



Il était UNE FOIS le climat

LIVRET D'ACTIVITÉS



AUTRICES

Jade Falardeau, diplômée de l'Université du Québec à Montréal

Marie-Michèle Ouellet-Bernier, diplômée de l'Université du Québec à Montréal

COLLABORATEUR.TRICE.S DE LA COMMUNAUTÉ

Cassandra Paul-Greenland, membre de la communauté d'Aklavik

Richard Gordon, Garde forestier principal du parc territorial de l'Île Herschel - Qikiqtaruk

Les participant.e.s aux ateliers d'Aklavik, mars 2020 et juin 2022

COLLABORATEUR.TRICE.S UNIVERSITAIRES

Susanna Gartler, Université de Vienne

Anne de Vernal, Université du Québec à Montréal

Etienne Boucher, Université du Québec à Montréal

Audrey Limoges, Université du Nouveau-Brunswick

GRAPHISME

Eliza Lefebvre-Breton, Repro-UQAM

TRADUCTRICE

Florence B. Lepage

SOUTIEN FINANCIER

Fonds de recherche du Québec - Nature et technologies (FRQNT)

Geotop - Centre de recherche sur la dynamique du système Terre

Programme de formation scientifique dans le Nord (PFSN)



TABLE DES MATIÈRES

Comment reconstituer le climat du passé?

- Cernes de croissance des arbres 5
Activité 1
 - Carottes de sédiments 9
Activités 2 & 3
 - Archives historiques et histoires orales 13
Activité 4
 - Savoirs locaux 17
Activité 5
 - Activité à faire à la maison 19
Activité 6
- Conclusion 20
- Matériel supplémentaire 23
- Dater le matériel avec les radio-isotopes
 - Comprendre la composition de l'eau grâce aux isotopes stables

DE QUOI PARLE-T-ON DANS CET ATELIER?

Explorer de nouvelles perspectives sur les climats du passé : des archives naturelles aux histoires orales

OBJECTIF DE L'ATELIER

L'objectif est de conscientiser les gens au sujet des changements climatiques en Arctique à l'aide d'un cahier d'activités comprenant des questions écrites et une bande dessinée intitulée « À la découverte des récits climatiques d'Aklavik ». Plus précisément, l'atelier présente des méthodes utilisées pour reconstituer les changements climatiques passés. Ces méthodes démontrent l'importance de mieux comprendre le climat à partir d'archives environnementales, écrites ou orales, afin de décrire les dynamiques climatiques et mettre les changements climatiques actuels en perspective. Nous espérons que cet atelier permettra d'alimenter les discussions sur le climat entre les personnes de différents groupes d'âge et de différents milieux.

CLIMAT DU PASSÉ : pourquoi est-ce important?

Nous entendons beaucoup parler des changements climatiques récents et des effets de l'activité humaine sur l'environnement. D'abord, il est important de faire la distinction entre le climat et la météo. La **météo** décrit les conditions extérieures actuelles, comme les nuages, la température, les précipitations, etc. Le **climat** désigne les conditions atmosphériques d'une région sur une longue période de temps, habituellement 30 ans. Les chercheur.euse.s utilisent des modèles numériques afin d'explorer quelle sera la réponse de la Terre à l'augmentation des gaz à effet de serre. Ces scénarios futurs comprennent entre autres l'augmentation de la température et la fonte des glaces. Étudier les conditions climatiques passées permet aux chercheur.euse.s d'identifier les extrêmes et les tendances du climat, ainsi que ses réponses aux facteurs externes tels que l'activité solaire et les gaz à effet de serre. Par conséquent, étudier le climat du passé permet d'améliorer les projections climatiques. Plus les projections sont précises, plus nous pouvons nous préparer pour le futur et prendre soin de nos communautés et de nos ressources.

REPLONGER DANS LE PASSÉ : comment y arriver ?

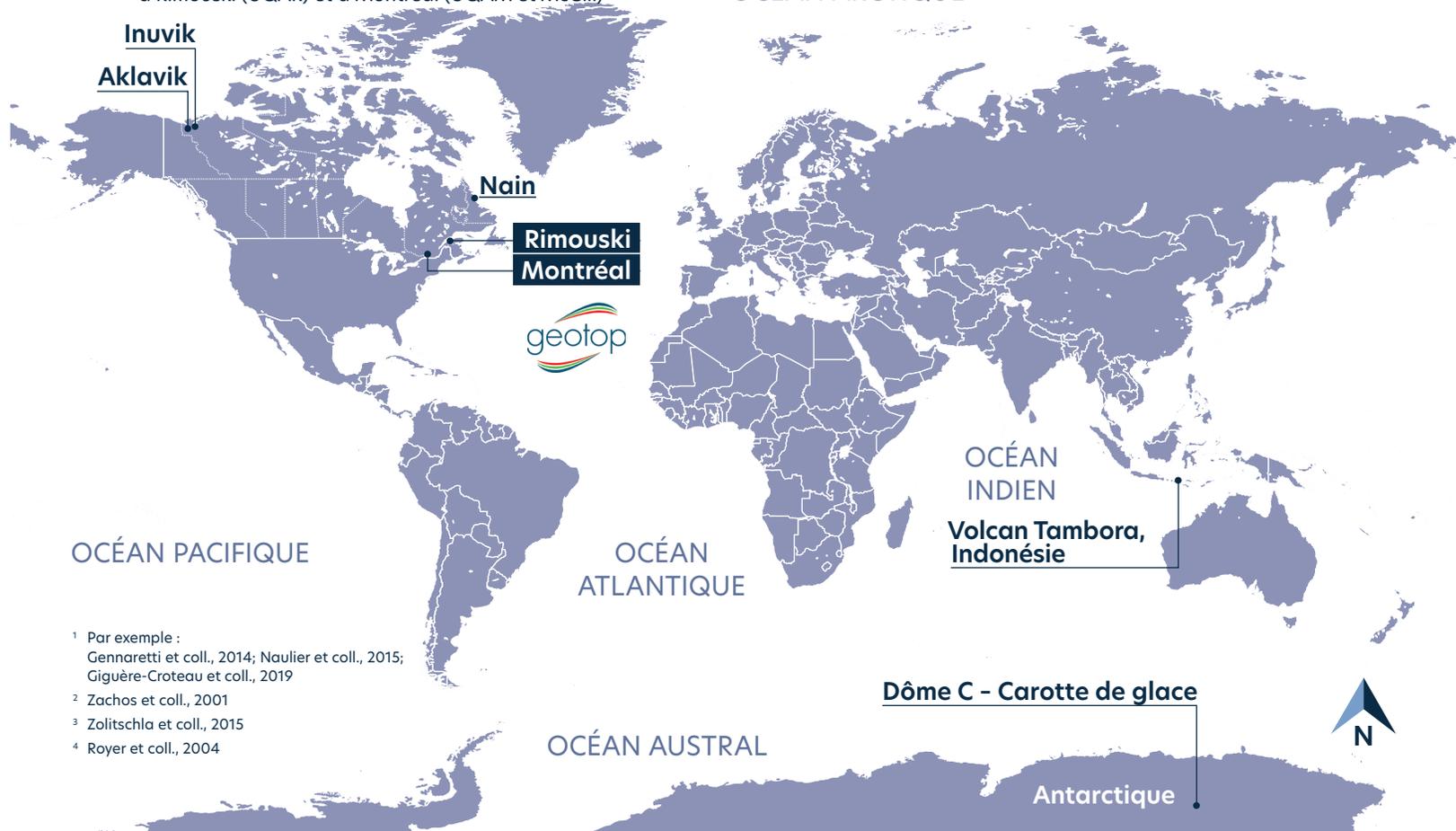
Pour reconstituer le climat du passé, différentes approches peuvent être utilisées : l'étude des cernes des arbres (dendrochronologie), l'analyse des carottes de sédiments et les microorganismes qu'elles contiennent, ainsi que les archives historiques comme les histoires écrites et les journaux. Il est également possible d'examiner le climat et l'environnement du passé à travers la culture orale et les connaissances locales. Ces histoires sont uniques parce qu'elles révèlent différentes perspectives sur la nature et ses changements.

QUELLE EST L'HISTOIRE LA PLUS VIEILLE QUE TU CONNAISSES ?

Figure 1

**Emplacement des principales villes
et communautés mentionnées dans ce cahier.**

Les centres de recherche du Geotop sont situés à Rimouski (UQAR) et à Montréal (UQAM et McGill)



LE PASSÉ : remonter jusqu'à quand ?

Au Canada, grâce à l'étude des cernes des arbres, les chercheur.euse.s peuvent revenir jusqu'à mille ans en arrière¹. Les personnes qui étudient les cernes des arbres, appelées dendrochronologistes, peuvent reconstituer le climat du passé à partir d'arbres vivants et de bois fossiles. Des carottes de sédiments datant de mille à un million d'années ont été récupérées grâce au carottage par gravité et au forage². Les carottes de sédiments qui proviennent des lacs peuvent fournir des informations annuelles jusqu'à des centaines d'années³.

D'autres types de matière, incluant les roches anciennes, permettent aux chercheur.euse.s d'étudier le climat en remontant très loin à l'échelle des temps géologiques, jusqu'à 550 millions d'années en arrière⁴. Toutefois, plus la matière est ancienne, plus il est difficile de reconstituer les détails. Pour finir, en ce qui concerne les archives historiques et les histoires orales, il faut se fier à la mémoire humaine. Les légendes et les histoires peuvent être très vieilles, surtout lorsqu'elles sont transmises de génération en génération.

¹ Par exemple :
Gennaretti et coll., 2014; Naulier et coll., 2015;
Giguère-Croteau et coll., 2019

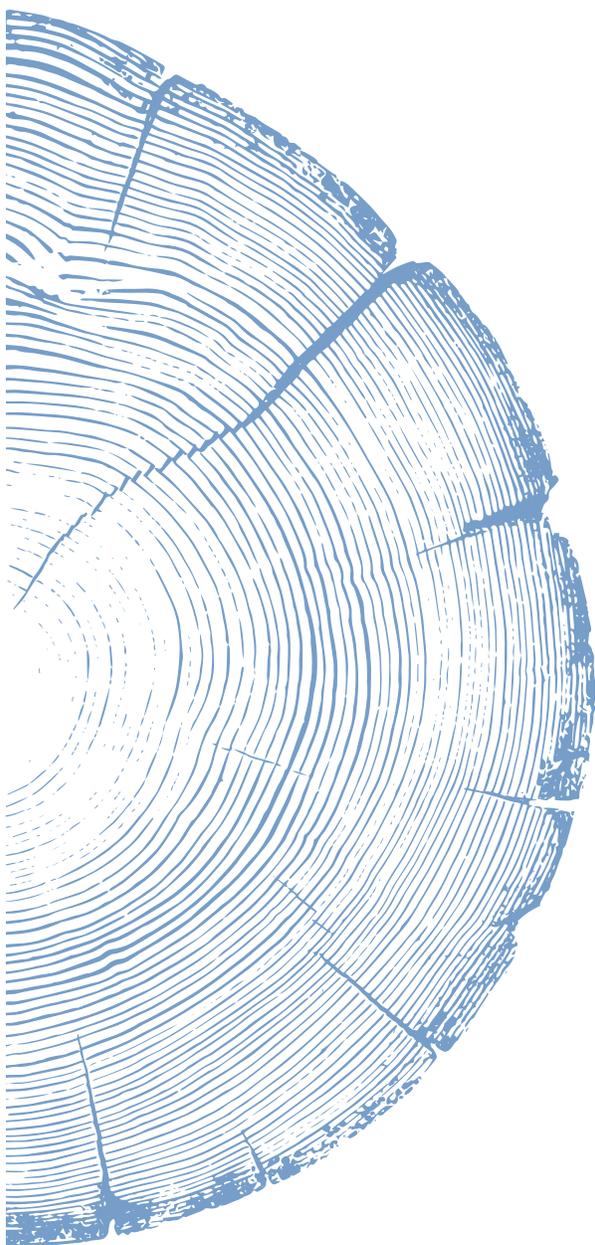
² Zachos et coll., 2001

³ Zolitschka et coll., 2015

⁴ Royer et coll., 2004

COMMENT RECONSTITUER LE CLIMAT DU PASSÉ?

Cernes de croissance des arbres



La dendrochronologie est l'étude des cernes de croissance des arbres. Le nom provient des mots grecs *dendron* qui signifie arbre et *chronos* qui réfère au temps. Tu as probablement déjà vu des cernes sur un tronc d'arbre ou d'arbuste. Il y a un exemple à la figure 2 de la page suivante. Chaque anneau correspond à une année de croissance. En comptant les cernes, on peut connaître son âge. Si on connaît l'année lors de laquelle l'arbre a été coupé, on peut savoir en quelle année l'arbre a commencé à grandir. Mais ce n'est que le début!

En regardant l'épaisseur d'un anneau, il est possible de déterminer si les conditions estivales étaient favorables à sa croissance ou non. En effet, les cernes épais témoignent d'une croissance rapide alors que les cernes minces indiquent une croissance plus lente. Par exemple, si l'anneau d'une année déterminée est épais, on peut en déduire que l'été en question a été chaud avec une quantité de précipitations adéquate (figure 2, activité 1). Dans une forêt, les arbres de la même espèce et à proximité auront tendance à avoir une séquence d'épaisseur des cernes semblable. Ainsi, on peut comparer ces séquences à des code-barres : tous les arbres qui poussent dans les mêmes conditions climatiques partagent ce code-barres. Les arbres morts qui ont poussés dans ces mêmes conditions partagent également une partie de ce code-barres. La comparaison des code-barres, appelée interdatation ou datation par recouplement, est une propriété importante des arbres. Elle permet aux scientifiques de reconstituer le climat sur des centaines voire des milliers d'années (figure 3).

Activité 1

CERNES DE CROISSANCE

**Voici un tronc d'arbre coupé.
Chaque cercle représente une année**

Observe et réponds
aux questions ci-dessous.

Figure 2

Photo d'un arbre coupé. Cette espèce est un érable
de Norvège qu'on retrouve dans la région de Montréal.

En quelle année cet arbre
a-t-il été coupé?

Quel est l'âge de l'arbre?

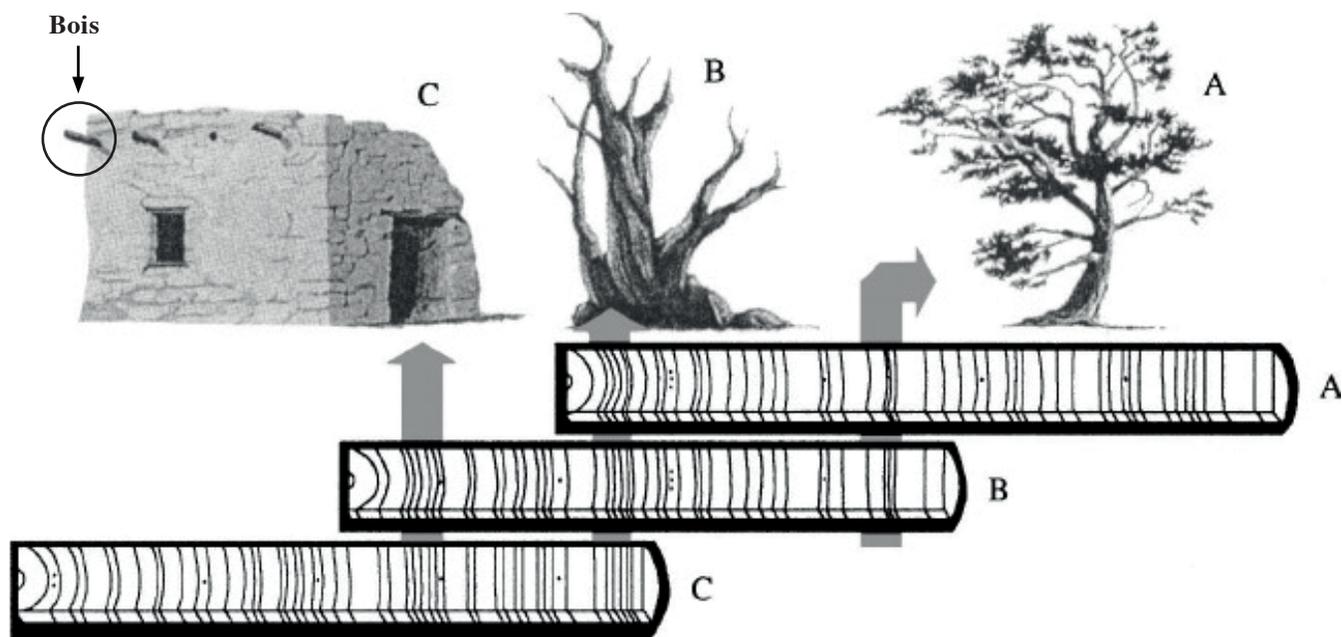
Quelles années étaient
les plus favorables à la croissance?



Figure 3

Dans cet exemple classique provenant du laboratoire de recherche sur les cernes des arbres de l'Université de l'Arizona à Tucson, il y a trois échantillons, du plus jeune au plus vieux (droite à gauche): A = un arbre vivant, B = un arbre mort et C = la charpente d'une maison ancienne.

Chaque échantillon présente une séquence similaire (le code-barres), ce qui a permis de les regrouper ensemble. C'est grâce à cette technique qu'il est possible d'avoir des archives sur une très longue période de temps.



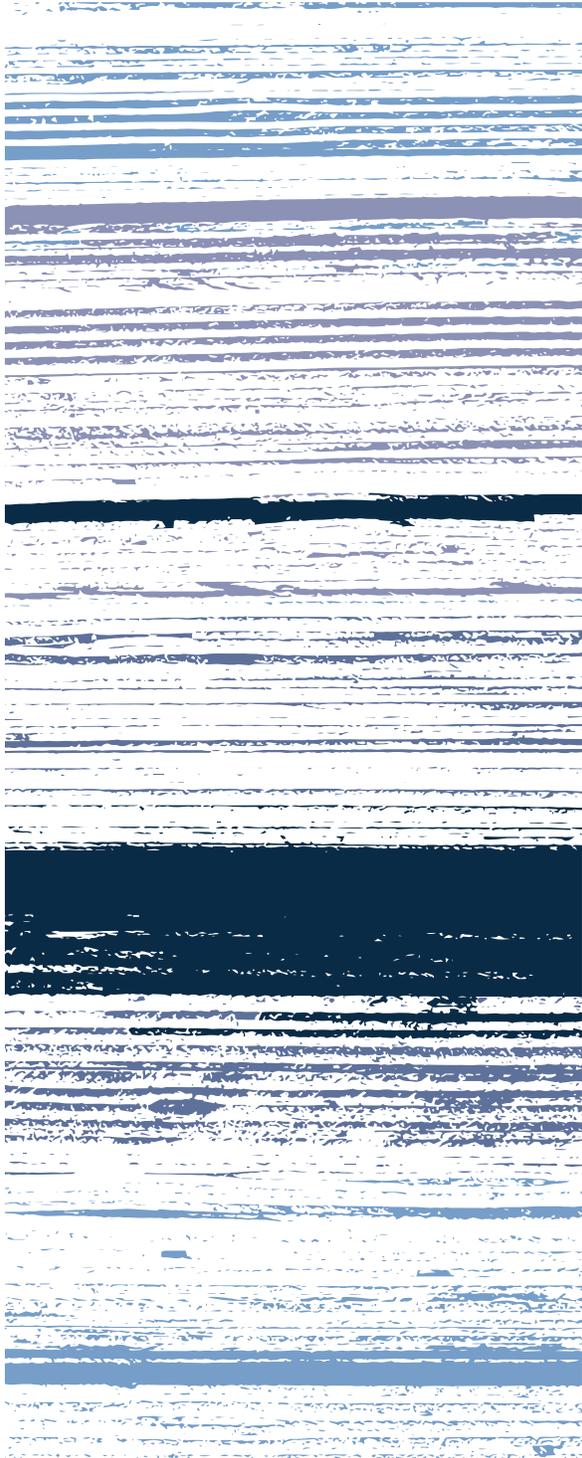
Les arbres ne sont pas les seuls organismes à enregistrer les informations climatiques avec leurs cernes. Les coquilles aussi! Les bandes épaisses signifient de bonnes années de croissance alors que les bandes minces témoignent de conditions de croissance difficiles. L'étude des bandes de croissance se nomme la sclérochronologie. D'autres animaux peuvent même enregistrer de l'information sur leur santé dans leurs cornes ou leurs dents! (figure 4)

Figure 4

Bandes de croissance sur un coquillage et les cornes d'un mouflon de Dall.



COMMENT RECONSTITUER LE CLIMAT DU PASSÉ?



Carottes de sédiments

Les étendues d'eau comme les estuaires, les océans et les lacs peuvent être comparées à des puits. Ce sont des bassins sédimentaires. Chaque année, des particules transportées par les rivières, les vents et les glaces flottantes coulent au fond de l'eau. C'est ce que l'on appelle la sédimentation. Au même moment, des organismes vivant à différentes profondeurs d'eau meurent, coulent et s'accumulent également au fond. Certains petits organismes (microorganismes) se fabriquent une coquille pour se protéger. Ces coquilles peuvent être composées de différentes matières : du carbonate de calcium comme dans les coquillages, de la silice comme dans le verre, ou encore de matières organiques. Ces matières peuvent être préservées sur une longue période de temps. Puisque les sédiments s'accumulent graduellement les uns sur les autres, les sédiments les plus profonds sont plus vieux et les sédiments en surface sont plus jeunes.

C'est pourquoi nous pouvons étudier le passé en utilisant une carotte de sédiments (figure 5, activité 2). Les carottes de sédiments sont prélevées à partir d'un bateau en utilisant un large cylindre de plastique qui est poussé de façon verticale dans le fond de l'eau afin d'y extraire les matières accumulées (figure 10). Les différentes méthodes pour dater les sédiments sont décrites dans le **matériel supplémentaire numéro 1**. Chaque gramme de sédiment marin peut contenir plusieurs centaines voire des milliers de coquilles de microorganismes (microfossiles), qui sont observables et identifiables à l'aide d'un microscope. Nous pouvons déterminer les conditions environnementales dans lesquelles les microorganismes vivaient en étudiant les variations de leur abondance ainsi que la diversité des espèces (figure 6, activité 3). Certaines espèces préfèrent l'eau chaude, certaines se sont adaptées à vivre près de la glace de mer alors que d'autres ont une préférence pour l'eau salée. De plus, en s'attardant à la chimie des coquilles, surtout celles faites de carbonate de calcium, il est possible de recueillir de l'information sur les propriétés chimiques de l'eau dans laquelle ces microorganismes se sont développés. Par exemple, nous pouvons estimer la salinité et la température de l'eau, ainsi que la quantité de glace sur le continent. Voir le **matériel supplémentaire numéro 2** pour plus de détails. Les tourbières sont aussi de bons environnements pour extraire des carottes de sédiments. À travers les années, particules, débris de végétation, insectes morts, grains de pollen et autres s'empilent les uns sur les autres dans la tourbe, de façon à se préserver et à se fossiliser.

Activité 2

CAROTTE DE SÉDIMENTS

Voici une carotte de sédiments marins échantillonnée dans l'océan Arctique. Peux-tu identifier la surface et le fond de cette carotte?

Coche les bonnes cases et répond à la question.

Figure 5
Une carotte de sédiments.

Surface **OU** Fond

Observe la différence entre les grains plus grossiers (sédiment sablonneux) et les grains plus fins, plus beiges/pâles.

En quelle année les sédiments beige pâle et plus fins se sont retrouvés dans le fond de l'océan pour la première fois?

Surface **OU** Fond



Activité 3

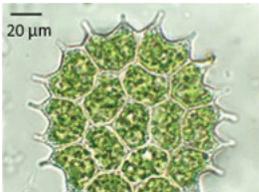
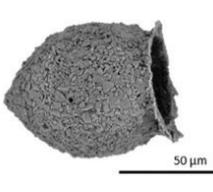
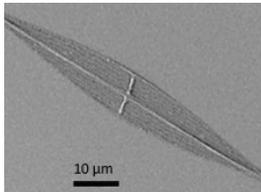
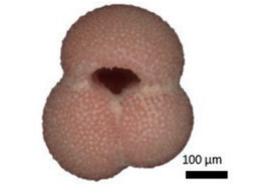
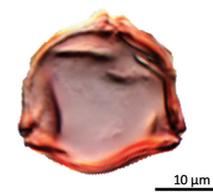
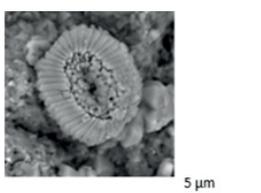
MICROPALÉONTOLOGIE

Les microfossiles sont étudiés à partir des carottes de sédiments. Les différentes espèces que l'on retrouve dans les sédiments sont représentatives des conditions environnementales dans lesquelles elles ont vécu.

Les deux échantillons illustrés ci-dessous contiennent différentes espèces de microfossiles.

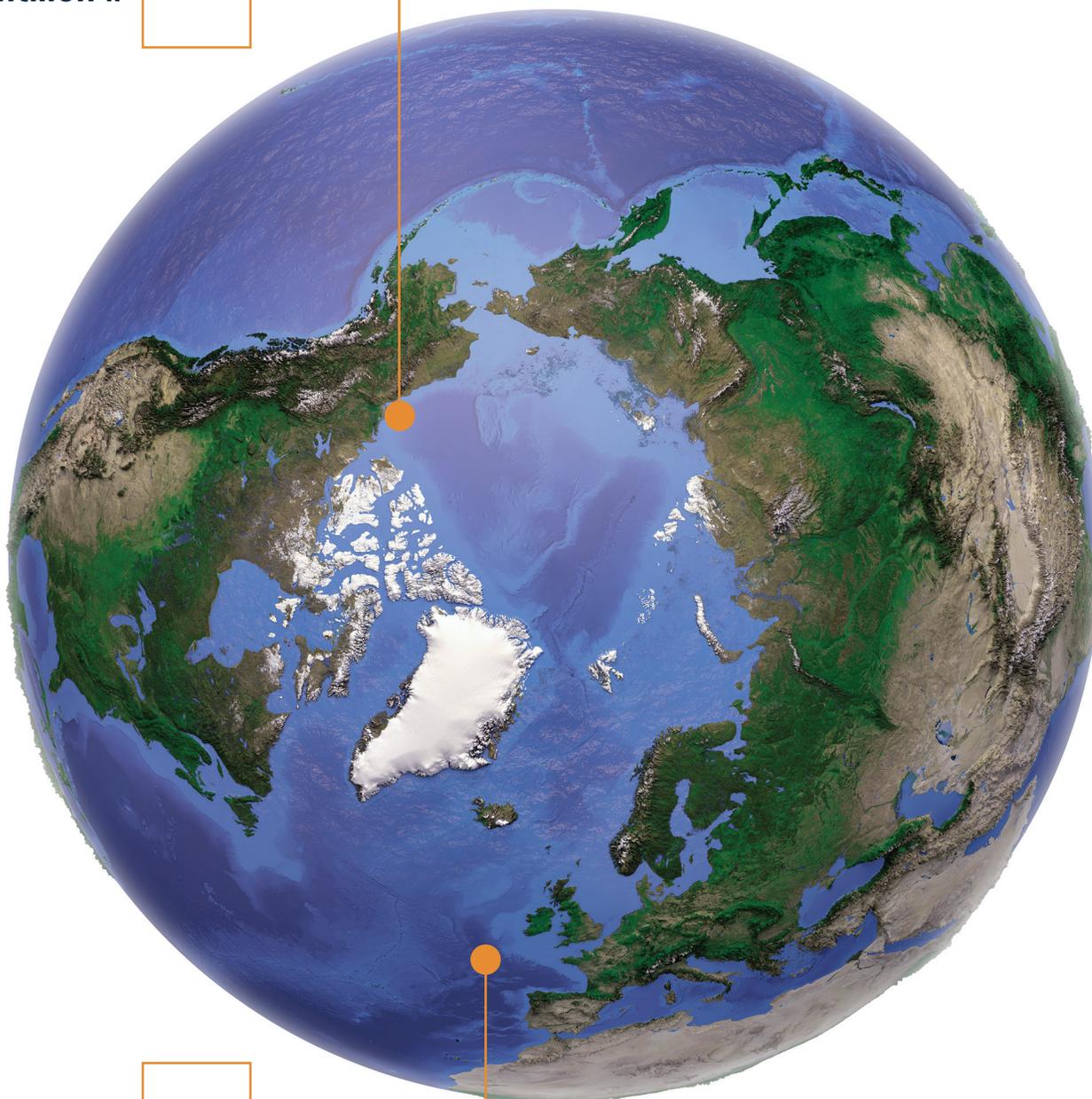
Figure 6

Photos des microfossiles retrouvés dans deux sites différents de l'hémisphère nord.

ÉCHANTILLON # 1 © Photo Nom Type Préférence écologique	 <p>10 µm Van Nieuwenhove et coll. (2020)</p>	 <p>20 µm microscopeandmonsters.com</p>	 <p>50 µm Jade Falardeau</p>	 <p>10 µm Hardardóttir/Concarneau MNHN</p>
	<i>Islandinium minutum</i> Dinokyste	<i>Pediastrum sp.</i> Algues vertes	<i>Tintinnopsis fimbriata</i> Tintinnide	<i>Haslea spicula</i> Diatomée
	Glace de mer, eaux de fonte	Eaux douces	Embouchures de rivières	Glace de mer
ÉCHANTILLON # 2 © Photo	 <p>100 µm Tiffany Audet</p>	 <p>10 µm Van Nieuwenhove et coll. (2020)</p>	 <p>10 µm Joan Vallerand</p>	 <p>5 µm Nicole Snyder</p>
	<i>Globigerinoides ruber</i> Foraminifère planctonique	<i>Spiniferites mirabilis</i> Dinokyste	<i>Betula sp.</i> Grain de pollen (bouleau)	<i>Emiliana huxleyi</i> Coccolithe
	Eaux salées et relativement chaudes	Eaux chaudes	Forêt mixte - climat tempéré	Eaux chaudes et salées

Devine où les échantillons 1 et 2 ont été collectés. Deux sites d'échantillonnage sont marqués d'un cercle orange.

Échantillon #



Échantillon #

COMMENT RECONSTITUER LE CLIMAT?

Handwritten text in a cursive script, likely a historical record or a personal account, written in a language that appears to be a mix of French and another language, possibly Breton or Occitan. The text is dense and covers most of the left page.

Archives historiques et histoires orales

Les archives historiques comprennent tous types de documents écrits : livres, journaux, poèmes ou histoires orales. Les écrivain.e.s ou conteur.euse.s peuvent partager certaines perceptions et expériences en lien avec le climat. Ces connaissances sont transmises à travers les différentes générations et communautés. Ces perceptions peuvent également s'exprimer par l'art, la photographie ou la peinture. Les archives historiques et histoires orales témoignent de la relation entre la nature et l'expérience humaine.

Les archives écrites (récits de vie, romans et journaux) et les histoires orales retracent souvent des extrêmes climatiques, comme une tempête de neige hors de l'ordinaire, un été chaud ou un hiver très long. Ces événements exceptionnels ont une durée généralement courte et ne sont pas toujours enregistrés par les autres méthodes présentées dans ce cahier. Un autre avantage des archives historiques et histoires orales est que celles-ci peuvent référer à n'importe quel moment de l'année et à des événements de courtes durées, alors que les autres approches mesurent habituellement des moyennes saisonnières.

Activité 4

ARCHIVES ÉCRITES ET HISTOIRES ORALES

**Comment décrirais-tu la météo
d'aujourd'hui si tu devais écrire un livre
ou raconter une histoire à un.e ami.e ?**

Réfléchis à cette question
et réponds aux questions suivantes :

Comment décrirais-tu les hivers où tu habites ?

Comment décrirais-tu les étés où tu habites ?

As-tu remarqué des changements dans le climat ou la nature depuis que tu es jeune?

Coche la ou les cases qui correspondent à tes observations ou ajoute tes propres observations.

- | | | |
|--|--|---|
| <input type="checkbox"/> Température plus chaude | <input type="checkbox"/> Moins de pluie en hiver | <input type="checkbox"/> Différents oiseaux Différents |
| <input type="checkbox"/> Température plus froide | <input type="checkbox"/> Plus de vent | <input type="checkbox"/> poissons Différents |
| <input type="checkbox"/> Saison chaude prolongée | <input type="checkbox"/> Moins de vent | <input type="checkbox"/> mammifères |
| <input type="checkbox"/> Saison chaude écourtée | <input type="checkbox"/> Plus de pluie verglaçante | <input type="checkbox"/> Plus d'insectes |
| <input type="checkbox"/> Plus de neige | <input type="checkbox"/> Moins de pluie verglaçante | <input type="checkbox"/> Moins d'insectes |
| <input type="checkbox"/> Moins de neige | <input type="checkbox"/> Étés très chauds | <input type="checkbox"/> Moins de jours où la glace
est sécuritaire pour y voyager |
| <input type="checkbox"/> Plus de pluie en été | <input type="checkbox"/> Inondations | <input type="checkbox"/> Plus de jours où la glace
est sécuritaire pour y voyager |
| <input type="checkbox"/> Plus de pluie en hiver | <input type="checkbox"/> Haut niveau d'eau dans les rivières | |
| <input type="checkbox"/> Moins de pluie en été | <input type="checkbox"/> Bas niveau d'eau dans les rivières | |

LE CLIMAT dans les textes et les histoires

Exemple 1

Ce texte s'intitule *Qivuiq, le garçon à l'esprit de deux oiseaux*. C'est une histoire racontée par le peuple Inuvialuit qui vit dans le nord-ouest du Canada. L'extrait choisi parle de la glace (*siku*) et de l'importance de la formation de la glace pour ce peuple. On y retrouve une mention de la glace de mer qui est sur le point de se former.

Glossaire Inuvialuktun-Français

Siku : glace ou eau sous forme solide

Ulu : le couteau des femmes
en forme de demi-lune

Sikuliaq : jeune glace ou couche
très mince de glace
de première année



“La siku était gelée sur une grande surface, mais était mince puisque c'était la fin de l'automne. Quand il a lancé le ulu, il a frappé la sikuliaq qui s'est cassée en deux, ouvrant ainsi un chemin par lequel il pourrait voyager ”

Traduction libre tirée de
Qivuiq, the Boy with the Spirit of two birds,
Inuvialuit Cultural Centre Digital Library

Figure 7
Exemple d'un ulu.

Exemple 2

Cet exemple provient du peuple Inupiaq en Alaska. L'histoire est intitulée *L'été qui n'est jamais arrivé*. Elle se déroule à la fin du mois de juin. Elle parle d'un été très froid où il y avait de la neige et des cours d'eau gelés pendant tout l'été. Une année hors norme.

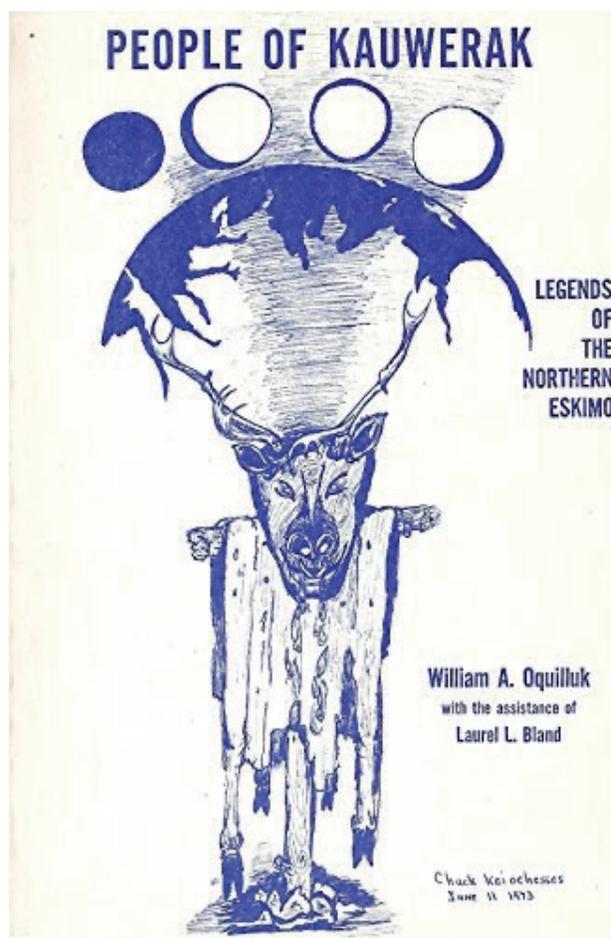
“ Une fois les oiseaux de toutes sortes sont arrivés en Alaska, la météo a changé pour un ciel nuageux et couvert. Le vent a changé pour un vent du nord. Le sol était exposé. Il n'y avait pas de neige. Les rivières et ruisseaux ont commencé à couler, les lacs avaient de l'eau.

Soudain, tout est devenu froid. Rapidement, l'eau a cessé de couler. L'eau a gelé. La neige a commencé à voler. De grosses tempêtes sont survenues. [...] Le vent du nord était un vent très fort. [...] Il y a eu 18 mois de météo hivernales froides et dures. ”

Traduction libre

Figure 8

The Time the Summer Did Not Come
tiré de William A. Oquilluk, *People of Kauwerak*, 1973.



Exemple 3

En Europe et en Amérique du Nord, l'année 1816 est connue pour avoir eu un été froid et pluvieux. L'éruption du volcan Tambora en Indonésie (figures 1 et 9) en était la cause. Une grande quantité de cendres a été relâchée dans l'atmosphère, filtrant les radiations solaires. À l'époque, personne ne connaissait la cause de ce refroidissement soudain. C'est précisément cette année-là que Mary Shelly a écrit son roman célèbre *Frankenstein*, au cœur des Alpes suisses, où on pouvait observer davantage de brouillard et de froid.

À la même époque, le long de la côte du Nunatsiavut (figure 1), la navigation sur la mer du Labrador est devenue périlleuse à cause de la présence massive de glace de mer. Le capitaine du bateau des missionnaires moraves⁵, le *Jemima*, a écrit :

« 18 octobre 1816. Le *Jemima* arrive sur les rives du Labrador, après la traversée la plus dangereuse et épuisante jamais connue. Le Labrador, tout comme la majeure partie de l'Europe, semble avoir subi un énorme changement dans ses éléments au cours du dernier été »⁶

⁵ Les missionnaires moraves sont originaires de la République tchèque et se sont exilés vers l'Allemagne en 1722

⁶ Traduction libre. *Periodical accounts relating to the missions of the Church of the United Brethren established among the heathen*, vol. 6, p. 270.



Figure 9
L'éruption du mont Tambora à l'horizon.
Rob Wood - wrh-illustration.com

COMMENT RECONSTITUER LE CLIMAT DU PASSÉ?



Savoirs locaux

Les savoirs locaux désignent les pratiques, expertises et philosophies qui découlent de l'expérience des peuples et de leur connaissance du territoire.

Les savoirs locaux peuvent se retrouver dans les archives historiques, mais ils sont la plupart du temps partagés sous forme orale. Pour ce projet sur les histoires du climat, des savoirs locaux ont été recueillis à Aklavik dans les Territoires du Nord-Ouest du Canada (figure 1).

Activité 5

SAVOIRS LOCAUX

🔊 Transcription 1

Nous avons remarqué que des oiseaux différents arrivent. Certains oiseaux migrateurs arrivent plus tôt, plus tard, restent plus longtemps. La glace, comme elle est en ce moment, elle prend du temps à geler. Aujourd'hui, c'est la première journée froide et on est à la mi-novembre.

🔊 Transcription 2

Je suppose que Nous, avec le temps qui passe, nous apprenons à s'y adapter et à apprendre à vivre avec, et par chance nos communautés, nous sommes là depuis suffisamment longtemps, nous savons qu'il y a d'autres places où nous pouvons aller, par exemple en été, quand nous voulons aller à la chasse à la baleine. Il y a toutes ces places qui sont peu profondes maintenant, mais ils trouvent leurs chemins vous savez. Ils connaissent leur territoire.

Traduction libre tirée d'entrevues réalisées en anglais avec des détenteur.trice.s de connaissances à Aklavik.

Des gens nous racontent des histoires au sujet du climat du passé.

Écoute les extraits audio (ou lis les transcriptions) et coche chaque catégorie en lien avec le climat présenté dans l'extrait : nature, météo, saisons et peuples.

Tableau 1
Parler du climat/de la météo.

Clip 1	Clip 2	CATÉGORIES EN LIEN AVEC LE CLIMAT
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nature Migration, floraison, comportement des animaux ou des insectes. Saison de croissance, tombée des feuilles ou gelée des sols.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Saisons Début ou fin de saison.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Météo Température, pluie, neige, brouillard ou humidité.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Gens et communauté Activités sur le territoire Lieux où les gens vont chasser ou pêcher, lieux où les gens se déplacent.

À FAIRE À LA MAISON

Activité 6

POSE DES QUESTIONS AUTOUR DE TOI!

Si ces histoires t'ont inspiré.e, tu voudras peut-être demander à ta famille et tes ami.e.s de te raconter des histoires!

Les légendes et les histoires gardent les souvenirs vivants.

Demande à un.e aîné.e de te raconter une histoire sur un phénomène climatique extrême (comme une inondation, une tempête de neige, de la pluie verglaçante, etc.) et écris-la ici.

Idées de questions pour tes entrevues :

- D'aussi longtemps que tu te souviennes, qu'est-ce qui a le plus changé dans le climat ou dans la nature?
 - Pendant l'été?
 - Pendant l'hiver?
- Nomme 3 mots pour décrire le climat dans ton enfance. Choisirais-tu les mêmes 3 mots aujourd'hui?
- Que penses-tu des changements climatiques?
Est-ce important d'en parler avec les générations plus jeunes?
- Peux-tu me raconter l'histoire ou la légende la plus vieille que tu connais ou que tu as entendue de quelqu'un? Si possible reliée au climat ou à la nature.

CONCLUSION

Qu'est-ce que la nature et les gens nous ont appris sur le climat du passé ?

Au Canada, les populations mesurent les conditions météorologiques depuis près de 200 ans, en utilisant divers instruments comme des thermomètres ou des pluviomètres, ou encore plus récemment des images satellites. Cela permet de surveiller les variations des conditions environnementales dans le temps, surtout celles qui sont représentatives des changements climatiques récents. Toutefois, il est rare que ces outils de mesure couvrent toutes les régions de la Terre, surtout les régions éloignées des centres densément peuplés. De plus, 200 ans c'est très peu pour l'histoire de la Terre! C'est pourquoi il reste encore beaucoup de choses à apprendre sur les dynamiques du climat! Heureusement, la nature ainsi que les savoirs locaux peuvent nous en apprendre beaucoup sur les conditions environnementales du passé et nous éclairer sur les mystères cachés du climat de notre planète.

Dans ce cahier, tu as été introduit à quatre méthodes pour reconstituer le climat du passé :



Cernes de croissance des arbres

Chaque cerne donne de l'information sur la météo et les conditions environnementales d'une année.



Archives historiques et histoires orales

Les documents écrits et histoires orales décrivent l'expérience des peuples envers leur environnement et leur relation avec le climat.



Carottes de sédiments

Les grains de pollen, microfossiles et autres sédiments nous aident à comprendre les conditions climatiques régionales sur de nombreuses années.



Savoirs locaux

Les gens se souviennent du climat de leur enfance. Ils sont une source d'information sur des événements qui se sont déroulés il y a bien longtemps. Pouvoir discuter avec les aîné.e.s et les détenteur.trice.s de connaissances est une richesse. Cela permet de connaître comment le climat et le territoire ont changé.

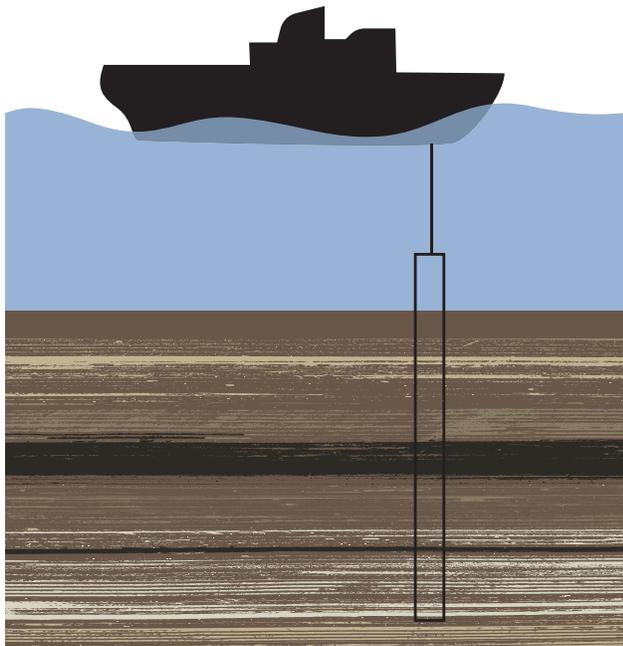
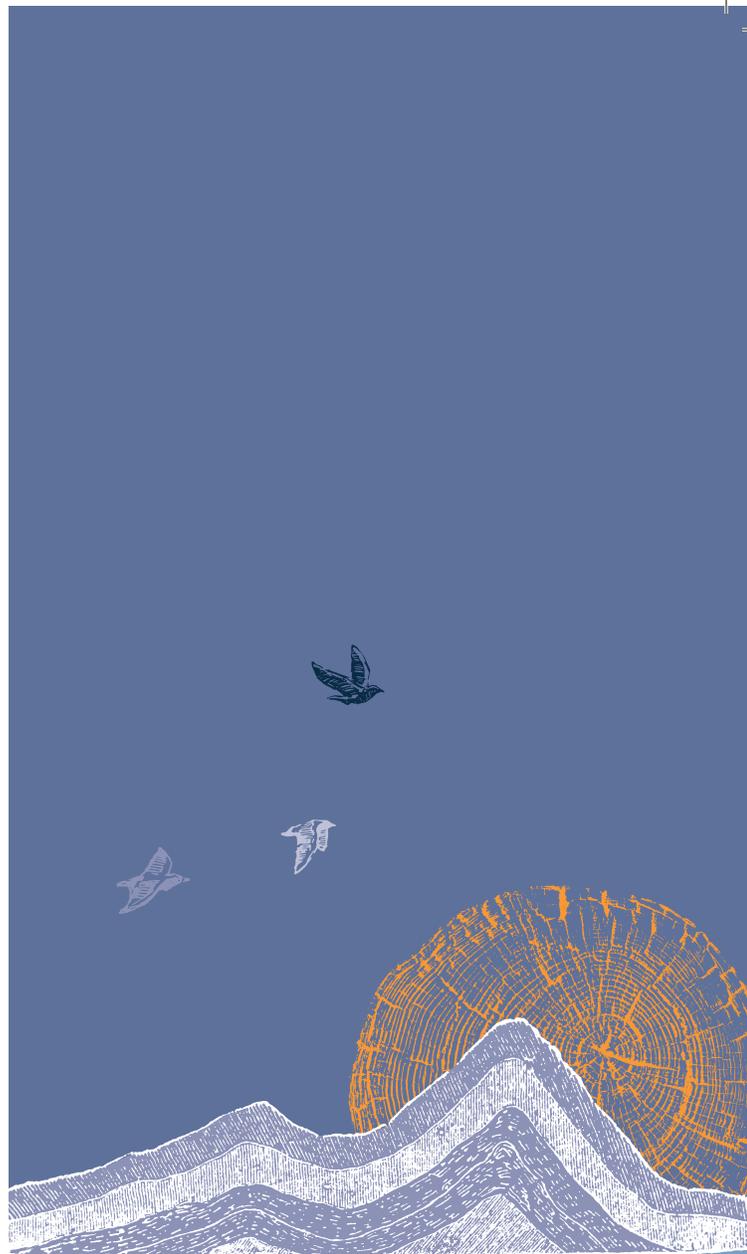


Figure 10
Carottage de sédiments à partir d'un navire de recherche.

D'autres méthodes pour reconstituer le climat du passé existent. Par exemple, la composition de la glace extraite de l'Antarctique (figure 1) peut nous communiquer de l'information sur les gaz atmosphériques et la température d'il y a 800 000 ans!

En enquêtant sur les conditions climatiques du passé à l'aide d'archives naturelles et humaines, les scientifiques peuvent améliorer la qualité des projections pour le futur.

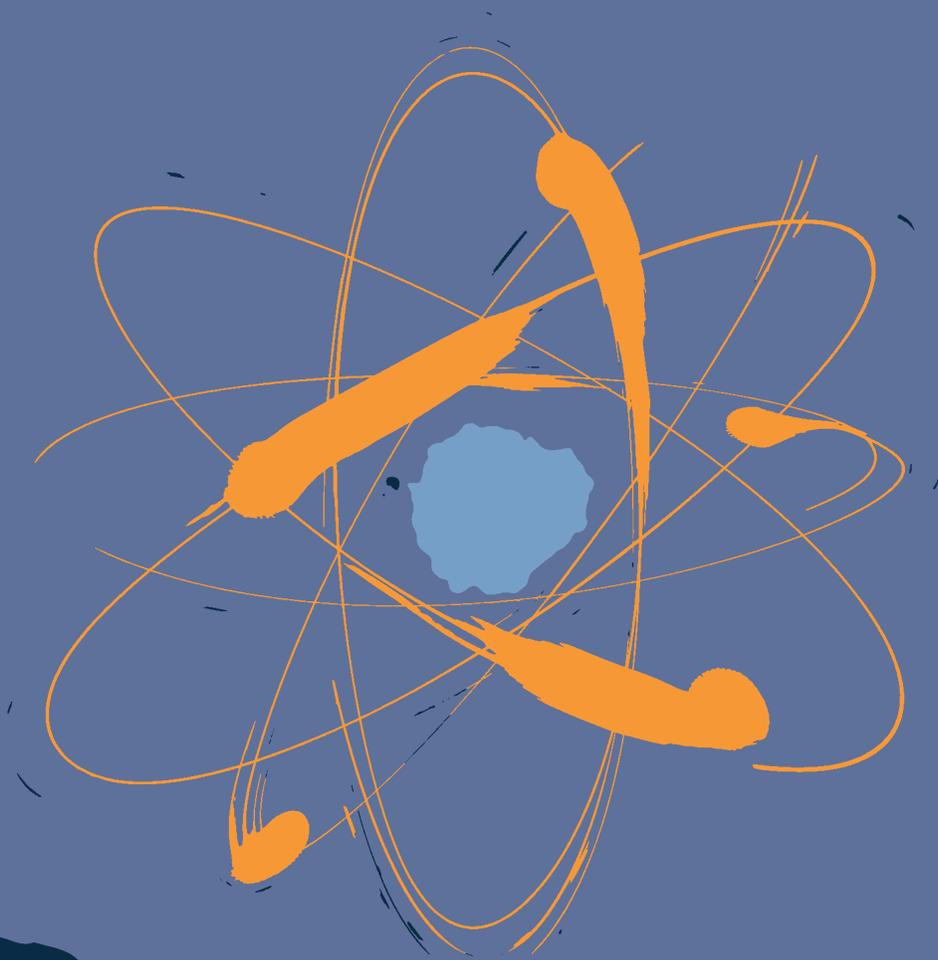
Cela est crucial dans un contexte de changements climatiques accélérés par les activités humaines. Reconstituer le climat contribue à la compréhension des dynamiques de différents éléments de notre planète, comme les océans, la terre, la glace de mer, les glaciers et l'atmosphère.



**Nous espérons que
tu as aimé ces activités!
Tu peux maintenant
continuer à explorer
et te lancer toi-même
dans la recherche
sur le climat du passé!**



Suis-moi dans
mon aventure!



MATÉRIEL SUPPLÉMENTAIRE

MATÉRIEL SUPPLÉMENTAIRE

Les isotopes

Chaque élément de la nature, comme l'hydrogène (H), le carbone (C) ou l'oxygène (O), possède un numéro atomique qui correspond au nombre de protons (+) de son noyau. Par exemple : ${}_1\text{H}$, ${}_6\text{C}$ et ${}_8\text{O}$.

Toutefois, dans le noyau atomique, il y a aussi des neutrons, qui sont des particules avec une charge électrique neutre. Le nombre de masse indique combien de neutrons le noyau possède. Par exemple, le nombre de masse d'un atome d'oxygène est 16 et s'écrit ${}^{16}\text{O}$. Puisqu'il y a 8 protons dans le noyau de cet élément, on sait qu'il y a 8 neutrons dans ${}^{16}\text{O}$.

Isotopes : Les atomes d'un élément chimique ont tous le même nombre de protons, mais peuvent avoir un nombre différent de neutrons dans le noyau. C'est ce qu'on appelle les isotopes.

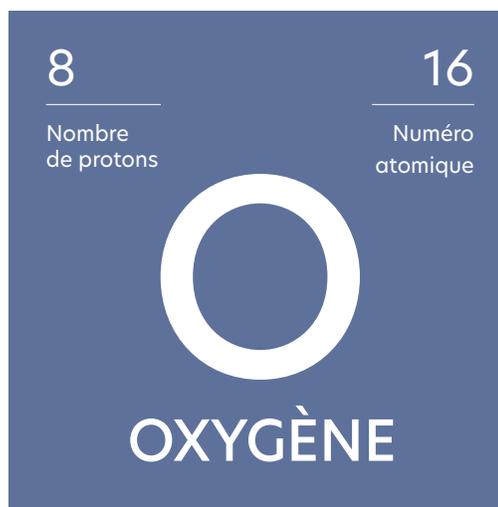
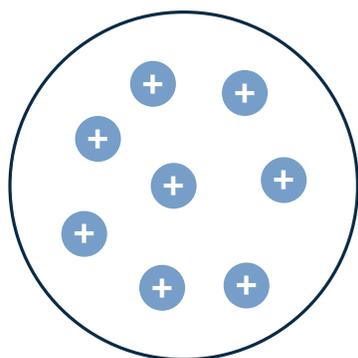
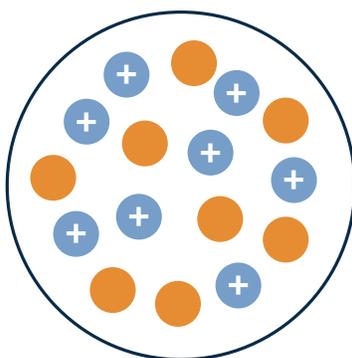


Figure 11

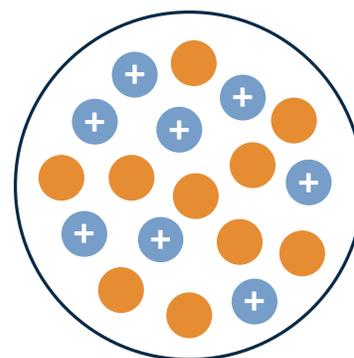
Qu'est-ce qu'un isotope? Exemple de ${}^{16}\text{O}$ et de ${}^{18}\text{O}$.



Un atome d'oxygène contient 8 protons.



99,757 % de l'oxygène dans la nature contient 8 neutrons (${}^{16}\text{O}$). Sa masse est plus légère.



0,205 % de l'oxygène dans la nature contient 10 neutrons (${}^{18}\text{O}$). Sa masse est plus lourde.

1 DATER LE MATÉRIEL avec les radio-isotopes

Parfois, un isotope d'un élément est instable, ce qui signifie qu'il perd graduellement (émet) ses neutrons pour redevenir stable. Ces isotopes sont appelés « radio-isotopes » et l'émission de neutrons est appelée « désintégration ». Le taux de désintégration est déterminé par sa demi-vie, qui est propre à chaque radio-isotope. C'est de la radioactivité, mais pour la plupart des éléments, c'est sans danger!

Au laboratoire de radiochronologie du Geotop⁷ à Montréal (figure 1), nous utilisons principalement deux radio-isotopes pour dater les sédiments récents : le plomb 210 (²¹⁰Pb) et le césium 137 (¹³⁷Cs).

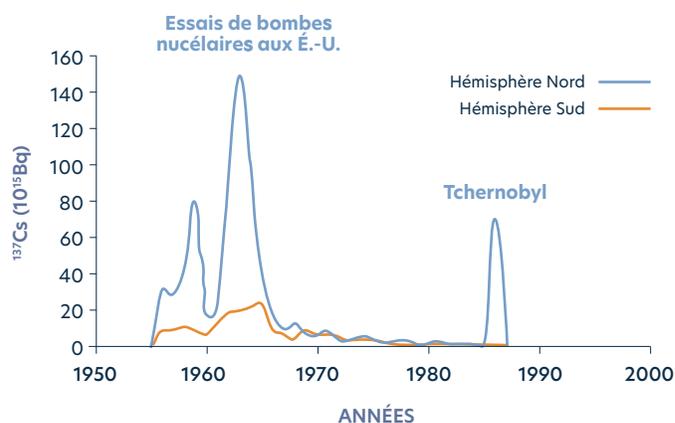
²¹⁰Pb

Le ²¹⁰Pb en excès s'accumule au fond des océans, lacs ou tourbières. Il provient de l'atmosphère, tout comme la poussière. La demi-vie du ²¹⁰Pb est de 22,23 ans. Cela veut dire que la moitié du ²¹⁰Pb qui s'est accumulée il y a 22,23 ans se sera désintégrée à la fin de cette période. Il faudra ainsi 120 ans pour que le ²¹⁰Pb en excès qui s'était accumulé disparaisse du fond marin. C'est ainsi que nous pouvons dater les sédiments récents dans une carotte. Lorsque le sédiment est récent (près de la surface), il est riche en ²¹⁰Pb. Plus on va en profondeur, moins il reste de ²¹⁰Pb en excès, jusqu'à ce qu'il soit indétectable. À cette profondeur, on sait que les sédiments ont au moins 120 ans.

¹³⁷Cs

Le ¹³⁷Cs fonctionne différemment. Le ¹³⁷Cs est détectable depuis seulement 1945 en raison d'essais et désastres nucléaires qui ont émis du césium dans l'atmosphère⁸. Vous avez probablement entendu parler des bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki en 1945. À la suite de ces événements, des niveaux anormalement élevés de ¹³⁷Cs ont été enregistrés dans l'atmosphère. Ce fut le cas en 1963 aux États-Unis (essais de bombes nucléaires) et en 1986 lorsque le réacteur de l'usine d'énergie nucléaire de Tchernobyl en Ukraine a explosé. Selon la région d'étude, nous pouvons utiliser l'augmentation du niveau de ¹³⁷Cs dans la carotte de sédiments comme un indicateur de son âge (figure 12).

Figure 12
Concentration de césium dans l'atmosphère⁹



⁷ geotop.ca/en/laboratoires/radiochronologie

⁸ Aoyama et coll., 2006

⁹ Le Roux & Marshall, 2011

2. COMPRENDRE LA COMPOSITION DE L'EAU grâce aux isotopes stables

Contrairement aux radio-isotopes, les isotopes stables sont stables dans la nature et sont présents dans plusieurs éléments. Nous pouvons analyser un grand éventail d'isotopes stables au Laboratoire des isotopes stables non traditionnels et radiogéniques¹⁰ ainsi qu'au Laboratoire de géochimie des isotopes stables légers¹¹ du Geotop à Montréal (figure 1).

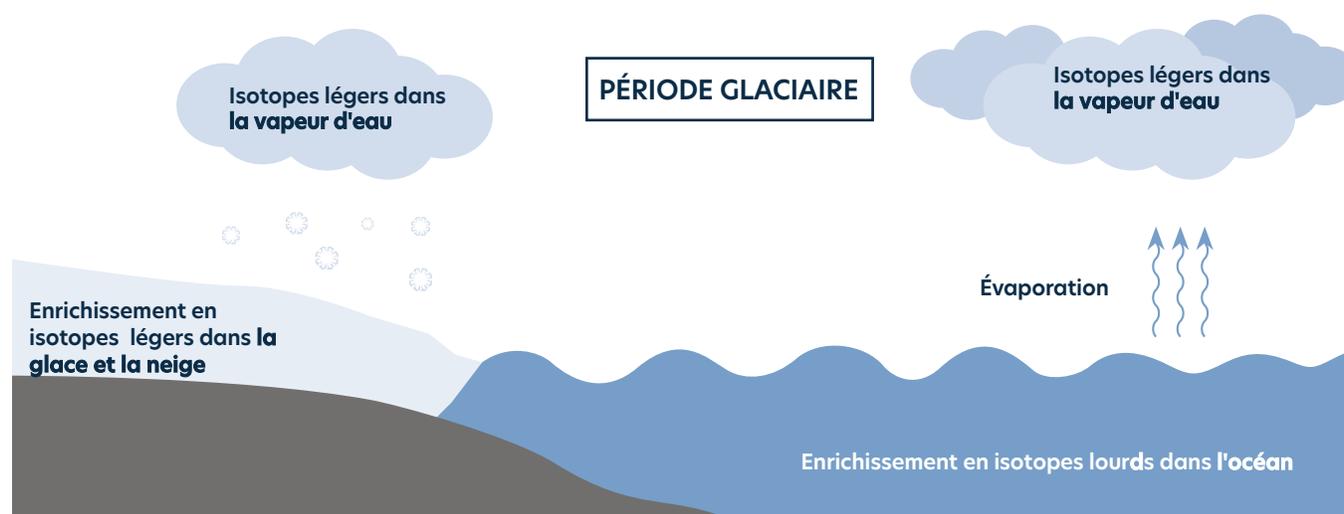
Attardons-nous ici à un des isotopes stables de l'oxygène : l'oxygène 18 (¹⁸O). Ce dernier compose environ 0,205% de l'oxygène de l'atmosphère, en comparaison avec sa forme la plus commune, l'oxygène 16, qui représente 99,757 %¹² (figure 11). L'oxygène est présent dans la molécule de l'eau (H₂O). L'oxygène peut également être présent dans les coquilles des mollusques ou des microorganismes, puisque les coquilles sont souvent faites de CaCO₃ (carbonate de calcium).

Ainsi, lorsqu'un organisme aquatique se fabrique une coquille carbonatée, elle absorbe la concentration d'oxygène 18 dans l'eau au moment de sa formation.

Puisque le ¹⁶O est plus léger (moins de neutrons) que l'isotope ¹⁸O, son évaporation à partir de l'eau vers l'atmosphère est plus facile. Dans les nuages, il y a plus de ¹⁶O que de ¹⁸O, qui retournera ultérieurement sur le continent ou l'océan sous forme de pluie ou de neige (figure 13). Conséquemment, l'eau qui est **pauvre** en ¹⁸O (**léger**) est l'eau douce des précipitations et l'eau de ruissellement. À l'opposé, l'eau qui est **riche** en ¹⁸O (**lourd**) tend à être plus salée. En analysant le ratio entre le ¹⁶O et le ¹⁸O des coquilles présentes dans les carottes de sédiments marins, nous pouvons reconstituer les propriétés passées des eaux, particulièrement la salinité et la température.

Figure 13
Isotopes d'oxygène légers et lourds dans le cycle de l'eau¹³

Pendant une période glaciaire, les isotopes légers sont emprisonnés dans la glace terrestre, ce qui signifie que l'océan a une composition plus élevée en ¹⁸O lourd.



¹⁰ geotop.ca/en/laboratoires/radiogeniques-UQAM

¹¹ geotop.ca/en/laboratoires/isotopes-stables-UQAM

¹² Rosman et Taylor, 1999

¹³ Ouellet-Bernier et de Vernal, 2018

REFERENCES

Aoyama, M., Hirose, K., et Igarashi, Y. (2006). Re-construction and updating our understanding on the global weapons tests 137 Cs fallout. *Journal of Environmental Monitoring*, 8(4), 431-438.

Gennaretti, F., Arseneault, D., Nicault, A., Perreault, L., et Bégin, Y. (2014). Volcano-induced regime shifts in millennial tree-ring chronologies from northeastern North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111 (28), 10077-10082.

Giguère-Croteau, C., Boucher, E., Bergeron, Y., Girardin, M.P., Drobyshev, I., Silva, L.C., Hélie, J.-F., et Garneau, M. (2019). North America's oldest boreal trees are more efficient water users due to increased CO₂, but do not grow faster. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116 (7), 2749-2754.

Le Roux, G., et Marshall, W. A. (2011). Constructing recent peat accumulation chronologies using atmospheric fall-out radionuclides. *Mires and Peat*, 7(8), 1-14.

Naulier, M., Savard, M. M., Bégin, C., Gennaretti, F., Arseneault, D., Marion, J., Nicault, A. et Bégin, Y. (2015). A millennial summer temperature reconstruction for northeastern Canada using oxygen isotopes in subfossil trees. *Climate of the Past*, 11(9), 1153-1164.

Ouellet-Bernier, M.-M., et de Vernal, A. (2018). Proxy indicators of climate in the past in *Climate Changes in the Holocene* (pp. 41-76): CRC Press.

Periodical accounts relating to the missions of the Church of the United Brethren established among the heathen, London: Brethren's Society for the Furtherance of the Gospel, 1790-1961, 169 volumes.

Rosman, K., et Taylor, P. (1998). Isotopic compositions of the elements. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 27(6), 1275-1287.

Royer, D. L., Berner, R. A., Montañez, I. P., Tabor, N. J., et Beerling, D. J. (2004). CO₂ as a primary driver of Phanerozoic climate. *GSA Today*, 14(3), 4-10.

Van Nieuwenhove, N., Head, M. J., Limoges, A., Pospelova, V., Mertens, K. N., Matthiessen, J., Rochon, A. et coll. (2020). An overview and brief description of common marine organic-walled dinoflagellate cyst taxa occurring in surface sediments of the Northern Hemisphere. *Marine Micropaleontology*, 159, 101814.

Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E., et Billups, K. (2001). Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science*, 292(5517), 686-693.

Zolitschka, B., Francus, P., Ojala, A.E.K., et Schimmelmänn, A. (2015). Vaves in lake sediments - a review. *Quaternary Science Reviews*, 177, 1-41.

Vos réponses!

Activité 6

Transcription 2 : saison, météo, gens et communauté

Activité 5

Vos réponses!

Activité 4

Echantillon 2 : Côte atlantique européenne

Activité 3

En 1914
Le bas est le fond
Le haut est la surface

Activité 2

1995 ou 1999 ou 2001
2012

Activité 1

63 ans
RÉPONSES

