et les conditions en mer de façon significative .

L'ECOSYSTEME ARCTIQUE EN CHANGEMENT

Lorsque l'on suit l'évolution du système sur plusieurs décennies ou même siècles, on découvre des périodes climatiques naturellement plus chaudes comme plus froides. De petites périodes de refroidissement peuvent être le résultat de cendres volcaniques qui circulent dans la stratosphère et qui réduisent le rayonnement solaire pour quelques années comme c'est notamment le cas avec les éruptions volcaniques dont celles du Tambora en 1815, du Krakatau en 1883 et du Pinatubo en 1991.

De plus longues périodes de changement résultent d'une modification de l'équilibre entre deux grands systèmes de circulation - la Dérive Nord Atlantique qui résulte de la rencontre de l'air froid du Nord avec l'air chaud du Sud, et la Courant de circulation globale qui amène l'eau chaude vers le Nord où elle est refroidie par les eaux polaires avant de reprendre la direction du

Sud. Les changements infligés à ces systèmes atmosphérique et océanique se traduisent par des variations climatiques telles la Petit Période glaciaire des 16^e et 17^e siècles. L'Arctique connaît donc des variations à long terme ainsi que des changements saisonniers radicaux.

Neiges et glaces s'étendent et se retirent; les glaciers coulent et sculptent des vallées en forme de 'U' là où les roches sont plus tendres. Ils y déposent des moraines et transforment l'apparence du paysage. Des rivières émergent découpant de nouvelles voies d'eau et prolongeant les plaines humides. Ailleurs, l'eau s'écoule plus lentement et des sédiments sont déposés en amont, de sorte que les mares d'eau se font plus rares et les vallées s'assèchent. La surface terrestre est constamment perturbée par le gel et le dégel (cryoturbation). Le pergélisol et des morceaux glacés se meuvent doucement vers le haut ou vers le bas, créant des motifs variés sur le sol plat ou incliné. Quand les glaciers et les étendues de neige se retirent, les plantes se mettent à pousser. Les matières organiques s'accumulent alors que le sol mature et que la tourbe se forme sur les sols mouillés. Sur terre et sur mer, le territoire des plantes et des animaux s'agrandit ou se rétrécit tant aux limites septentrionales que méridionales de leur zone géographique. Au sommet des îles et des montagnes, les espèces qui vivent aux limites de leur habitat peuvent disparaître, à l'échelle locale - n'ayant nulle part où aller.

Au fil des millénaires, même la surface de la Terre réagit aux changements climatiques. Elle s'élève ou s'affaisse selon que le poids des masses de glace change. Ici, elle crée de nouvelles plages qui émergent là où elles étaient auparavant submergées. Ailleurs, elle crée des terrasses dans les rivières, forçant les cours d'eau à changer de direction. Il est possible de remarquer ce phénomène au cours d'un millénaire mais il est aussi possible de mesurer la présente montée des terres de 2 à 3 mm par décennie dans certaines régions - il s'agit-là de l'un des nombreux processus continus quoique lents de l'Écosystème Arctique.

Les changements climatiques ont façonné l'Arctique et constituent la norme depuis fort longtemps. Non seulement ont-ils variés au fil du temps, mais ils diffèrent aussi selon les régions. Ce sont les animaux et les plantes qui sont les mieux adaptés aux conditions dominantes du temps qui survivent et prospèrent. Les habitats peuvent varier considérablement d'une localité à une autre et sont particulièrement importants sur le continent où le climat est plus rigoureux et changeant. Les amoncellements de terre orientés vers le sud et qui sont plus chauds permettent à plusieurs espèces moins tolérantes au froid, de survivre.

Les dépressions humides ou carrément mouillées du décor deviennent des refuges pour de nombreuses espèces lors de périodes de faibles précipitations. Les perturbations causées par le gel et le dégel permettent aux espèces spécialisées en colonisation, mais qui sont autrement de pauvres compétiteurs, de survivre. Ainsi, la variété physique d'une région ainsi que son histoire de variations climatiques dicte quels animaux et plantes seront les mieux 'pré-adaptés' pour résister aux pressions des futurs changements climatiques.

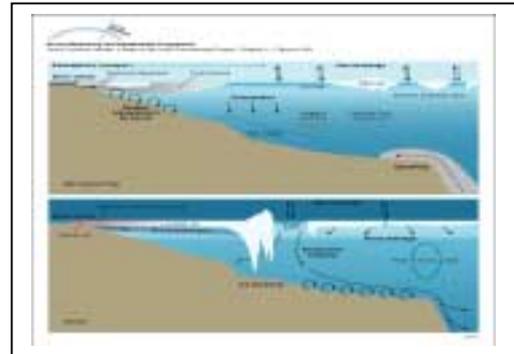
LES ÉCHELONS ARCTIQUES

L'Écosystème Arctique ressemble à un casse-tête: son portrait se compose de plusieurs parties. Les écosystèmes que nous identifions normalement, les différents habitats sont tous les systèmes qui inter reliés dans leurs parties et leurs processus. Mais comme nous l'avons vu, les écosystèmes ne sont pas tous autonomes et isolés les uns des autres. Ils varient graduellement selon des échelons environnementaux. Ce sont ces échelons physiques qui détermine la structure et la fonction des écosystèmes, leurs dynamiques et leurs réactions aux éternels changements environnementaux.

Quels sont les échelons de cette déclivité ? Sur terre, en eaux douces et en mer, un élément dominant est l'élévation des températures du Nord vers le Sud. Il existe cependant d'autres éléments physiques importants qui ont un impact majeur sur la structure et les fonctions des écosystèmes.

Sur terre, des côtes vers les régions intérieures, la gradation océano-continentale du climat se traduit par une hausse des écarts des températures saisonnières et d'une diminution des précipitations sous forme de pluie et de neige.

Les chaînes de montagnes, en particulier près des côtes, intercepte les nuages et occasionne d'importantes hausses du taux de précipitations de pluie et de neige à l'échelle locale. Les montagnes fournissent aussi des échelles très nettes de gradation des températures.



Les systèmes d'eau douce sont dominés par la topographie (collines et escarpements), qui sont eux mêmes le résultat du travail géologique. Les glaciers de montagne et les rivières s'écoulent avec force vers la mer où s'étendent sur de vastes régions continentales, plates, composées de toundra .

La gradation des systèmes marins s'étale des rives via la zone des marées vers la douce pente du plateau continental en descendant vers les profonds planchers marins, avec leurs vallées, leurs creux de lames et leurs montagnes submergées - en somme, une image renversée du paysage terrestre, en surface.

Comment ces systèmes réagissent-ils à la gradation environnementale ? Comment les structures et processus changent-ils ? Comment les pièces du casse-tête changent-elles ? Examinez les dynamiques de plus près tandis en vous déplaçant le long de l'échelle de gradation des trois sous-systèmes - la terre (terrestre), les eaux douces (hydrologique) et le maritime.

L'ECOSYSTEME TERRESTRE - OU LES ECOSYSTEMES

De l'espace, nous voyons les déserts polaires de 'l'Arctique Septentrional' - les déserts les plus froids de la planète - où la couche de roches brisées présente seulement, ça et là, quelques coussins de saxifrage, de petits coquelicots et de saules nains, auxquels s'ajoutent quelques mousses alors que les lichens adhèrent au flanc sud des roches les plus importantes. Le sol désertique n'est pas pour autant stérile. Ainsi, à l'Île Devon, dans le nord du Canada, il existe une anse protégée par des falaises, sculptées dans des plateaux de calcaire orientés vers le sud. La basse terre Truelove possède une série de crêtes de plages qui se sont formées à différentes périodes par l'élévation des terres. Ces crêtes retiennent l'eau de la fonte des neiges. Les plantes, réchauffées par les rayons du soleil plutôt que par la température de l'air, peuvent ainsi se développer. De la même façon, là où l'eau provenant de la fonte des neiges s'infiltré sous le lit de neige, un tapis de mousses et lichens relativement riche pousse durant 'l'été' qui dure plus ou moins un mois. La topographie locale peut ainsi outrepasser les effets dévastateurs du froid du secteur. La disponibilité en eau demeure cependant critique. Les vastes sols rocheux qui n'ont pas encore accumulés de matière organique se drainent et s'assèchent en été.

Plus au Sud ou près des côtes, la couche végétale se diversifie peu à peu et va même jusqu'à couvrir la moitié ou plus de la surface du sol - appelé le Semi-désert. Encore une fois, une végétation luxuriante de gazon, de laïche, d'arbrisseaux, de saules nains, de bouleaux et de mélèzes se développe dans des endroits abrités et humides. Les semis qui y germent survivent mieux que sur les terrains exposés qui se drainent et s'assèchent en été.

La distinction entre les termes 'désert' et 'semi-désert' est floue; il s'agit plus d'une échelle d'une gradation, avec de petites pièces et des langues provenant d'un système qui se mélangent à un autre. Trois caractéristiques dont deux évidentes et une cachée, jouent des rôles-clés dans la dynamique de ces paysages:

La neige. Son épaisseur, sa qualité et le moment précis de son arrivée sont essentiels. La neige fraîche est un excellent isolant mais l'entassement et les croûtes de glace causées par le gel et le dégel répétés peuvent jusqu'à centupler l'effet de conduction de la chaleur. Avec leurs propriétés d'isolant, les premières bonnes chutes de neige servent de tampon pour le sol et permettent aux couches supérieures (aussi appelée la couche 'active') d'échapper au gel durant l'hiver, même durant les grands froids. Les lemmings et les campagnols s'abritent et se reproduisent sous la neige; les lagopèdes se dissimulent sous la neige pour échapper à la prédation des renards; mais les rennes et les boeufs musqués ont alors du mal à dégager les plantes sous la neige pour s'en nourrir. Les dernières neiges empêchent les oiseaux de faire leurs nids et retardent la sortie des insectes. Les couches de neige plus fines exposent les plantes aux basses températures et les assujettissent aux animaux qui broutent. En revanche, une couverture de glace les protégera contre l'appétit des rennes. Une fonte prématurée, avant le dégel du sol, inonde les nids des petits mammifères, noyant les plus jeunes et les exposant à la prédation. L'eau sous forme de glace ou liquide joue un rôle critique.

La cryoturbation. Les perturbations causées par le gel et le dégel de façon quotidienne ou périodique contribuent au déplacement des particules de sol, de roches et de blocs, les agençant en différents motifs; cercles, remous, médaillons ou en bandes et traînées dans les pentes. Une telle organisation perturbe les plantes mais crée du même coup de meilleurs sols pour la nouvelle colonisation, de si courte durée soit elle, parce que plus humides. Sous l'effet du cycle de gel et dégel, des fissures s'ouvrent; offrant ainsi de nouveaux sites de colonisation. La puissance de l'eau, qui passe du solide au liquide, transforme la surface du sol.

Le pergélisol. Les couches de surface peuvent geler jusqu'à 20 centimètres de profondeur dans les sols humides ou dans les sols à grains fins et mouillés. Le gel peut être plus profond encore dans des sols poreux et secs. Les couches plus profondes demeurent cependant gelées, même si la température n'est que de quelques degrés sous zéro. Les températures en surface peuvent varier de 50 C ou plus sur une période de 24 heures en été grâce au rayonnement du soleil mais une diffusion lente de la chaleur et du refroidissement par le lit sous-jacent des sols gelés amortit ces oscillations quotidiennes et saisonnières. Le pergélisol demeure à une température variant de 1 à - 3 C. Ce lit imperméable empêche le drainage, retient l'eau dans la couche active du sol et cause l'écoulement de l'eau vers la ou en surface dans les collines. Il s'agit d'un élément caché du paysage.

Les déserts et semi-déserts de l'Arctique Septentrional sont partiellement couverts de végétation et s'étendent sur de vastes régions, surtout en Russie et au Canada. Les motifs se retrouvent à petite échelle sur de vastes étendues - sur une méso-échelle, certains petits paysages couvrent

quelques centaines de mètres ou kilomètres; sur une micro-échelle ils ne font guère que quelques centimètres ou mètres. À chaque échelle, on retrouve une structure de base, généralement déterminée par la couverture florale et la forme physique. À chaque échelle, il existe des processus de production primaire, de décomposition et de circulation qui définissent un 'écosystème', y compris les gains et pertes. Un écosystème n'est jamais entièrement fermé. Dans ces déserts et semi-déserts, les échanges entre les écosystèmes de petites échelles s'effectuent souvent via le mouvement de surface des eaux et par les animaux qui se déplacent sur de grandes distances et qui utilisent ces morceaux de végétation plus riche dans les vallées fluviales abritées.

Il n'y a pas de frontière précise entre ces déserts et le début de la **toundra** qui s'étend à travers l'Arctique méridionale. On trouve plus au nord de petites parcelles de toundra avec des arbrisseaux bruyères nains ou des touffes d'herbes de coton mais elles forment des systèmes dominants et vastes de l'Arctique méridionale qui varient selon le climat, la géologie du terrain, les conditions du sol et le degré d'inclinaison des pentes.

La **toundra d'arbrisseaux**, avec ses bouleaux nains, saules et aunes, ses baies de camarine, myrtilles, bruyères, rhododendrons, quelques laïches et du saxifrage, forme souvent un coussin moelleux de végétation pouvant atteindre de 50 à 80 centimètres d'épaisseur et qui s'étend tel un tapis continue de mousses et lichens. Dans les endroits abrités, ce coussin moelleux peut atteindre jusqu'à deux mètres d'épaisseur. La toundra d'arbrisseaux se retrouve surtout dans des sols secs et sa distribution résulte de l'effet direct du climat. Ainsi, elle s'étend jusqu'à 74 ° de latitude Nord dans l'ouest du Groenland mais seulement jusqu'à 62 ° de latitude Nord sur la côte est qui souffre en absence de l'influence de la chaleur produite ailleurs par le Courant du Labrador. Les plantes répondent à des changements subtiles de l'environnement physique et les **toundras d'arbrisseaux et de laïche** ont été identifiées sur de vastes secteurs de la Russie, auquel la **toundra d'arbrisseaux nains** lui succède doucement, où les touffes d'herbes de coton ou de laïche se trouvent souvent sur des terres plus mouillées, plus pauvres et quelque peu plus acides. Là où le drainage est pauvre à cause du pergélisol, les terres argileuses et/ou plates, le **bourbier** (muskeg, marais) tendent à dominer sur de vastes secteurs. La laïche est alors la plante dominante de ces bourbiers. Elle se mélange à plusieurs autres espèces ainsi qu'à une bonne couche de mousse et de Sphagnum. Les hummocks (monticules) et les mares couvrent la plus grande partie de la surface terrestre et, comme dans les autres types de toundra, l'action du gel et du dégel se traduit par certains motifs sur le sol. Des ébullitions de gel, des polygones, des médaillons, fissures et plusieurs autres phénomènes se produisent et perturbent la végétation. Ces phénomènes deviennent de moins en moins fréquents lorsque la végétation se fait plus dense et continue et qu'elle accroît la qualité de l'isolation de la surface du sol. La puissance de la glace et du pergélisol peuvent cependant encore altérer le paysage tandis que de larges ou même petites collines de sol gelé - les Pingos - se forcent un chemin vers la surface à des hauteurs pouvant atteindre jusqu'à 100 mètres.

Alors que le climat s'adoucit vers le Sud, le bouleau se fait plus fréquent, puis le pin, l'épicéa et le mélèze forment la **forêt-toundra**. La végétation de surface demeure semblable à celle de la toundra du Nord mais elle cède graduellement sa place aux arbres qui s'étendent jusqu'à la **taïga** classique ou la **forêt boréale**. Ici, la prédominance de l'épicéa et du pin procure tant d'ombre aux plantes couvre-sol que la terre a tendance à s'assécher. Cela garde le sol à des températures sombres toutes plus fraîches. Quoique le climat soit plus chaud, le pergélisol persiste sous la forêt alors qu'il disparaît des secteurs exposés où il prend l'appellation de 'pergélisol discontinu.'

L'échelle de gradation qui va du Désert Polaire à la taïga, avec ses variations et ses divers motifs, forme le paysage du Nord. Beaucoup de choses ont été écrites et le débat se veut parfois pointilleux quant aux définitions à donner aux différentes communautés de plantes, aux

techniques d'adaptations remarquables des animaux et des plantes et leur histoire naturelle. Mais que dire du Système ? Quelles sont les dynamiques de ce paysage ? Comment fonctionne-t-il à titre d'écosystème intègre ou de séries d'écosystèmes ? Ces questions deviennent de plus en plus importantes alors que l'environnement change en fonction du climat, de l'utilisation des terres, du développement industriel et de la pollution. Explorons maintenant les soi-disant dynamique et fonction de l'écosystème - les changements sur l'échelle du temps, les chaînes alimentaires; le carbone et la circulation nutritive; la biodiversité.

Changements sur l'échelle du temps

Après le retrait des glaciers et des calottes polaires, il y a de 10 à 20 000 ans, le sol dénudé, des débris de roches brisées et des dépôts erratiques de glaise ont formé la 'couche' initiale. Le climat éroda peu à peu les roches de granite dures, produisant ça et là quelques particules de sol et des quelques particules nutritives solubles. Sur le calcaire, le climat agissait plus vite et devait générer des sols alcalins. Mais les particules se désagrégeaient si vite qu'elles étaient souvent lessivées hors des systèmes via les voies de canalisation. Ailleurs comme sur les autres roches sédimentaires ou dans le sable ou là où des particules de glaise étaient plus abondantes, les éléments nutritifs essentiels comme le phosphore et le potassium ont été retenus. La géologie a ainsi établi le cours du développement des écosystèmes. Le nitrogène était l'élément manquant pour aider à lancer le processus de succession des plantes. L'apport en pluie était minimal mais des algues bleu vert capables 'd'attraper' le nitrogène dans l'atmosphère ont poussé là où de l'eau était disponible. Certaines algues utilisant la lumière réfléchie, vivaient sous les roches qui absorbaient avec efficacité la chaleur du soleil. Tout doucement, les lichens se sont mis à pousser sur la surface des roches. Composés d'une algue et d'un fongicide, les lichens ont la capacité de produire, décomposer et recycler - ni plus ni moins qu'un écosystème interne autonome.

Ce sont ces premiers colonisateurs, avec leur habileté à capturer le nitrogène et les éléments nutritifs essentiels des égouttoirs, initiant le processus de succession en des endroits où les systèmes précédents n'avaient pas laissés de matières organiques - l'accumulation d'éléments nutritifs capitaux est essentielle. Les bactéries qui peuvent extraire des éléments des roches - les chémolithotrophes - contribuent à ce processus. Tandis que de petites quantités de matières organiques s'accumulent, d'autres plantes commencent à coloniser par semences, les petites quantités de matières organiques leur procurant des points de concentration pour une germination réussie. À d'autres endroits, il y avait des matières organiques découlant de végétation ayant précédé la période de glaciation ou ayant été redistribuées le long des rives des cours d'eau. Ici, la colonisation est plus rapide mais demeure encore souvent l'initiative de plantes dotées de bactéries capables de capter le nitrogène.

Les premières plantes colonisatrices ont tendance à disposer d'une stratégie de développement et de reproduction rapide pour tirer avantage des sites qu'elles ont colonisés. Peu à peu, d'autres espèces de plantes font leur apparition sur le site, tirant avantage de la protection qu'offrent les plantes déjà existantes et la matière organique accumulée. Ainsi, la couverture végétale s'accroît doucement; la couverture de mousse augmente et le sol devient mieux isolé pour affronter les basses températures.

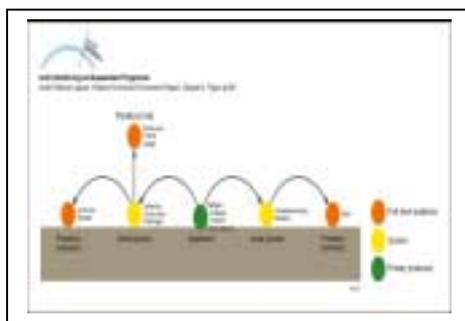
Ironiquement, cela peut amener le pergélisol à moins fondre et entraîner la couche active du sol à devenir plus mince ce qui entraîne des conditions d'enracinement plus difficiles, un sol aqueux et une diminution du recyclage des éléments nutritifs. Les plantes qui conservent leurs ressources et les recyclent de façon interne pour se donner un bon coup d'envoi au début de l'été ont alors

tendance à prendre l'avantage. Ces plantes font souvent de meilleurs compétiteurs - elles conservent les ressources accumulées. Avec les changements graduels amenés par les plantes sur le sol, la faune fait son entrée. Les 'points chauds' des premières plantes colonisatrices attirent les animaux de pâturage migrateurs. Le vent emporte de petits insectes dans ses sillons; les plus chanceux atterrissent sur des morceaux de végétation. À des étapes ultérieures, plusieurs de ces plantes sont vivaces et ligneuses se mélangent souvent pour se 'défendre' et se protéger contre les animaux. La faune doit alors se spécialiser et le broutement se limite souvent à des périodes où une nourriture plus agréable à consommer n'est pas disponible.

L'échelle de gradation de ces dynamiques, ces premières successions, se mesurent sur des siècles et la séquence varie considérablement d'un lieu à un autre, tout comme les conditions initiales qui causent cette succession. Les perturbations du sol via les cycles de gel et de dégel, l'érosion, le drainage des lacs, le feu et l'activité humaine comme le piétinement ou le développement industriel, peuvent tous faire redémarrer le processus de succession. Toute terre adjacente, avec sa végétation et sa faune, procure autant de nouvelles sources à la colonisation. Ainsi, l'échelle du temps pour les enchaînements secondaires se mesure souvent en termes de décennies.

À la base, la région toute entière a été assujettie à des variations climatiques, parfois plus chaudes, parfois plus froides, sur des milliers d'années. Les animaux et les plantes ont été assujettis à un processus de sélection naturel pour survivre aux conditions climatiques changeantes mais continuellement difficiles. Les plantes et animaux se sont donc ainsi adaptés. Ces adaptations sophistiquées, comme l'usage de substances chimiques antigel, leur permettent de réagir et de survivre aux changements climatiques engendrés par le carbone émis dans l'atmosphère par l'activité humaine. La distribution des espèces changera aussi; certaines déménageront vers d'autres régions, d'autres s'en retireront; les modèles changent - comme depuis toujours. Le déclin et l'abondance de variétés d'espèces de rennes autour du Groenland depuis 10 000 ans illustre bien ces dynamiques à long terme (**). Dans ce dernier cas, les changements résultent des modifications dans la forme de la terre, des ponts et des barrières de glace combinés au climat, à surconsommation des ères de pâturage, ainsi qu'à la prédation par l'être humain et le loup.

La Chaîne de vie - et de mort



Vu de loin, l'équation 'qui mange qui' apparaît claire lorsque l'on arrête une séquence-temps:

Lichens - renne - loup
 Herbes - lemming - harfang des neiges
 Bouleau - phalène automnal - fauvette - faucon
 Semences - bruant - émerillon

La réalité est une chaîne alimentaire plutôt complexe dans laquelle la distinction entre les herbivores et les prédateurs reste floue; la plupart des espèces consommant une grande variété de nourriture, selon ce qui est disponible. Les soi-disant 'prédateurs de première ligne,' soit les grands, ont besoin d'une quantité aussi grande que variée de proies et plusieurs doivent s'en remettre à se nourrir d'insectes et de plantes lorsque leur principale source de nourriture est en baisse. Les animaux les plus grands ne peuvent pas être mangés par les plus petits - mais on réalise que cela n'est plus vrai quand on voit des renards se nourrir des restes d'un renne mort de faim, ou d'un renne nouveau-né sans protection.

Les lemmings et d'autres petits mammifères représentent des éléments essentiels de la diète de plusieurs prédateurs. Les grandes variations dans les populations de lemmings peuvent devenir un problème pour les prédateurs qui dépendent de ces rongeurs pour satisfaire à la demande de nourriture de leurs petits durant la période de reproduction. L'une des adaptations particulières de certains prédateurs aux cycles du lemming consiste à réduire le nombre de jeunes à nourrir. Quand les populations de lemmings sont élevées après un hiver de reproduction sous la neige, les harfangs des neiges, les labbes, les hermines et d'autres prédateurs, dont certains migrent vers les régions où la population de lemmings connaît des pointes, produisent de grandes couvées. Même le renne se nourrit alors de lemmings à ce stade-là. La prédation, les maladies et la surconsommation de végétation entraîne ensuite la chute des populations de lemmings. Au cours des années subséquentes, les prédateurs produisent moins d'oeufs ou pas du tout. Ils doivent parfois même migrer à la recherche de meilleurs pâturages. La population de lemmings se redresse alors.

Il s'agit-là de ce qu'il est convenu d'appeler le cycle classique du lemming qui présente cette séquence traditionnelle de la dynamique proie-prédateur - la population de proies augmente, elle est suivie d'une hausse de la prédation ce qui entraîne une chute de la population proie, et qui engendre à son tour le déclin de la population prédatrice. En réalité le cycle est rarement aussi simple mais cela illustre quelques unes des dynamiques de la chaîne alimentaire et le rôle clé que jouent les lemmings dans le système arctique. Une autre dimension de ce système demeure cachée sous cette dynamique - le cycle du décomposeur.

Les lemmings se nourrissent du feuillage qui se trouve à la base des gazons et des laïches. Lorsque la population de lemming monte 'en flèche', un pré de tundra peut ressembler à un champ de foin après la coupe, juste avant la récolte. Les bactéries, les mycètes, les invertébrés du sol et les larves d'insectes consomment le feuillage frais et les matières fécales des lemmings. Ces créatures sont ensuite digérées par d'autres invertébrés. Le cycle de décomposition mène à un débordement d'insectes adultes qui deviennent la proie de scarabées et d'araignées. En début d'été, les tipules, moucherons et moustiques que l'on retrouve en grand nombre constituent les éléments clés de la diète d'un autre groupe de prédateurs beaucoup plus manifestes et encore plus grands - les insectivores - les pipits, les alouettes, les bruants et les échassiers dans les secteurs plus humides. Ces espèces se joignent à la chaîne alimentaire qui prévaut en surface et deviennent la proie des faucons, des labbes et des harfangs. Une fois encore, différentes parties de l'écosystème sont liées ensemble.

L'écoulement des matériaux: le carbone et le cycle des éléments nutritifs

La chaîne alimentaire montre les façons dont la matière est transférée à l'intérieur d'un écosystème. Si le processus semble efficace, il s'avère plutôt inefficace en termes de productivité. Le transfert des plantes vers les herbivores aux carnivores et enfin vers d'autres carnivores se traduit par une chute de production de plus de 95% - et ce à chaque étape ! Par exemple, la production annuelle d'une plante, en surface, n'est rarement consommée à plus de 10 ou 20 % par les herbivores. Seulement la moitié de ce pourcentage sera ensuite digérée. La plus grande partie de la plante digérée est ensuite utilisée pour maintenir l'activité, plus particulièrement chez les animaux au sang chaud, et une petite partie seulement de la nourriture digérée est employée à soutenir la nouvelle production. Les efforts investis par les prédateurs à se déplacer pour trouver leur nourriture sont peut-être rentables parce que leur nourriture est plus digestible.

Les invertébrés, pour leur part, transforment une plus grande proportion de nourriture digérée en nouveaux tissus parce qu'ils n'ont pas à maintenir la température de leur corps.

Quoiqu'il y ait quelques variations, le modèle d'ensemble demeure le même - chaque niveau trophique ne soutient seulement qu'une petite biomasse du maillon subséquent de la chaîne alimentaire. Pour trouver assez de nourriture, les herbivores ont conséquemment de vastes habitats; les carnivores encore plus. Ils emploient aussi une grande variété de nourriture - ils ont tendance à être des généralistes plutôt que des spécialistes. Ils sont aussi adaptés pour conserver autant d'énergie que possible, soit par l'hibernation, soit par l'isolation et ce en grande partie à cause de la faible production des plantes dans l'Arctique. Il est possible que les écosystèmes arctiques, en raison de leurs adaptations diverses à des conditions climatiques particulières et aux réserves de nourritures clairsemées, soient aussi efficaces que les écosystèmes situés plus au sud.

Ainsi, on pourrait croire que la plus grande partie de la production initiale ou végétale est gaspillée. Au contraire ! À la fin de l'été, les plantes transfèrent une partie importante de leur production sous le niveau du sol où elle est emmagasinée dans des organes spécialisés. Tout cela fait partie de la stratégie de conservation qui leur permet de croître rapidement au printemps. La masse réelle de la plante comme ses racines, ses rhizomes, ses pousses, et les autres parties qui se trouvent sous le sol, est beaucoup plus importante que la masse qui se trouve en surface - une caractéristique générale du Nord. La masse végétale située sous le sol est ensuite utilisée par certains grands herbivores qui les déracinent et aussi par certains animaux de terre comme les nématodes, les aphidiens et d'autres insectes. Ainsi, la chaîne alimentaire se prolonge dans le sol avec l'apport important que procurent les restes de plantes mortes et les matières fécales comme sources alternatives de nourriture. Sous une forme ou une autre, la plus grande partie de la production des plantes se retrouve donc dans le sol. C'est là qu'elle alimente une diversité encore plus grande de micro-organismes et d'invertébrés. C'est aussi dans le sol que la plante polaire soutient une plus grande production qu'elle ne le fait en surface.

La matière provenant de plantes mortes joue un rôle clé dans le développement de l'écosystème. Elle contient beaucoup de petites quantités de matière nutritive, de l'azote en particulier, que les plantes ont réussi à absorber. Décomposées par une armée de bactéries et de mycètes avant de passer à la chaîne alimentaire du sol, les matières premières de la plante sont transférées d'organisme en organisme, avant d'être graduellement libérées et réabsorbées par la racine des plantes. Au même moment, le carbone qui se trouve dans les restes de plante est aussi recyclé à travers des organismes pour être peu à peu libéré via la respiration et ainsi retourner dans l'atmosphère. Le processus de décomposition est très lent, dans l'Arctique, en partie à cause des températures peu élevées et de l'effet refroidissant du pergélisol. De même, l'absence d'humidité dans les sols bien drainés et l'excès d'eau là où le sol la retient, réduisent le taux de déperissement. La plus grande partie des détritiques qui tombent des plantes ne perdent que de 5 à 10 % de leur poids durant la première année. Ce taux décroît ensuite alors que la partie la plus résistante du matériau pénètre à travers les couches les plus froides du sol. Les matières organiques du sol qui proviennent de l'accumulation de générations de plantes forment peu à peu des sols plus matures. Dans les bourbiers, le manque d'oxygène et des températures basses sur des terrains détrempés se traduisent par de grandes accumulations de tourbe.

La circulation du carbone et des éléments nutritifs dans les écosystèmes suivent plusieurs sentiers et processus. Il ne s'agit donc pas d'un système fermé. Tant le carbone que les éléments nutritifs entrent dans l'atmosphère et circulent à l'intérieur du système. Une partie du carbone et des éléments nutritifs est s'échappe du système et se retrouve dans des cours d'eau et rivières. La plus grande partie du carbone retourne éventuellement dans l'atmosphère. Il s'agit d'un équilibre

fragile entre les gains de carbone et les renvois qui font l'objet d'un plus d'un débat dans les questions liées au rôle de ces régions nordiques dans les changements climatiques.

Si la production végétale dans le Nord est faible, le taux de décomposition l'est aussi. Résultat, avec une accumulation graduelle, les sols nordiques contiennent près de 25 % du carbone contenu dans le sol de la planète, principalement dans les brouillards, les marais et le muskeg. Comme les sols du Nord sont relativement jeunes - à peine 10 000 ans environ - ils ont peu à peu accumulé du carbone dans leur couverture végétale et dans leurs matières organiques. Quoique la plus grande partie du carbone retourne dans l'atmosphère via la respiration des plantes, des animaux et des micro-organismes, les écosystèmes ont en quelque sorte servis de 'cuves' au carbone. C'est de cette façon qu'ils ont aidé à contrecarrer la hausse du taux de carbone dans l'atmosphère qui cause les changements climatiques. Ironiquement, le réchauffement de la planète actuel et prédit, est susceptible de faire accroître le taux de décomposition et la mise en circulation de plus de carbone emmagasiné dans le sol. Il est probable que l'équilibre, entre l'adduction via la photosynthèse et les émissions dégagées par la décomposition, changera. Dans l'avenir, les écosystèmes de toundra deviendront des 'réservoirs' plutôt que des 'cuves' de carbone. En Alaska, certains éléments manifestes démontrent que ce changement se produit déjà.

L'avenir des écosystèmes terrestres ?

Prédire les changements qui affecteront les écosystème au cours des 50 à 100 prochaines années est difficile ! Il ne s'agit pas seulement de considérer les changements dans l'équilibre de production et de décomposition à l'intérieur du système. Il faut aussi tenir compte de la vitesse à laquelle la végétation se déploie après des changements graduels du climat. C'est ici que des modèles informatiques entrent en jeu. Le plus récent de ces modèles reprend les facteurs climatiques qui mènent à des changements ainsi que les réactions chez la croissance de la plante et des matières organiques. On s'attend à ce que la température moyenne annuelle de la région s'élève d'environ 4 °C au cours du présent siècle; un peu plus en Arctique septentrionale; un peu moins dans les régions subarctiques et dans la forêt boréale. Les précipitations sous forme de neige et de pluie varieront beaucoup moins et s'accroîtront sans doute de quelques centimètres chaque décennie. En assumant cela, le modèle informatique est alors échelonné sur une période s'étalant de 1850 à 2100 sur l'étendue de la région circumpolaire à partir de 50 degrés de latitude en remontant vers le nord. Le modèle prédit:

- que la forêt de résineux va s'étendre au détriment de la toundra;
- que la zone actuelle de toundra sera réduite d'ici l'an 2100;
- que l'augmentation de la croissance de la forêt surpassera la hausse de la décomposition de sorte que la région continuera d'être une sorte de 'cuve' à carbone durant tout le siècle.

Plusieurs facteurs doivent être pris en considération et de tels modèles ne sont employés qu'à titre expérimental. Les changements ne se feront pas toujours sans heurts et de façon régulière. Il y aura des périodes et des endroits où la tendance sera quelque peu (en termes de décennies) renversée en raison de conditions locales et de variations du climat. Les changements à court terme seront difficiles à détecter, en partie parce que la réaction biologique traîne toujours derrière les tendances climatiques - mais le système changera, c'est certain.

Les écosystèmes terrestres: le message global

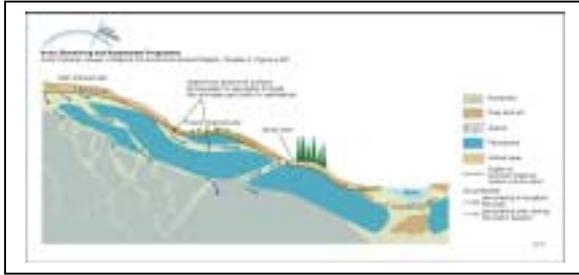
- Par le passé, les écosystèmes terrestres ont changé; ils changent en ce moment même et continueront de changer dans l'avenir;
- Les systèmes réagissent aux variations climatiques dans l'espace et le temps, allant des changements qui affectent à petite échelle la toundra de polygones jusqu'aux mouvements de la végétation et des animaux à l'échelle circumpolaire;
- Plantes, animaux et micro-organismes sont intimement liés à l'échelle locale, tant en surface que sous le niveau du sol et d'un paysage à un autre;
- La chaleur (l'énergie), l'eau, le carbone et les matières nutritives sont véhiculés dans, à l'intérieur et vers l'extérieur des systèmes par des processus biologiques et physiques;
- Les changements dans l'atmosphère affectent la terre et ces modifications sur la terre se répercutent à leur tour dans l'atmosphère.

On peut distinguer plusieurs types de végétation (les scientifiques passent beaucoup de temps à argumenter à propos de leur classification) et penser qu'elles forment les Écosystèmes terrestres. Elles possèdent certes des caractéristiques distinctes et possèdent plusieurs liens internes. En ce sens, elles forment des 'écosystèmes'. Il est également certain que les végétations sont dynamiques; elles sont changeantes et sont intimement liées les unes aux autres et liées dans leur dynamique à l'environnement physique. Il est vital de bien comprendre ces liens au sens large lorsqu'il est question de la protection des espèces et des habitats et de l'utilisation et de la gestion des ressources. Les changements dans une région donnée ont des répercussions sur d'autres régions. Cela s'applique aux changements dans le Nord qui affectent le Sud, et vice versa. Un système !

NEIGE, GLACE ET EAU

Les trois différentes étapes de H₂O constituent les principales forces conductrices responsables de la formation d'une région et déterminent la biologie et l'occupation humaine. La neige s'est accumulée et est devenue compacte sous l'effet de milliers d'années pour former les grandes calottes polaires et les glaciers de l'Arctique. Les couches annuelles constituent maintenant une sorte 'd'archives gelées' que les scientifiques étudient pour tracer l'histoire du climat, plus particulièrement sur la vaste calotte polaire du Groenland. Cette calotte polaire fait jusqu'à 3 000 mètres de profondeur et constitue, en fait, le plus grand réservoir d'eau douce du Nord (*pas de photos à ce jour de la calotte polaire et d'une carotte polaire)

Les calottes polaires se répandent pour former des glaciers. Ceux-ci sont poussés vers le bas des collines par la pression exercée du haut, se déplaçant sur des distances pouvant atteindre jusqu'à 30 mètres par année, polissant la surface du rock et ramassant les débris avant de les transporter vers la langue du glacier ou ils sont déposés sous formes de moraines latérale ou frontale, ou encore emportées par l'eau provenant de la fonte du glacier. Sous forme liquide forme, l'eau se canalise en de profondes rigoles et rivières par lesquelles elle s'écoule rapidement là où le terrain est abrupte. Elle s'écoule plus lentement sur des terrains plats alors que l'eau s'étend vers la vallées humides. En de vastes régions, l'eau qui résulte de la fonte des glaciers et des neiges contribue à la création de plusieurs milliers d'étangs, de lacs et de marais, caractéristiques si importantes de l'Arctique



C'est cependant le pergélisol - un autre réservoir d'eau - qui empêche l'eau de s'infiltrer à travers les couches de sol et de roches les plus profondes (). Ainsi, même avec de faibles précipitations en neige - moins de 300 mm à l'intérieur du continent - le paysage est généralement dominé par l'eau. Les régions où des sols rocheux permettent le drainage

constituent l'exception. Les conditions y sont alors trop sèches ce qui empêche le développement des plantes et résulte en un désert polaire. L'une des raisons qui explique le faible taux de précipitation est que l'air froid transporte beaucoup moins d'eau que l'air chaud. Ainsi, près des côtes l'air chaud provenant de la mer, est refroidi par la terre, et de façon plus particulière là où les montagnes le force à s'élever, avant de se départir de son eau sous forme de pluie ou de neige. Par conséquent, tandis que les régions côtières peuvent être plus chaudes, elles reçoivent jusqu'à 3 000 mm de précipitations.

L'une des conséquences qui découle de la relation entre la température et la capacité de l'air à retenir l'eau est que le réchauffement du climat est susceptible d'être associé à une hausse des précipitations sous forme de neige et de pluie, plus particulièrement près des côtes.

Le Poisson d'or de l'Arctique

Les eaux de la plus grande partie de l'Arctique sont oligotrophique (littéralement 'faible en alimentation') parce qu'elles proviennent de la glace, de la neige et des roches qui lui procurent peu d'éléments nutritifs. En dépit du manque de nutriments, les algues poussent bien même sous la glace des lacs gelés et procure ainsi une base à la chaîne alimentaire de l'Arctique septentrional. Une variété de crustacés (puces de mer et crevettes) se nourrissent de ces algues. Des larves d'insectes s'en nourrissent aussi avant de servir de proies à l'omble arctique - le Poisson d'or de l'Arctique - qui est le seul poisson à vivre de façon naturelle dans les lacs de l'Arctique septentrional. Cette espèce pouvant atteindre 15 ou 16 kg, s'est très bien adaptée. Elle peut vivre jusqu'à 25 ans ou plus et se retrouve partout à travers la région circumpolaire. À elle seule, cette espèce illustre plusieurs des caractéristiques clés de la biologie d'eau douce et de l'écologie humaine dans le Nord.

L'omble arctique est génétiquement adapté pour survivre aux basses températures et son domaine géographique s'étend jusqu'aux îles les plus nordiques comme Svalbard. Il passe la majeure partie de l'année dans les rivières et les lacs avant de migrer pour un mois ou deux vers les eaux des régions côtières, durant l'été, afin de profiter des réserves de nourriture qui y sont importantes. Il revient ensuite à son point de départ pour s'y reproduire. L'âge de maturité varie grandement. La période de frai peut avoir lieu annuellement, tous les deux ans ou moins fréquemment, selon les conditions qui prévalent dans un environnement donné. Certaines populations d'omble arctique vivent aussi dans des lacs fermés et, de ce fait, développent des caractéristiques particulières qui les distinguent des populations qui vivent dans les lacs plus éloignés. Les populations d'ombles arctiques se présentent aussi sous deux regroupements distincts et de tailles différentes. Un petit groupe se nourrit de la faune et du plancton qui vit au fond des lacs tandis qu'un autre groupe, plus important, se nourrit du plus petit groupe - pratiquant le cannibalisme. Ces poissons ressemblent à deux espèces différentes. Ainsi, aux limites septentrionales de son habitat où il constitue la seule espèce de poissons, l'omble arctique fait preuve d'une grande flexibilité dans son style de vie.

Plus au sud ou à des altitudes moins élevées, l'omble arctique se mélange à d'autres espèces de poissons qui ne peuvent pas supporter les températures moins élevées mais avec lesquelles ils sont en compétition dans des eaux plus chaudes. Ainsi, là où il vit avec la truite brune dans le nord de la Suède, l'omble arctique a plutôt tendance à se nourrir de zooplancton à la surface des eaux alors que la truite se nourrit de la faune de fond. En hiver, l'omble arctique continue de se nourrir et se déplace alors vers le fond tandis que la truite a plutôt tendance à cesser de se nourrir parce qu'elle est moins adaptée aux basses températures. Un modèle semblable de coexistence impliquant un partage saisonnier des ressources se produit également entre l'omble arctique et la truite de ruisseau (parfois appelée omble de rivière) dans l'est du Canada. Au fur et à mesure que le nombre d'espèces de poisson qui partage un habitat donné s'accroît, la diète de l'omble se fait encore plus sélective et limitée.

Par conséquent, la 'niche' écologique de l'omble arctique, ainsi que ses variations de taille et autres caractéristiques biologiques, sont très vastes dans les limites septentrionales de son habitat. La niche et le profil de vie sont beaucoup plus restreints par la compétition venant d'espèces moins tolérantes au froid quand la biodiversité s'accroît vers les limites méridionales de l'habitat (il s'agit encore une fois des échelons environnementaux).

Les caractéristiques écologiques que présente l'omble arctique illustrent une flexibilité qui est probablement répandue mais pas forcément évidente chez la faune et la flore du nord. De plus, l'omble arctique peut aussi se reproduire avec d'autres espèces proches parentes comme la truite de ruisseau. Le croisement entre espèces est une caractéristique de plusieurs types de poissons nordiques, ce qui laisse supposer que l'évolution est toujours très active dans cette jeune région.

L'écologie humaine a aussi grandement influencé l'écologie de l'omble arctique. La liste suivante dresse un tableau des influences locales et plus générales et donne les grandes lignes du rôle de l'être humain dans le Nord:

Durant des centaines d'années, les Inuits du Groenland et de l'Arctique canadien ont choisi des sites pour s'y établir de façon permanente afin d'y récolter les poissons de mer. Le peuple sami, lui, ensemait les eaux douces alpines avec de l'omble afin d'établir des réserves de nourriture le long des voies migratoires du renne.

À long terme, la pêche sélective à l'aide de filets-captureurs, supprime les plus grands poissons, ce qui affecte la structure de la population et le profil historique de vie d'un endroit donné. L'utilisation de poison et de dynamite s'est traduit par l'élimination de populations à Svalbard. La suppression répétée de poissons migrateurs grâce à la construction de barrages de pierres (un 'saputit') a conduit à l'élimination de populations locales, au Groenland.

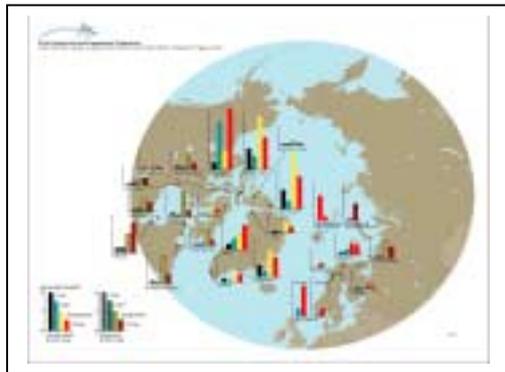
La construction largement répandue de réservoirs hydroélectriques a modifié le niveau des eaux, réduisant le frai le long des rives, faisant augmenter les eaux ouvertes et limitant les options pour se nourrir.

La surpêche d'espèces de proies importantes (le capelan, la morue arctique) a contribué à la réduction des réserves alimentaires en mer sur d'importantes périodes durant la migration de l'omble.

L'implantation de d'autres espèces de poissons et de crevettes d'eaux douces afin 'd'améliorer' la pêche a fait diminuer la quantité d'omble en raison de la compétition. Elle a aussi causé des changements génétiques en raison des croisements inter-espèces et, du coup, perturbe les chaînes

alimentaires. La diminution des populations d'oldsquaws, de hareldes de Miquelon et de prédateurs de poissons (plongeurs, harles et orfraies) sont autant d'autres résultats inattendus.

L'acidification par des polluants atmosphériques en provenance des régions du sud, accumulés dans la neige durant le long hiver, sont libérés sous forme de légumineuses acides par la fonte des neiges, au printemps. Cela a mené à l'élimination du poisson de plusieurs lacs de Scandinavie, faisant accroître le zooplancton et les oiseaux qui se nourrissent d'insectes mais réduisant du coup les espèces se nourrissant de poissons.



Les organismes polluants persistants (OPP), y compris plusieurs pesticides, sont amenés vers le Nord où ils s'accumulent dans les tissus gras et se concentrent en remontant la chaîne alimentaire (bioamplification). L'omble arctique se situe à un niveau intermédiaire de la chaîne alimentaire et plusieurs populations possèdent des niveaux au-dessus des normes.

Le réchauffement du climat va permettre aux compétiteurs de mieux survivre là où ils se trouvent déjà aux limites septentrionales de leur habitat. L'avantage mentionné précédemment quant à l'alimentation en hiver de l'omble arctique sera réduit puisqu'on s'attend à ce que le réchauffement soit plus grand en hiver. L'omble aura tendance à accroître son habitat vers le Grand Nord, perdant du terrain dans le Sud.

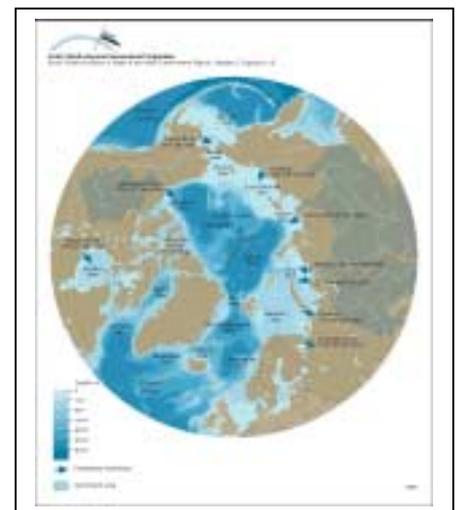
DANS LES MERS ET OCÉANS

Le premier afflux d'eau résultant de la fonte des neiges, au printemps, engendre une masse d'eau froide qui s'écoule des terres qui ceinturent l'océan Arctique. Environ 4000 kilomètres cubiques d'eau s'écoulent ainsi des rivières chaque année. Cela représente environ 2% de la quantité totale d'eau qui arrive dans l'océan Arctique via l'Atlantique et, à un degré moindre, de la Mer de Béring. Mais il s'agit d'un taux élevé en comparaison avec les autres océans. Dans son sillon, cette masse d'eau

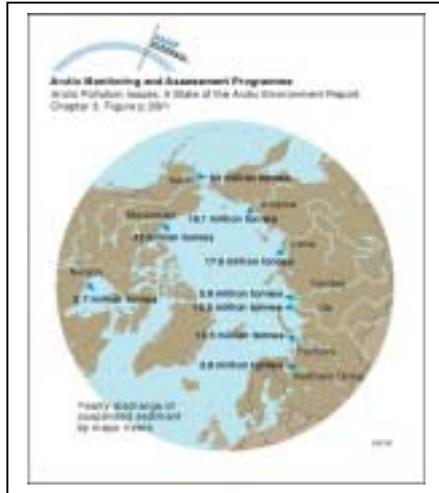


entraîne des aliments nutritifs et des sédiments en provenance des roches transportées par les glaciers. Les sédiments les plus gros se déposent aux fur et à mesure que décroît le flot des rivières, et de façon plus particulière en terrain plat. En revanche, de grandes quantités de fines particules de vase sont charriées par les eaux vers les estuaires et différentes mers.

Le fleuve Yenisey transporte chaque année près de 6 millions de tonnes de sédiments dans les eaux peu



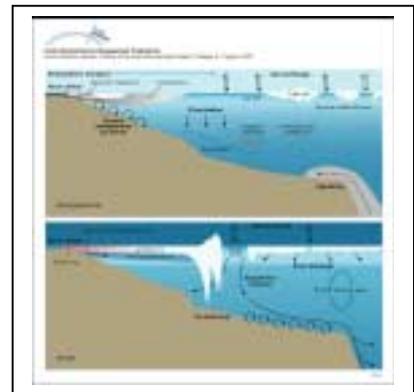
profondes de la Mer de Kara. En contraste, le fleuve Mackenzie apporte sept fois plus de sédiments vers la Mer de Beaufort même si l'apport en eau ne dépasse guère la moitié de celle du Yenisey. La raison qui explique cette différence est que le fleuve Yenisey traverse la terre plate et gelée de la toundra tandis que le bassin hydrographique du fleuve Mackenzie est plus petit, plus abrupte, avec moins de pergélisol et plus de sol et de roches exposées.



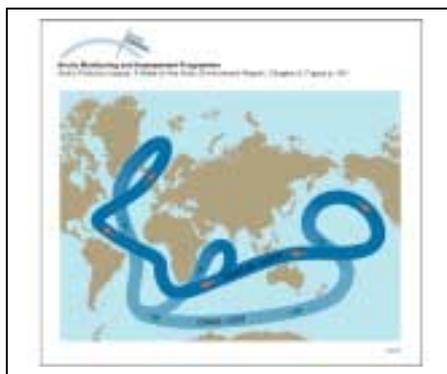
Les estuaires et les deltas se comportent tels des pièges à sédiments, suivis des plaques continentales qui s'étendent jusqu'à 900 km au large de la Sibérie. Seulement 10 à 20% des particules provenant des fleuves Ob et Yenisey sont charriées au-delà des frontières des deltas et du plateau de la Mer de Kara. Au cours d'une année, plusieurs centimètres de sédiments s'accumulent dans le delta du Mackenzie. Une partie de ces sédiments s'écoule en-dessous de la glace de mer, au printemps. Plus tard, le flot des sédiments s'étire dans la mer tel un plumet, et la floculation permet au processus de dépôt de se poursuivre. La forme du plancher marin, la distance des côtes, et la couverture de glace déterminent les caractéristiques physiques et les processus qui affectent le plateau continental. L'eau des fleuves et celle qui résulte de

la fonte de la glace de mer refroidit l'eau de mer au-dessus du plateau continental mais les chauds rayons du soleil peuvent faire grimper la température des eaux peu profondes jusqu'à 4 ou 5 °C en été.

Les eaux de surface et la glace de mer circulent et tournoient dans la Mer de Beaufort et se déplacent généralement d'est en ouest depuis l'Arctique de l'Est vers le Détroit de Fram avant de s'évacuer vers l'Atlantique Nord. La glace de mer ne met que 5 ou 6 ans pour se déplacer de la Mer des Tchoukes, près de l'Alaska, vers le Détroit de Fram bien que la tendance générale cache plusieurs mouvements locaux.



L'eau de surface, froide (près de 0 °C) et faible en salinité s'échappe du Détroit de Fram puis elle croise et se mélange avec les eaux plus chaudes (3.5 à 6 °C) de l'Atlantique. L'eau chaude entraîne dans son sillon de la chaleur en provenance des océans du Sud et est responsable de la formation du Gulf Stream (aussi appelé le Courant du Golfe). C'est la raison pour laquelle Svalbard, l'Islande et l'Europe de l'Ouest ont des climats plus doux



que des régions de latitudes équivalentes en Amérique du Nord et en Russie. Quand l'eau chaude et salée atteint l'Arctique et croise les eaux froides qui s'écoulent du Détroit de Fram, elle devient plus dense et se refroidit avant de glisser sous des couches d'eau plus profondes de la mer. Ce processus est lent mais chaque hiver, plusieurs millions de kilomètres cubiques d'eau s'enfoncent ainsi vers le fond de l'Atlantique. C'est ce qu'on appelle la 'Ceinture de distribution océanique' - la circulation thermohaline - qui transporte la chaleur autour du globe.

Les richesses biologiques des mers et de l'océan

L'association et la variation de facteurs physiques (la glace, la roche, le sable, l'argile de fond, la température, la salinité, le mouvement des eaux, les éléments nutritifs, la lumière) déterminent la qualité biologique du système.

Les côtes. Elles comprennent les estuaires et les deltas dotés de marais et de terre battue, de côtes sablonneuses et de rocheuses, de baies, de criques, de fjords et de falaises. Elles forment la zone de transition entre la terre et la mer - donnant accès l'un à l'autre. Les rives étroites et les deltas plus larges deviennent des lieux d'alimentation et de reproduction. Ce sont les oiseaux qui révèlent par des signes extérieurs et visibles la productivité des mers. Ils migrent vers le Nord pour le court été, survolant des milliers de kilomètres depuis les régions tempérées et tropicales, parfois d'aussi loin que de l'Antarctique dans le cas des sternes arctiques - un voyage annuel aller-retour de 32 mille kilomètres.

Sur les terrains boueux et plats ainsi que les rives sablonneuses, un grand nombre d'échassiers cherchent et fouillent afin de dénigrer de petits crustacés, mollusques, vers et petits poissons. Les échassiers (le bécasseau variable, le knot, le bécasseau et le calidris) se reproduisent presque exclusivement en Arctique avec des populations totales pouvant atteindre jusqu'à 3.5 millions d'oiseaux dont certains profitent aussi des marécages de la toundra (* Carte 6 de Zockler, WMCM). Les sternes se reproduisent en colonies et plongent dans les eaux côtières à la recherche de petits poissons. En colonies beaucoup plus grandes et pouvant compter plusieurs centaines de milliers d'individus, les guillemots (murres), pingouins, gannets, cormorans et macareux nichent dans les hautes falaises ou creusent leurs nids dans la tourbe. Ils pêchent à la recherche de capelans, d'équilles, de morues polaires et d'autres poissons. Ils sont harcelés par les labbes et les goélands. Leurs excréments fertilise des parcelles de végétation d'un vert vif. Les falaises qui vibrent de leur cacophonie en été, se taisent une fois l'hiver venu.

Le plateau continental, les mers et océans.

Les eaux peu profondes des régions côtières alimentent une faune de fond considérable et diversifiée composée de crustacés, de mollusques, d'éponges, de vers, d'anémones, d'étoiles de mer et divers petits poissons. Ils broutent sur les algues ou se nourrissent de détritus ou de plancton et deviennent une source de nourriture pour les plus gros poissons, les oiseaux et les mammifères tels les morses et les phoques. Les eaux peu profondes servent aussi de frayère au capelan, à la morue polaire et à d'autres poissons en mars et avril. Chaque école de capelans peut contenir plusieurs centaines de tonnes de poissons qui se déplacent vers des eaux plus profondes et à la limite de la banquise pour s'y nourrir de plancton - et servir de proie aux oiseaux marins, aux plus gros poissons comme la morue, aux phoques et aux baleines.



La glace joue un rôle important dans l'écologie maritime. En hiver la banquise s'étend vers le Sud et atteint sa dimension maximale en mars. Elle se retire durant l'été, laissant l'océan Arctique couvert de façon permanente par trois mètres ou plus de glace de banquise, avec des arêtes tant à la surface que sous la glace. On trouve pourtant des zones d'eaux libres (polynyas) dans la banquise de mer, même en hiver. Celles-ci sont causés par le vent et le mouvement des

eaux ainsi que par la remontée d'eau plus chaude. En été, près de 10 % de la glace de mer se rencontre en eaux libres.

Les nutriments qui sont charriés par les rivières, par des eaux plus profondes et qui remontent ou qui sont rejetées par l'atmosphère, procurent la base chimique pour la croissance des algues. Ces algues se développent en surface, à l'intérieur et dans la glace tout comme en eaux libres. Elles sont adaptées pour pousser à de faibles températures mais elles se développent aussi là où les températures se rehaussent grâce à la Ceinture de distribution globale. Elles peuvent aussi pousser là où le minimum de lumière réussit à pénétrer au travers de l'épaisseur de glace. Ces algues - les producteurs primaires - sont les éléments clés à la base de la chaîne alimentaire des mers et océans Arctiques.

Aux **limites de la banquise**, particulièrement en eaux peu profondes, se trouve une zone de vie très active. Une chaîne alimentaire complexe se développe et s'étend depuis les consommateurs d'algues vers divers prédateurs, de l'ours polaire au renard arctique qui pénètrent très loin à l'intérieur des glaces afin de s'y nourrir. En eaux libres, les algues flottantes ou le phytoplancton constituent les sources alimentaires pour les petits et grands crustacés (krill) qui servent de nourriture au hareng et au capelan ainsi qu'aux multiples espèces de baleines de l'ordre des mysticètes - celles qui se nourrissent en filtrant leur nourriture à travers les soies du tamis qui se trouve dans leur bouche.

L'ULTIME PREDATEUR ?

Pour les besoins de la vulgarisation, les chaînes alimentaires esquissées ici constituent une simplification du monde réel. Plusieurs autres espèces d'animaux sont impliquées. Ces espèces modifient leurs habitudes et changent d'habitats selon les étapes de leur vie, la période de l'année et selon la région de l'Arctique. Une image plus fidèle de l'Arctique nous est proposée par les Inuits et les Cris de la chaîne alimentaire de la Baie d'Hudson Ici, les systèmes marins, d'eaux douces et terrestres sont inter-reliés, depuis les sources de végétations les plus primaires vers les rangs extérieurs, en passant par les herbivores et les prédateurs selon leur rang successif, vers les Inuits et les Cris, au centre. Les liens sont multiples et se chevauchent. Les sources de nourriture changent aussi de saison en saison.

À titre de prédateur numéro un de la chaîne alimentaire, la position de l'humain se traduit par des conséquences fâcheuses, en particulier dans le cas des peuples autochtones (ou aborigènes). L'accumulation de gras comme isolant et comme réserve alimentaire constitue une adaptation physiologique importante pour plusieurs animaux arctiques. Cette caractéristique, combinée à la solubilité d'organismes polluants et permanents qui se retrouvent dans la matière grasse, signifie que le polluant, quoique présent en petites quantités dans l'environnement, s'accumule en remontant la chaîne alimentaire et se retrouve à présent en quantités importantes chez les peuples autochtones.

Les Premières Nations exploitent leurs ressources naturelles depuis des milliers d'années. Depuis les derniers siècles, les baleiniers, chasseurs, trappeurs et pêcheurs des latitudes plus méridionales n'ont cessé d'exploiter les ressources du Nord. Les effets ont été directs et se sont traduits par une diminution significative des populations animales via la surpêche ou encore indirectement lorsqu'un prédateur est forcé de s'en prendre à une nouvelle proie parce que sa source habituelle de nourriture a été surpêchée. Les populations animales fluctuent beaucoup (*Graphique 5.5, p 90 Hansen). La morue, le hareng et le capelan ont été des cibles privilégiées durant des siècles et l'exploitation de la morue, en particulier, a influencé la prospérité et la

culture de plusieurs nations. Il n'en demeure pas moins que même un poisson aussi productif que la morue, tant à titre de proie que de prédateur pour plusieurs espèces, n'est plus que l'ombre de ce qu'elle a été jadis, les stocks ayant été réduits par **l'humain - l'ultime prédateur !**

REFERENCES PRINCIPALES

AMAP. *Arctic Pollution Issues: A State of the Arctic Environment Report*, 1997, 188 p.

Un sommaire magnifiquement rédigé du système arctique, de ses directions, de son écologie et de ses peuples (les premières 70 pages). Une seconde partie propose ensuite comment les différents polluants entrent dans le système, y sont transférés et les impacts sur le système et les humains. Une référence de premier ordre pour les données. (Également disponible en russe ?).

CHERNOV, Yu. I. *Zhizn' tundry*, Izdatel'atvo. Mysl., 1980. Version anglaise par D. Love, *The Living Tundra*, Cambridge University Press, 1985, 213 p.

Un coup d'oeil complet et équilibré sur la biologie des terres nordiques auquel s'ajoutent un portrait détaillé de l'écologie de la diversité des espèces, leur façon d'interagir et de s'adapter à leurs environnements. L'ouvrage propose d'excellentes descriptions de l'environnement physique et de la dynamique des sols. L'auteur est expert sur l'Arctique et son texte facile à lire (Aussi disponible en format de poche).

CHAPIN et autres, *Arctic Ecosystems in a Changing Climate: An Ecophysiological Perspective*, Academic Press, 1992, 476 p.

Pour l'esprit technique. Ce livre demeure l'un des meilleurs d'une série d'ouvrages consacrés aux organismes arctiques et leur façon de répondre aux changements climatiques. Le livre offre de bons chapitres d'introduction générale sur le Système arctique; suivi par le carbone, l'eau et la dynamique des éléments nutritifs; leur interaction; et enfin un sommaire. Une série de publications connexes mènent à une synthèse vraiment complète.

FOGG, G.E. *The Biology of Polar Habitats*. Oxford University Press, Oxford, 1998, 263p.

Voici une comparaison scientifique de l'environnement et de l'écologie de l'Arctique et de l'Antarctique. L'ouvrage fait autorité en la matière. Geoffrey Fogg s'intéresse ici à tous les grands habitats qu'il évoque d'un point de vue personnel. Il jette aussi un coup d'oeil rapide sur l'influence de l'humanité sur les régions polaires. Une lecture un peu ardue mais qui en vaut bien l'effort.

KURLANSKY, M. Cod. *A Biography of the Fish That Changed The World*. Penguin Books, 1997, 294 p.

Le livre ne se limite pas à l'Arctique mais constitue néanmoins un reportage fascinant sur la façon dont différentes nations ont exploité la morue; comment cela a transformé leur économie, mené à des guerres et forcé les cultures à s'adapter. La morue constituait une richesse illimitée qui a enrichi l'écologie des mers et les nations - avant de s'effondrer. Chaque chapitre propose

au lecteur de découvrir une nouvelle région et une époque différente, construisant du coup une mosaïque fascinante. Une superbe leçon quand au développement durable.

NUTTALL, Mark et CALLAGHAN, Terry (éditeurs.). *The Arctic: Environment, People, Policy*. Harwood Academic Publishers, Amsterdam, 2000, 647p.

Un survol intelligent de l'environnement physique; de la terre, des eaux douces et de la biologie marine, y compris la santé humaine; les dimensions sociales et politiques; les impacts humains sur l'environnement arctique et les politiques en résultant. Les 22 chapitres de cet ouvrage ont été écrits par 35 experts de huit pays différents qui offrent un point de vue équilibré et approfondi. Le prix de l'ouvrage est élevé mais il constitue néanmoins une source indispensable d'information.