

Secondaire
11-14



Dossier pédagogique

UN PASSAGE S'OUVRE

La banquise de l'océan Arctique
et les changements climatiques

Guide de l'enseignant
et fiches d'activités pour les élèves



Vue d'ensemble	4
Résumé des activités.....	6
L'application web « Climate From Space ».....	9
Banquise et climat : informations générales.....	10
Activité n° 1 : À quelle vitesse la banquise fond-elle ?	12
Activité n° 2 : TEMPÉRATURE DE L'OCÉAN ET TAUX DE FUSION DE LA GLACE.....	15
Activité n° 3 : LE PASSAGE DU NORD-OUEST	20
Fiche d'activité n° 1 : À quelle vitesse la banquise fond-elle ?	24
Fiche d'activité n° 2 : TEMPÉRATURE DE L'OCÉAN ET TAUX DE FUSION DE LA GLACE....	27
Fiche d'activité n° 3 : LE PASSAGE DU NORD-OUEST	31
Fiche d'information n° 1 : UN PASSAGE S'OUVRE.....	34
Fiche d'information n° 2.1 : Faire fondre de la glace - Eau chaude.....	38
Fiche d'information n° 2.2 : Faire fondre de la glace - Eau fraîche	38
Fiche d'information 2.3 : Faire fondre de la glace - Eau froide	40
Fiche d'information n°3 : LE PASSAGE DU NORD-OUEST	41
Liens.....	42
Annexe : LE SAVIEZ-VOUS ?	43

Dossier Pédagogique de l'Initiative sur le Changement Climatique (CCI) - UN
PASSAGE S'OUVRE

<https://climate.esa.int/fr/educate/>

Concepts d'activité développés par l'Université de Twente (NL) et le
Centre national d'observation de la Terre (UK).

Le Bureau du climat de l'ESA accueille les réactions et les commentaires

<https://climate.esa.int/fr/helpdesk/>

Produit par le bureau climatique de l'ESA

Copyright © Agence spatiale européenne 2020

UN PASSAGE S'OUVRE : Vue d'ensemble

La banquise de l'Océan Arctique et le changement climatique

En bref

Matières : Géographie, Sciences de la Terre, Physique, Chimie

Tranche d'âge : 11-14 ans

Type : lecture, modélisation mathématique, analyse de données ; discussion

Complexité : moyenne à élevée

Temps de cours requis : 4 heures

Coût : faible (0-20 euros)

Lieu : à l'intérieur

Comprend l'utilisation de : Internet, tableur

Mots clés : banquise, changement climatique, amplification arctique, chaleur latente, albédo, satellite.

Brève description

Dans cette série d'activités, les élèves découvriront le rôle important que joue la banquise arctique dans le système climatique de la Terre. Les activités sont centrées autour du passage du Nord-Ouest.

La première activité est une investigation mathématique sur le taux de fonte de la banquise pour illustrer ce que l'on entend par amplification arctique.

Une enquête pratique donne l'occasion de discuter de la manière dont les modèles sont utilisés en science, et d'examiner les difficultés à mesurer et à prévoir les effets du changement climatique.

Les élèves utilisent ensuite l'application web Climate from Space pour explorer les tendances saisonnières et à long terme, de l'étendue de la banquise, et de la température à la surface des eaux.

Objectifs d'apprentissage

Travailler sur ces activités apportera aux élèves les capacités suivantes :

Expliquer comment la différence d'albédo de la banquise entraîne l'amplification de l'Arctique et l'impact de ce phénomène sur le changement climatique.

Utiliser un modèle mathématique pour étudier l'effet de différentes conditions sur la fonte de la banquise.

Relier un modèle expérimental au monde réel et évaluer ce modèle.

Analyser les images pour obtenir des données sur la fonte de la banquise.

Discuter des défis que représente la collecte de données, pour décrire et prévoir les effets du changement climatique.

Utiliser l'application web Climate from Space pour explorer les changements dans la région Arctique.

Trouver une relation entre l'évolution saisonnière de l'étendue recouverte par la banquise et les changements de températures à la surface des eaux.

Proposer des explications aux changements constatés à différents instants de l'échelles de temps.

Résumé des activités

	Titre	Description	Résultat	Apprentissage antérieur	Temps
1	À quelle vitesse la banquise fond-elle ?	Récit introductif du contexte suivi d'une investigation mathématique des taux de fusion.	Expliquer comment la différence d'albédo de la banquise, entraîne l'amplification de l'Arctique, et l'impact de ce phénomène sur le changement climatique. Utiliser un modèle mathématique pour étudier l'effet de différentes conditions, sur la fonte de la banquise.	Les élèves doivent connaître le principe de conservation de l'énergie.	1 heure
2	Température de l'océan et taux de fonte des glaces	Activité pratique utilisant un smartphone, afin de modéliser l'utilisation d'un satellite pour surveiller l'étendue de la banquise.	Relier un modèle expérimental au monde réel et évaluer ce modèle. Analyser les images pour obtenir des données sur la fonte de la banquise. Discuter des défis que représente la collecte de données, pour décrire et prévoir les effets du changement climatique.	Aucun	2 heures
3	Le passage du Nord-Ouest	Examen des données à long terme, sur la banquise et la température de surface des eaux dans l'Arctique.	Utiliser l'application web <i>Climate from Space</i> pour explorer les changements dans la région Arctique. Trouver une relation entre l'évolution saisonnière de l'étendue recouverte par la banquise, et les changements de températures à la surface des eaux. Proposer des explications aux changements constatés à différents instants de l'échelles de temps.	Aucun	1 heure

Les temps indiqués dans le tableau récapitulatif sont pour les exercices principaux, ils supposent un accès complet à l'informatique, et/ou une distribution des calculs répétitifs et des graphiques à la classe. Ils comprennent le temps nécessaire à la mise en commun des résultats, mais pas la présentation des résultats. Cette étape pourra en effet varier en fonction de la taille de la classe et des groupes. Enfin, d'autres approches peuvent prendre plus de temps.

Notes pratiques pour les enseignants

En début de section, le **matériel requis pour** chaque activité est indiqué, ainsi que des notes sur les éventuelles préparations nécessaires, en plus des photocopies des feuilles d'activités et des fiches d'information.

Les **fiches d'activités** sont à usage unique et peuvent être photocopiées en noir et blanc.

Les **fiches d'informations** peuvent contenir : des images plus grandes afin que vous puissiez les insérer dans vos présentations en classe, des informations supplémentaires pour les élèves, ou des données avec lesquelles ils pourront travailler. Ces documents sont réutilisables, il est donc préférable de les imprimer ou de les copier en couleur.

Les **feuilles de calculs, tableaux de données ou documents supplémentaires** nécessaires à l'activité peuvent être téléchargés sur le lien suivant :

<https://climate.esa.int/fr/educate/climate-for-schools/>

Des idées **pour aller plus loin** et des suggestions de **variation** sont incluses dans la description de chaque activité.

Pour les activités pratiques, les réponses aux feuilles d'activités et les résultats des exemples sont inclus afin d'aider à l'**évaluation**. Les possibilités d'utiliser les critères du professeur, pour évaluer les compétences essentielles, telles que la communication ou le traitement des données, sont indiquées dans la partie correspondante de la description de l'activité.

Santé et sécurité

Dans toutes les activités, nous avons supposé que les consignes de sécurité habituelles continueront d'être suivies, concernant l'utilisation des équipements de base (les appareils électriques comme les ordinateurs), les mouvements dans la salle de classe, les déplacements et les renversements, les premiers secours, etc... Comme la nécessité de ces procédures est universelle mais que les détails de leur mise en œuvre varient considérablement, nous ne les avons pas détaillées à chaque fois. Au lieu de cela, nous avons mis en évidence les dangers propres à une activité pratique donnée, afin d'éclairer l'évaluation des risques.

Certaines de ces activités utilisent l'application web « Climate from Space » ou d'autres sites web interactifs. Il est possible de naviguer à partir de ces sites vers d'autres parties du site Web de l'ESA « Climate Change Initiative » ou de l'organisation hôte, puis vers des sites Web externes. Si on ne peut pas - ou on ne souhaite pas - limiter les pages que les élèves peuvent consulter, on pourra leur rappeler les règles de sécurité sur Internet de l'établissement.

L'application web « Climate from Space »

Les satellites de l'ESA jouent un rôle important dans la surveillance du changement climatique. L'application web Climate from Space (cfs.climate.esa.int) est une ressource en ligne qui utilise des articles ou « stories » illustrées pour résumer certaines des façons dont notre planète change et mettre en évidence le travail des scientifiques de l'ESA.

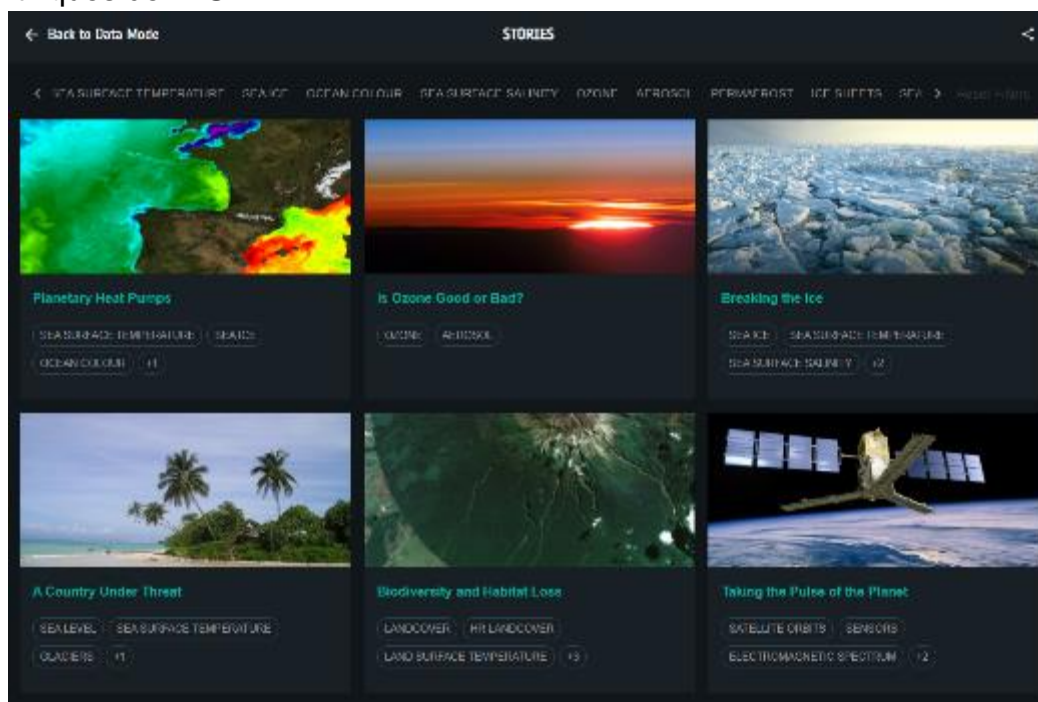


Figure 1: Articles ou « Stories » dans l'application web Climate from Space (Source : ESA CCI)

Le programme « Climate Change Initiative » de l'ESA produit des enregistrements mondiaux fiables de certains aspects clés du climat, appelés variables climatiques essentielles (VCE). L'application web Climate from Space vous permet d'en savoir plus sur les impacts du changement climatique en observant ces données par vous-même.

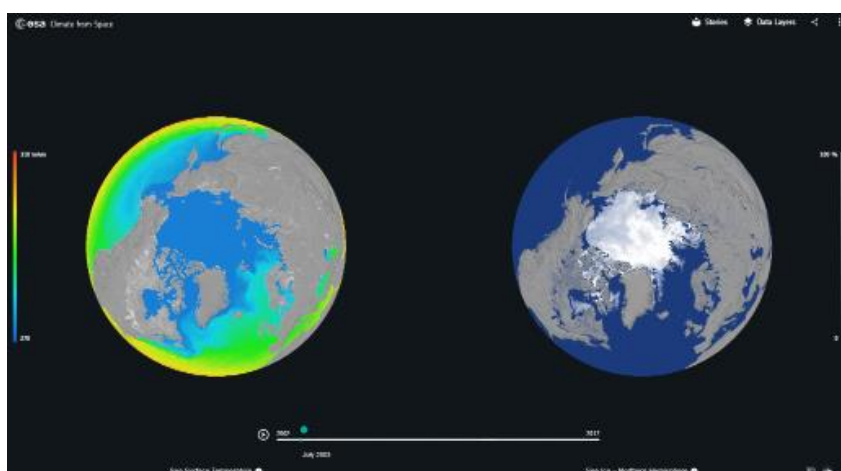


Figure 2: Comparaison des températures de surface des eaux et de l'étendue de la banquise dans l'application web Climate from Space (Source : ESA CCI)

Banquise et climat : informations générales

La cryosphère dans le système climatique

Le terme cryosphère est utilisé pour désigner toutes les régions de la Terre où l'eau est gelée - à la surface des océans, sur, ou sous la terre. La cryosphère est l'une des cinq composantes du système climatique (figure 3) : son état est l'un des éléments qui déterminent le climat mondial.

L'eau joue un rôle central dans la cryosphère et elle affecte le climat de plusieurs façons lorsqu'elle passe de l'état liquide (eau) à l'état solide (glace) ou vice versa. La congélation libère de la chaleur dans l'environnement et la décongélation en absorbe. La croissance de la banquise ralentit le refroidissement de l'Arctique chaque hiver, et la fonte de la banquise est responsable d'une augmentation progressive de la température à mesure que l'été avance. La banquise est donc un régulateur du climat.



Figure 3: Composantes du système climatique (Source : ESA)

Amplification de l'Arctique



Figure 4: Contraste de couleurs entre la banquise et l'océan ouvert (Source : ESA)

La couleur de la banquise contraste fortement avec celle de l'océan ouvert, comme le montre la photographie (figure 4), ce qui a également un impact sur le climat. La glace et la neige ont un albédo (pouvoir réfléchissant) élevé - la banquise peut réfléchir jusqu'à 90 % de la lumière solaire entrante - de sorte que seule une petite partie de l'énergie solaire qui atteint la Terre est disponible pour réchauffer les surfaces couvertes de glace blanche ou de neige. La disparition de la banquise signifie que la Terre

absorbe davantage d'énergie du Soleil, ce qui accélère le réchauffement de la planète et fait fondre encore plus de banquise. Ce mécanisme de rétroaction positive est appelé amplification arctique. La banquise emprisonne également des poches d'air, ce qui en fait un bon isolant. Comme une couverture de piscine ou une couette,

elle garde la mer en dessous plus fraîche que l'eau exposée et réduit ainsi d'une autre façon encore le réchauffement de l'Océan Arctique.

La circulation thermohaline océanique

Un autre rôle, plus complexe, de la banquise dans le système climatique provient du rôle qu'elle joue dans le mouvement de l'eau autour du globe - la circulation thermohaline océanique. La figure 5 illustre cette circulation dans l'océan Atlantique. L'eau de mer salée est plus dense que l'eau douce. Lorsque l'eau de mer gèle, le sel reste dans l'eau non gelée, ce qui augmente encore sa densité. Cette eau plus salée coule au fond de l'océan et entraîne la circulation à grande échelle de l'eau arctique froide vers les tropiques et de l'eau chaude des tropiques vers l'Arctique.

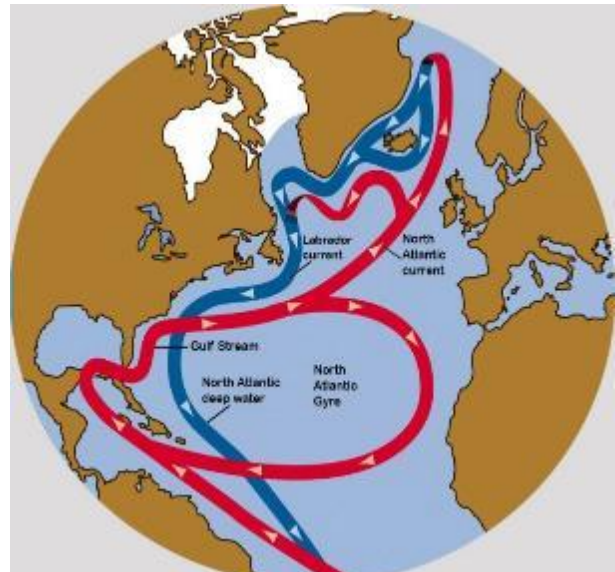


Figure 5: Circulation thermohaline océanique dans l'Océan Atlantique. Les lignes rouges indiquent les eaux chaudes, les lignes bleues les eaux froides et les flèches indiquent le sens des courants. (Source : ESA)

Variables climatiques essentielles

Lorsqu'ils décrivent le changement climatique, la plupart des gens parlent du niveau de réchauffement de la planète et sont conscients que de nombreux pays s'efforcent de le maintenir en dessous de 1,5°C et bien en dessous de 2,0°C. Mais le tableau n'est pas aussi simple que ces chiffres apparemment bas le laissent entendre.

Tout d'abord, la moyenne cache des différences régionales considérables dans le niveau de réchauffement. L'Arctique devrait connaître une augmentation des températures supérieure à la moyenne.

Ensuite, en se concentrant sur la température, on ignore les changements connexes. L'Organisation météorologique mondiale (OMM) répertorie 54 variables qui dépendent du climat de la Terre et le décrivent. Ces variables physiques, chimiques ou biologiques (ou groupes de variables liées) qui peuvent être mesurées de manière fiable, sont appelées Variables Climatiques Essentielles (VCE). La banquise est l'une d'entre elles en raison des nombreux processus par lesquels elle affecte le système climatique.

Le passage du Nord-Ouest

Le passage du Nord-Ouest est une route maritime qui passe entre le Canada continental et ses îles arctiques pour relier les Océans Atlantique et Pacifique. Il est plus court que les passages du sud libres de glace, mais a rarement été navigable. La diminution de la banquise arctique, due au réchauffement climatique, pourrait permettre à la navigation d'emprunter cette route plus régulièrement. Mais la libération du passage, est un signal inquiétant des changements qui affectent non seulement la région arctique, mais aussi le système climatique de la Terre entière.

Activité n° 1 : À quelle vitesse la banquise fond-elle ?

Cette activité est introduite par un bref article sur le passage du Nord-Ouest, afin de fournir un contexte pour étudier le rôle de la banquise dans le système climatique. Les élèves sont ensuite guidés dans un calcul utilisant à la fois la conservation de l'énergie, le concept d'albédo, et la chaleur latente de fusion (ces deux derniers étant expliqués). Cela afin de développer un modèle mathématique qu'ils peuvent utiliser pour explorer l'amplification de l'Arctique.

Matériel

- Fiche d'information n° 1 (3 pages)
- Fiche d'activité n° 1 (3 pages)
- Ressource en ligne Climate from Space : article *Breaking the Ice* (facultatif)
- Calculatrice et/ou accès à un logiciel de tableur
- Papier millimétré

Exercice

1. Lire la fiche d'information n° 1 en classe ou demandez aux élèves de la lire en groupes. Les lecteurs expérimentés peuvent la lire en préparation de la leçon, en notant trois choses qu'ils ont découvertes et au moins une question qu'ils aimeraient poser.

Si le texte est lu ou relu en classe, il pourra être complété par des éléments tirés de l'article du site Climate from Space intitulée " *Breaking the Ice* ". La plupart des pages comportent des galeries d'images étonnantes de la région. On pourra utiliser des images plus ciblées pour appuyer la lecture :

- Diapositive n° 2 - une gravure d'une première expédition
 - Diapositive n° 3 - routes maritimes polaires potentielles et navires traversant la banquise
 - Diapositive n° 6 - Nuuk, la capitale du Groenland
 - Diapositive n° 7 - la troisième image de la galerie est une impression d'artiste de CryoSat 2, la mission du satellite de glace de l'ESA.
2. Demander aux élèves de travailler sur la fiche d'activité n° 1.1. Elle montre comment déterminer le taux de fonte de la banquise à partir de principes de base en guidant les élèves dans le calcul de deux scénarios différents. Le calcul est résumé dans cette équation :

$$m_i = \frac{3600P_{in}}{L_f} (1 - C\alpha_i + (1 - C)\alpha_w)$$

Quantité	Symbole	Valeur	Unités
Taux de fonte des glaces de mer	m_i	à trouver	Kg/m ² /h
Concentration de la banquise	C	variable	%
Albédo de la banquise	α_i	0.85	--
Albédo de l'eau libre	α_w	0.07	--

Chaleur latente de fusion de la banquise	L_f	3.3×10^5	J/kg
Rayonnement solaire entrant	P_{in}	variable	W/m ²

- Demander aux élèves d'utiliser cette méthode, pour étudier l'effet de différents niveaux de rayonnement solaire entrant et/ou de concentration de la banquise sur le taux de fonte. Ils peuvent travailler en groupes pour déterminer les valeurs appropriées ou utiliser celles proposées dans le tableau de la fiche d'activité n° 1.2. Étant donné que l'enquête implique des calculs répétitifs, les élèves peuvent répartir les calculs au sein du groupe ou créer un tableur pour effectuer les calculs.
- Les questions de la fiche d'activité n° 1.2 fournissent une structure pour la discussion des résultats de l'enquête.

Remarque : le calcul ne prend en compte que l'énergie fournie par la lumière du soleil et suppose que toute l'énergie absorbée par l'eau sera transférée à la glace. On pourra discuter de la validité de ces hypothèses et/ou explorer quel effet pourrait avoir sur les résultats, la modification de ces hypothèses.

Réponses aux fiches d'activités et exemples de résultats

Fiche d'activité n° 1.1

- 1 080 000 J (1,08 MJ)
- 918 000 J
- 162 000 J
- 0,491 kg
- (i) 0,7 ou $\frac{7}{10}$ (ii) 0,3 ou $\frac{3}{10}$
 - (i) 643 000 J (ii) 22 700 J
 - 415 000 J
 - 1,26 kg/m²/heure

Fiche d'activité n° 1.2

Les résultats utilisant les chiffres suggérés sont présentés dans le tableau ci-dessous et dans la figure 6.

Rayonnement solaire atteignant la surface en W/m ²	Taux de fusion / kg /m ² /heure			
	Concentration de la banquise			
	100 %	70 %	40 %	10 %
300	0.491	1.26	2.02	2.79
200	0.327	0.838	1.35	1.86
100	0.164	0.419	0.674	0.929
10	0.0164	0.0419	0.0674	0.0929

1. Juin
2. Le taux de fusion augmente lorsque la concentration diminue.
3. Voir la fiche d'information n° 1. Les réponses peuvent inclure une référence à : la réduction de la réflectivité ou l'amplification de l'Arctique et/ou la boucle de rétroaction ; l'augmentation du transfert d'énergie entre l'océan et l'atmosphère ; la modification de la circulation océanique, etc.

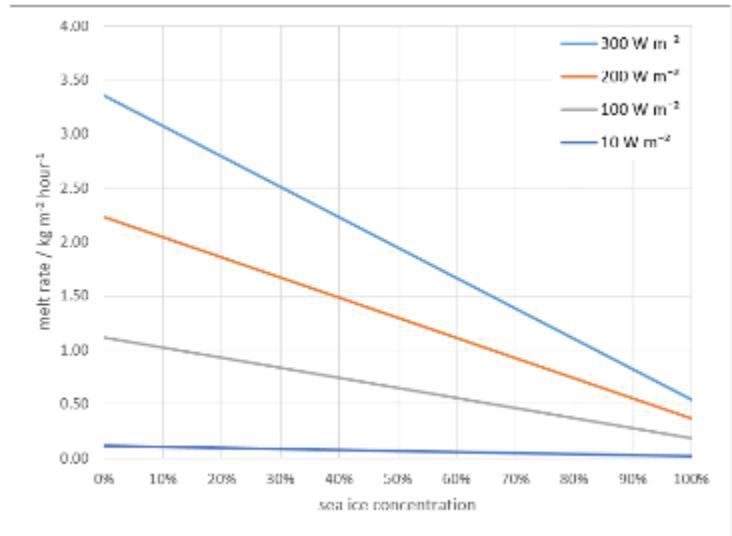


Figure 6 : Taux de fonte en fonction de la concentration de la banquise pour différents niveaux de rayonnement solaire (Source : ESA CCI)

Activité n° 2 : TEMPÉRATURE DE L'OcéAN ET TAUX DE FUSION DE LA GLACE

Dans cette activité, les élèves étudient l'effet du changement de température des océans sur la fonte des glaces, en utilisant un smartphone ou une tablette pour modéliser un satellite surveillant la banquise. Les dernières parties de l'activité sont ouvertes, ce qui donne l'occasion d'évaluer les compétences scientifiques et mathématiques de base. Cela permettra aussi d'encourager les élèves les plus doués à discuter de ce que leur enquête révèle, sur les difficultés à collecter des données climatiques fiables pour modéliser le changement.

Matériel requis

Il faudra pour chaque groupe :

- Un b cher, un petit plateau ou un bol
- Trois ou quatre perles ou boutons de différentes couleurs
- De la pâte à modeler pour fixer les marqueurs en place
- Au moins trois glaçons ou blocs de taille similaire fabriqués à partir d'eau colorée.
- Un b cher ou une cruche
- De l'eau chaude et de l'eau froide
- Un thermomètre
- Un smartphone ou une tablette avec un appareil photo intégré
- Une pile de livres ou un bloc de bois pour supporter le smartphone ou la tablette
- Une horloge ou un minuteur (l'horloge de la classe suffit)
- Des serviettes pour les mains mouillées et pour nettoyer les dégâts éventuels.

Les étudiants auront également besoin :

- Une copie de la fiche d'activité n  2 (toutes les pages) pour chaque élève.
- Accès à un logiciel de traitement d'images qu'ils connaissent bien.
- Imprimante (en option)
- Feuilles d'acétate transparente imprimées avec une grille (facultatif)
- Papier quadrillé (facultatif)
- Papier calque (facultatif)

Note : Si plusieurs appareils ne sont pas disponibles, les parties pratiques de cette activité peuvent être réalisées sous forme de démonstration. La sortie du téléphone pourrait être affichée sur un écran en temps réel ou des images pourraient être affichées ou imprimées pour une analyse ultérieure. (Voir plus loin les exemples de résultats).

Préparation

Il serait préférable d'essayer cette activité à l'avance, pour déterminer la meilleure hauteur et la meilleure position pour un téléphone et/ou le temps qu'il faut à la glace que vous prévoyez d'utiliser, pour fondre de façon notable dans votre salle de classe, en utilisant de l'eau à différentes températures. L'utilisation de glaçons standard dans des b chers d'eau, donne des résultats rapides, mais les petites

surfaces peuvent être difficiles à mesurer. Voir l'exemple de résultats, ci-dessous, pour avoir une idée approximative des durées.

Santé et sécurité

S'assurer que tous les équipements sont stables et ne dépassent pas des bords des tables.

S'assurer qu'il y a du matériel disponible en cas de renversements.

Exercice

1. L'article utilisé pour introduire l'activité précédente mentionnait l'utilisation de satellites pour surveiller l'étendue de la banquise. Demander aux élèves d'identifier comment le montage décrit sur la fiche d'activité n° 2 illustre cette activité. Le bol d'eau représente l'océan, la glace représente la banquise, les perles/boutons sont des points de référence GPS (ou des choses qui restent au même endroit et qui peuvent être facilement vues depuis l'espace, comme des villes ou des caps), la caméra/l'appareil photo est le capteur du satellite. Notez que les mesures sont effectuées par des satellites d'observation de la Terre en orbite basse. Les satellites passent au-dessus d'une zone à intervalles réguliers, de sorte que prendre des photos de temps en temps est un meilleur modèle que l'enregistrement vidéo. (Les images fixes sont également plus faciles à analyser !)
2. L'activité précédente a exploré l'effet de différentes quantités de lumière solaire sur les taux de fonte. Mais que se passe-t-il si la température de l'océan change ? Les élèves vont sans doute émettre l'hypothèse que l'eau plus chaude augmentera le taux de fonte, mais quelle est l'ampleur de cet effet ? Ils vont utiliser ce modèle pour explorer certaines des difficultés auxquelles les scientifiques sont confrontés lorsqu'ils tentent de répondre à cette question.
3. Demander aux élèves de collecter les données en suivant les instructions de la fiche d'activité.
Ils n'ont pas besoin d'utiliser des intervalles exactement égaux ou d'enregistrer les temps car ils peuvent obtenir ces données à partir du fichier image.
Si on dispose de peu de temps, on peut demander à chaque groupe d'effectuer une seule série de mesures en attribuant des plages de températures différentes aux différents groupes.
La méthode demande aux élèves de ne prendre que des mesures initiales et finales de la température de l'eau et de les utiliser pour calculer une moyenne. Cette méthode cache plusieurs hypothèses dont vous pourriez discuter avec les élèves les plus doués, et qui pourraient conduire à des recherches plus approfondies, à l'aide d'un capteur de température connecté à un enregistreur de données. À l'inverse, avec les élèves moins doués, vous pouvez vous contenter de décrire la température de l'eau et/ou de vous concentrer sur le temps que met le bloc à fondre dans chaque cas.
4. La deuxième page de la fiche d'activité demande aux élèves de discuter de la manière de mesurer la surface de la glace. L'objectif étant de faire des

comparaisons, les unités utilisées importent peu, tant qu'elles sont les mêmes dans chaque cas.

On peut montrer aux élèves moins doués le matériel (ou même les techniques) qu'ils pourraient utiliser, ou mettre au défi les plus doués de trouver la surface en cm^2 en effectuant des mesures plus précises et en mettant leurs images à l'échelle. (Si vous envisagez de faire cela, il serait bon que les élèves incluent une règle dans au moins une photo).

Voici les méthodes possibles et non exhaustives :

- Imprimer des images et tracer le contour du bloc de glace sur du papier quadrillé (ou découper l'image du bloc de glace et dessiner autour de la découpe).
- Utiliser une feuille transparente d'acétate imprimée avec une grille en superposition sur des images imprimées.
- Créer une couche de grille transparente dans un logiciel de traitement d'images (par exemple en scannant du papier quadrillé puis en supprimant l'arrière-plan) et superposer celle-ci sur la photographie.
- Dans un logiciel de traitement d'images, utiliser un outil de sélection approprié pour délimiter le bloc de glace, et noter les dimensions de la forme enveloppante pour calculer sa surface (le logiciel peut également afficher le nombre de pixels carrés dans une zone fermée).

5. La fiche d'activité demande aux élèves d'enregistrer les surfaces dans un tableau, de les afficher sur un graphique approprié et de décrire le modèle présenté. C'est donc l'occasion d'évaluer les compétences des élèves en matière de traitement des données, en fonction de critères appropriés que vous aurez choisis, et de fournir un niveau de soutien adapté aux capacités de chaque groupe.

Les élèves qui ont des difficultés à collecter les résultats ou à créer des photographies de taille égale peuvent analyser les résultats de l'échantillon sur les fiches d'information n° 2.1 à 2.3.

6. Les questions de discussion à la fin de la fiche d'activité, demandent aux élèves de faire le lien entre leur expérience, et le scénario de la vie réelle que leur modèle représente. Ils doivent également examiner comment le modèle simplifie le scénario de la vie réelle, et suggérer d'autres facteurs affectant la vitesse de fonte. Ils peuvent enfin réfléchir à la manière d'adapter l'enquête, pour obtenir des résultats numériques précis. La discussion peut amener les élèves à proposer leurs propres activités de prolongement.

Exemples de résultats

Six résultats d'échantillons d'eau à trois températures différentes sont présentés sur les fiches d'information n° 2.1 à 2.3, et des résultats supplémentaires sont donnés dans le tableau.

Les disques de glace utilisés ont été fabriqués en congelant de l'eau colorée dans un plateau à muffins et mesuraient environ 1 cm d'épaisseur et 5-6 cm de diamètre.

La température de l'environnement était d'environ 18°C.

Le bol contenait environ 300 cm³ d'eau et avait un diamètre de 21 cm, ce qui signifie que l'échelle des photographies sur les fiches d'information est d'environ 1:3.

Temps / minutes	Surface de la glace / cm ²			
	Brulant (37,5°C)	Chaud (24°C)	Frais (14°C)	Froid (6°C)
0	20	24	25	26
1	18	21		
2	12	16		
3	7	13		
4	2	9		
5		7	17	
6		4		25
7		2		
10			13	
13				24
17			6	
20				20
24			3	
26				17
28			1	
30				14
37				11
41				9

Réponses de la fiche d'activité

Comme indiqué précédemment, les questions de la fiche d'activité sont très ouvertes.

Les notes ci-dessous donnent des indices sur les idées que les élèves peuvent avoir et des informations qui peuvent être utilisées pour orienter la discussion.

Analyse des résultats

La conclusion la plus évidente est que la glace fond plus rapidement à des températures plus élevées. Encouragez les élèves à examiner leurs résultats de plus près. Le taux change-t-il avec le temps ? Peuvent-ils calculer le taux en utilisant la pente du graphique ?

Discussion

1. Les difficultés probables se répartissent en deux catégories principales : la détermination du bord du bloc de glace à partir de la photographie (surtout s'il est facile de voir des bords différents au-dessus et au-dessous de la ligne de flottaison) et le choix de la méthode utilisée pour déterminer la superficie (taille de la grille, fraction de carré pouvant être estimée, capacité d'englober la superficie correcte, approximations faites de la forme pour calculer la superficie).
2. Cette réponse dépend de la précédente. Les élèves peuvent se référer à des différences de couleur – mais la glace sale et les océans gris peuvent être difficiles à distinguer - ou notez qu'il serait difficile de "délimiter" avec précision une grande zone.
3. Les élèves peuvent penser à la couverture nuageuse, à la taille de la zone concernée, à la fragmentation de la glace, etc.
4. La majeure partie de la glace se trouve sous la surface de l'eau, où la température peut être différente. Cela signifie que nous avons besoin de bons modèles présentant la façon dont la température de la mer change avec la profondeur. Si les élèves ont pris soin de ne pas bousculer leur équipement, ils peuvent être en mesure de voir que l'eau froide provenant de la fonte de la glace se trouve sous l'eau chaude (voir les images suivantes sur la fiche d'information n° 2.1).
5. Les élèves peuvent suggérer la couverture nuageuse, la température de l'air, le vent, la fragmentation de la glace, l'agitation de la mer, etc.
6. Les réponses dépendront des facteurs suggérés.

Activité n° 3 : LE PASSAGE DU NORD-OUEST

Dans cette activité, les élèves utilisent l'application Web Climate from Space pour étudier les données satellites sur l'étendue de la banquise et la température de surface des eaux. Ils examinent ainsi plus précisément les tendances annuelles et à long terme dans le passage du Nord-Ouest et dans la région arctique au sens large. Cette activité peut servir à renforcer leur compréhension des principaux processus climatiques dans l'Arctique. On pourra également l'utiliser au début d'un sujet sur le changement climatique ou sur l'Arctique afin d'amener les élèves à partager leurs connaissances et à suggérer des questions à étudier.

Équipement

- Accès à Internet
- Application web Climate from Space
- Fiche d'activité n° 3 (toutes les pages)
- Fiche d'information n° 3 (facultatif)
- Des stylos ou crayons de couleur

Exercice

1. Montrer une carte du passage du Nord-Ouest. On pourra imprimer la fiche d'information n° 3 pour que les élèves s'en servent, ou bien extraire l'image pour l'utiliser dans un logiciel de présentation. Discuter des raisons pour lesquelles, au cours des siècles, les hommes ont tenté à plusieurs reprises de trouver et/ou de naviguer sur ce passage, ainsi que sur d'autres routes polaires.
2. Demander aux élèves d'utiliser l'application Web Climate from Space pour répondre aux questions n° 1 et n° 2 de la fiche de travail n° 3.1. L'application Web est assez explicite, mais vous souhaitez peut-être afficher la couche de données sur la glace de mer de l'ensemble de données ou/et démontrer les contrôles.
3. Discuter des résultats avec la classe, en demandant pourquoi la question n° 2 ne demande pas si les données *prouvent* que la Terre se réchauffe. (Si les élèves n'ont pas fait l'activité n° 1, il est utile de souligner la différence entre les tendances climatiques à long terme et la variabilité naturelle). Cela pourrait amener les élèves à effectuer des recherches indépendantes sur d'autres phénomènes qui apportent des preuves du changement climatique - de l'expérience vécue des grands-parents, à la fréquence et à la gravité, par exemple, des tempêtes, des sécheresses et des canicules.
4. Donner aux élèves le temps d'étudier dans l'application Web Climate from Space la «couche de données» «Sea Ice – Northern Hemisphere» sur la concentration de la banquise et de la comparer à la « couche de données » «Sea Surface Temperature» sur la température de surface des eaux. Noter que, bien que l'animation ne nous indique pas la superficie exacte couverte par la banquise à un moment donné, nous pouvons voir comment elle évolue au cours d'une année, et d'une année à l'autre.

5. Demander aux élèves d'utiliser la visualisation pour répondre aux questions n° 3 à 7 des fiches d'activités n° 3.1 et 3.2. Ils peuvent travailler individuellement, en binômes ou en petits groupes, en fonction de l'accès à l'informatique et des capacités de la classe.
6. Si les élèves ont travaillé individuellement ou en binômes, les organiser en petits groupes pour discuter des questions figurant à la fin de la fiche d'activités n° 3.2. Il s'agit d'une activité très ouverte, qui permet de demander aux élèves de structurer la discussion d'une manière particulière, et/ou de faire un compte rendu, en utilisant une méthode adaptée à la classe, et à la place qu'elle occupe dans le programme d'enseignement. Par exemple :
 - Si les élèves ne font que commencer à étudier le changement climatique, chaque groupe pourrait dresser une liste de ses idées, en indiquant le degré de certitude de chacune de ses affirmations. Ils pourraient également ajouter des questions découlant des données, qui pourraient ensuite être étudiées lors de séances ultérieures.
 - Si cette activité est programmée à la fin d'une leçon, on pourra demander de faire individuellement ou par groupes, le lien entre ces tendances et les connaissances actuelles des élèves sur le changement climatique, dans un devoir écrit ou un exposé qui pourrait être utilisé pour évaluer leurs connaissances.

Réponses de la feuille d'activité

Des années sans glace

1.

Année	Sans glace ?	Année	Sans glace ?
2002	Non	2009	Non
2003	Non	2010	Oui
2004	Non	2011	Oui
2005	Non	2012	Oui
2006	Non	2013	Non
2007	Oui	2014	Non
2008	Presque	2015	Presque

2. Trois des quatre années au cours desquelles le passage du Nord-Ouest a été ouvert se sont déroulées au cours de la dernière décennie. Ces données soutiennent donc l'idée que le climat de la Terre est en train de changer. Toutefois, il existe toujours une variabilité naturelle, de sorte que ces données ne prouvent pas, à elles seules, que la planète se réchauffe.

Tendances de la banquise arctique

3. a. Mars/Avril b. Septembre/octobre
4. Une augmentation de la température de surface de la mer signifie moins de glace.
5. 6. Voir la figure 7 à la page suivante.
7. **Banquise - similitudes** : les maxima et les minima se produisent au cours des mêmes mois chaque année - il existe un cycle annuel.

Banquise - différences : l'étendue maximale est en moyenne plus faible ; une zone plus petite est toujours gelée.

Températures de surface des eaux - similarités : les maxima et les minima se produisent aux mêmes moments chaque année (mais ce cycle annuel est opposé à celui de la banquise).

Températures de surface des eaux - différences : les températures maximales et minimales sont toutes deux plus élevées.

Les élèves peuvent faire référence à des zones spécifiques dans leurs réponses en fonction de leurs connaissances géographiques.

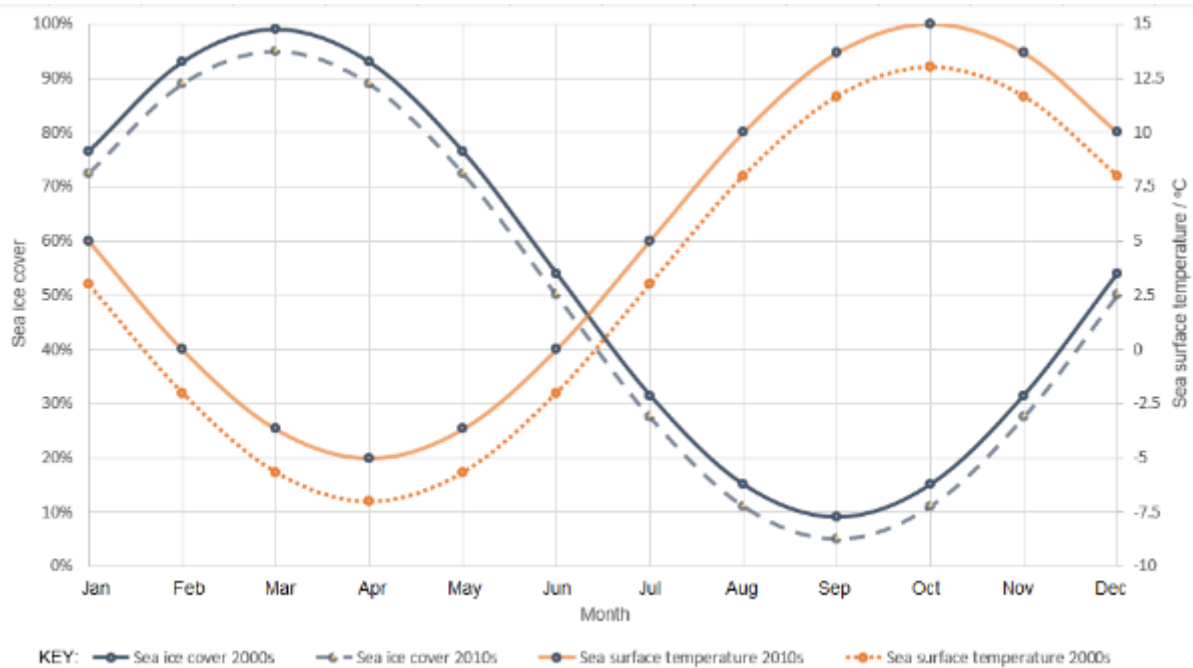


Figure 7 : Cycles saisonniers de l'étendue de la banquise et de la température de surface des eaux (Source : ESA CCI)

Pour discuter

Les réponses des élèves à ces questions dépendront du moment où cette activité est réalisée, de la façon dont la discussion est structurée et des résultats attendus. Les notes ci-dessous traitent de quelques questions qui apparaissent fréquemment au cours de la discussion.

- 8 a. Sur une année, l'étendue maximale et minimale de la banquise est observée lorsque la température commence respectivement à augmenter et à diminuer : l'Arctique doit se réchauffer pour que la glace commence à fondre, et se refroidir pour que la glace commence à se former. Vous pouvez expliquer ce phénomène comme un exemple à court terme de la "mémoire" de la glace sur les conditions météorologiques passées – une caractéristique qui est utilisée (par le biais du carottage) dans des études à plus long terme.
 - b. Au cours des trois dernières décennies, le changement climatique a affecté la température moyenne de l'atmosphère mais une grande partie de l'énergie excédentaire a été absorbée par les océans. La région arctique est principalement recouverte de banquise - contrairement à l'Antarctique où la plupart de la glace se trouve dans des calottes glaciaires ou des glaciers terrestres et n'entre en contact avec l'océan qu'en bordure du continent. C'est l'une des raisons pour lesquelles le changement a été plus rapide dans l'Arctique.
9. Les scientifiques s'attendent à ce que le rythme auquel la banquise disparaît s'accélère à cause de l'amplification de l'Arctique (voir page 8).

Fiche d'activité n° 1 : À quelle vitesse la banquise fond-elle ?

La **chaleur latente spécifique de fusion** est la quantité d'énergie nécessaire pour faire fondre 1 kg d'un solide (sans changer la température). Pour la banquise, elle est de $330\,000 \text{ J kg}^{-1}$. Nous pouvons utiliser cette donnée avec les idées de la fiche d'information « *Un passage s'ouvre* » pour explorer les facteurs qui affectent la vitesse de fonte de la banquise.

Calcul des taux de fusion

1. Par une journée claire de juin, environ 300 W de rayonnement solaire atteignent chaque mètre carré de la surface de la Terre dans l'Arctique. Quelle quantité d'énergie cela représente-t-il par heure ?
(Indice : on se souvient que $1 \text{ W} = 1 \text{ J s}^{-1}$).
-

2. Environ 85 % du rayonnement qui tombe sur la banquise est réfléchi par la surface de la Terre : on dit qu'elle a un **albédo** de 0,85. Par une journée claire de juin, quelle quantité d'énergie un mètre carré de banquise réfléchit-il en une heure ?
-

3. Combien d'énergie reste-t-il à absorber pour la glace ?
-

4. Quelle masse de glace cette quantité d'énergie peut-elle faire fondre ?
(Indice : utilisez les informations sur la chaleur latente de fusion en haut de la page).
-

Il s'agit du taux de fonte en $\text{kg/m}^2/\text{heure}$ par une journée claire de juin, lorsque la concentration de banquise est de 100% (toute la surface est couverte de glace).

5. Si la concentration de la banquise est de 70% :
 - a. Quelle fraction d'un mètre carré est (i) de la glace ? _____ (ii) de la haute mer ? _____
 - b. Quelle quantité de l'énergie solaire tombant sur chaque mètre carré en une heure sera maintenant réfléchi par :
 - (i) la glace dans ce mètre carré ?
(Indice : votre réponse doit être plus petite que votre réponse à Q2).
-

- (ii) l'océan dans ce mètre carré, sachant que l'albédo de l'océan est de 0,07 ?
-

c. Quelle quantité d'énergie l'océan absorbe-t-il lorsque la concentration de banquise est de 70% ?

d. Si toute cette énergie est transférée à la glace, quel est le nouveau taux de fonte ?

Explorer les taux de fonte

Étudier comment le taux de fusion change :

- si la quantité de rayonnement atteignant la surface change (en raison de la couverture nuageuse ou d'une autre période de l'année).
- lorsque la concentration de la banquise change.

Vous pouvez afficher vos résultats sur un graphique et/ou les résumer dans un tableau comme celui-ci.

Rayonnement solaire atteignant la surface en W/m ²	Taux de fusion en kg/m ² /heure			
	Concentration de la banquise			
	100 %	70 %	40 %	10 %
300	Réponse à Q4	Réponse à Q5d		
200				
100				
10				

Utilisez vos résultats et les informations tirées d' « *Un passage ouvert* » pour répondre à ces questions :

1. 10, 100, 200 et 300 W/m² sont des niveaux de rayonnement solaire typiques pour la région arctique en mars, avril, mai et juin, respectivement.
Au cours de quel mois le taux de fonte de la banquise est-il le plus élevé ?

2. Décrire la relation entre le taux de fonte de la banquise et la concentration de la banquise.

3. Expliquer avec vos propres mots, pourquoi la banquise joue un rôle vital dans le système climatique.

Fiche d'activité n° 2 : TEMPÉRATURE DE L'OcéAN ET TAUX DE FUSION DE LA GLACE



Utiliser un(e) smartphone/ tablette pour surveiller la fonte des glaces. L'image du haut est une vue latérale, et l'image du bas est une vue de dessus. (Source : ESA CCI)

Santé et sécurité

- Vérifier que le matériel de l'activité ne dépasse pas le bord de la table.
- Essuyer rapidement tout ce qui a été renversé.
- Ne rien goûter.

Matériel nécessaire

- Un bol
- Trois ou quatre perles (de différentes couleurs)
- De la pâte à modeler
- Une pile de livres
- Un smartphone ou une tablette
- Un bécher ou une cruche
- Au moins trois glaçons ou blocs de glace (à conserver au congélateur jusqu'à ce que vous en ayez besoin)
- Un thermomètre
- Une horloge ou une minuterie

Collecte des données

1. Utiliser la pâte à modeler pour coller les perles uniformément sur les bords du bol. Elles serviront de points de référence si vous devez redimensionner vos images.
2. Placer le smartphone ou la tablette sur une pile de livres afin que la caméra puisse filmer l'ensemble du bol (voir photos).
3. Verser de l'eau dans le bol et noter la température de l'eau.
4. Mettre votre bloc de glace dans l'eau, noter l'heure et prendre une photo.
5. Prendre une autre photo de temps en temps (votre professeur peut vous indiquer à quelle fréquence). Essayer de ne pas déplacer l'appareil photo ou le bol entre chaque photo.
6. Noter la température de l'eau à la prise de la dernière photo.
7. Répéter les étapes 3 à 6 au moins deux fois ; utiliser de l'eau à une température différente à chaque fois.

Numéro de la série de collecte				
Température initiale de l'eau en °C				
Température finale de l'eau en °C				
Température moyenne de l'eau en °C				

Analyse des résultats

1. Déterminer la température moyenne de l'eau pour chaque cycle de l'expérience.
2. Vérifier que toutes les photos sont à la même échelle en utilisant un logiciel de traitement d'images pour contrôler la distance entre les points de référence ou la taille d'un carré dessiné autour du bol.
Si certaines photos sont trop grandes ou trop petites, les redimensionner pour qu'elles correspondent aux autres.
3. La tâche suivante consiste à mesurer la surface de la glace sur chaque image. Discuter des questions ci-dessous avec votre groupe pour vous aider à décider comment procéder.
 - Allez-vous prendre des mesures à partir de l'écran ou de copies imprimées ?
 - La surface de la glace dans vos images est-elle la même que la surface réelle de la glace ?
Si non, est-ce important ?
Si c'est important, que ferez-vous à ce sujet ?
 - Dans quelles unités allez-vous mesurer ?
 - Comment allez-vous procéder pour rendre votre mesure aussi précise que possible ?
4. Utiliser la méthode que vous avez choisie pour mesurer la surface de glace dans chaque image.
Enregistrer vos résultats dans un tableau et les reporter sur un graphique approprié.

Décrire le schéma illustré par votre graphique, en donnant le plus de détails possible.

Discussion

Discuter des questions ci-dessous avec votre groupe.

1. Pourquoi a-t-il été difficile d'obtenir une mesure précise de la surface dans ce modèle ?
2. Les scientifiques utilisant des données satellites rencontreraient-ils également ces problèmes ? Pourquoi ?
3. Y a-t-il d'autres éléments qui pourraient rendre plus difficile la mesure des changements de la superficie de la banquise dans la vie réelle ?

4. Les satellites qui mesurent la température de l'océan depuis l'espace enregistrent la température de surface. Cela affecte-t-il la facilité avec laquelle il est possible de relier la température de l'océan à la vitesse de fonte de la banquise ? Pourquoi ?
5. Quels facteurs autres que ceux que vous avez déjà étudiés (intensité de la lumière, superficie de la banquise et température de l'océan) pourraient affecter la vitesse à laquelle la banquise fond ?
6. Quel effet pensez-vous que chaque facteur aura ? Pourquoi ?

Si vous le pouvez, étudiez l'une de vos idées. On pourra créer un modèle mathématique ou physique ou faire des recherches en ligne.

Fiche d'activité n° 3 : LE PASSAGE DU NORD-OUEST

Ouvrir l'application web Climate from Space (cfs.climate.esa.int).

Cliquer sur le symbole des « couches de données » (en haut à droite) et choisir « Sea Ice – Northern Hemisphere » (Banquise - Hémisphère Nord).

Repasser l'animation plusieurs fois pour vérifier que vous comprenez comment les commandes à l'écran vous aident à regarder plus précisément des endroits ou des moments particuliers.

Des années sans glace

Lancer l'animation lentement, en vous concentrant sur la zone indiquée sur la carte.

La ligne rouge marque une route maritime potentielle connue sous le nom de passage du Nord-Ouest.



Source : Encyclopædia Britannica, Inc.

1. Complétez le tableau pour montrer les années pendant lesquelles le passage du Nord-Ouest était libre de glace, permettant aux navires de passer.

2. Les informations contenues dans le tableau fournissent-elles des preuves du changement climatique ? Expliquer votre réponse.

Année	Sans glace ?	Année	Sans glace ?
2002		2009	
2003		2010	
2004		2011	
2005		2012	
2006		2013	
2007		2014	
2008		2015	

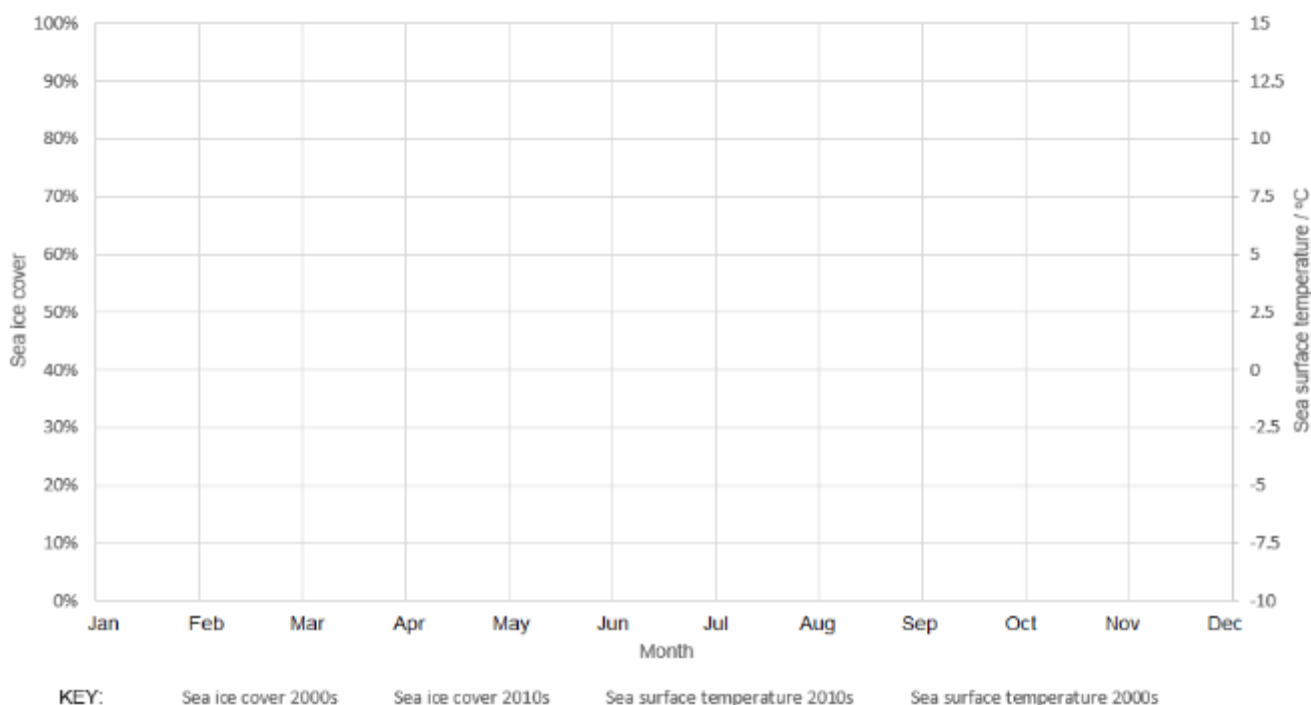
Tendances de la banquise arctique

Revenir à l'application web Climate from Space.

Cliquer sur le symbole « Couches de données », faire défiler la liste jusqu'à « Sea Surface Temperature » (Température de surface des eaux) et cliquer sur « COMPARER ».

3. En quel mois de l'année la banquise arctique :

- a. Couvre la plus grande surface ? _____
- b. Couvre la plus petite surface ? _____
4. Comment l'étendue de la banquise est-elle liée à la température de surface des eaux ? _____
5. Faire défiler les années 2000 à 2009 un peu plus lentement. Sur les axes ci-dessous :
 - a. Tracer avec une ligne bleue l'évolution du pourcentage de l'océan couvert par la banquise (Sea Ice Cover) au cours d'une année typique de cette décennie.
 - b. Tracer avec une ligne rouge l'évolution de la température de surface des eaux (Sea Surface temperature) au cours d'une année typique de cette décennie. Il n'est pas nécessaire de trouver des valeurs précises, il suffit de montrer le schéma général.



Pour la température de surface des eaux, il peut être utile de se concentrer sur une zone particulière.

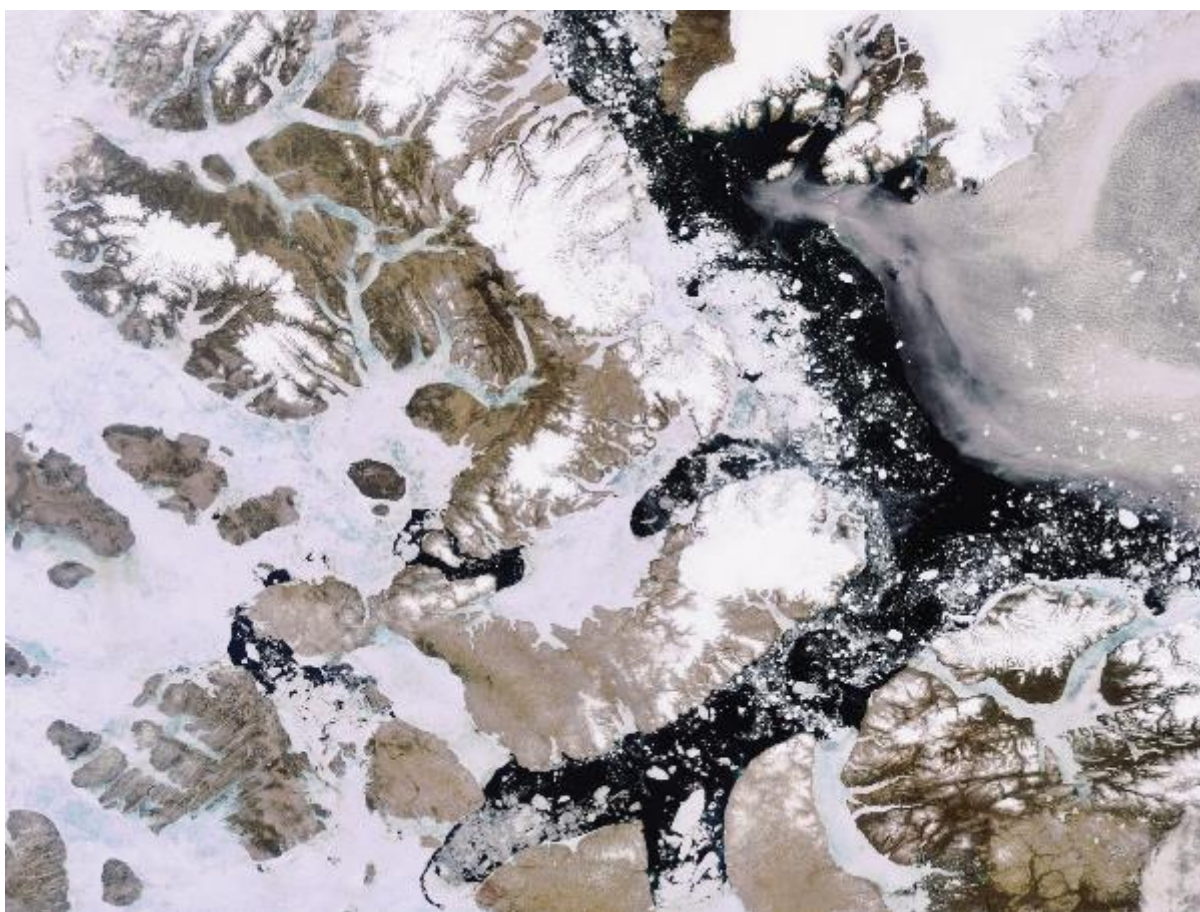
6. Passer maintenant aux années suivantes, de 2010 à la fin de la visualisation. Ajouter des lignes au graphique pour montrer comment le pourcentage de l'océan couvert par la banquise et la température de surface des eaux ont changé au cours de ces années. Utiliser deux couleurs différentes et ne pas oublier d'ajouter les informations dans la légende. Les lignes peuvent se chevaucher, si le schéma est le même, à certaines périodes ou pour toute l'année.
7. Décrire les similitudes et les différences dans le modèle pour chaque décennie.

Pour discuter

8. Qu'est-ce qui entraîne un changement de superficie de la banquise :
(a) sur une année ? (b) de décennie en décennie ?
9. Comment ce comportement pourrait-il évoluer au cours de la ou des prochaines décennies ?
Expliquez vos idées.

Fiche d'information n° 1 : UN PASSAGE S'OUVRE

Pendant des siècles, les navires voyageant entre l'Europe et l'Asie ont dû contourner la terre et la glace qui les séparent. Le passage du Nord-Ouest, entre le Canada continental et les îles de l'Arctique, serait une route maritime plus courte mais, pendant la majeure partie de l'histoire, il s'est avéré impénétrable, fermement emprisonné dans une mer gelée. La glace a vaincu beaucoup de gens, y compris la Royal Navy britannique. L'expédition de Sir John Franklin en 1845 a été perdue. Dix-huit équipes de recherche envoyées au cours des trente années suivantes n'ont trouvé aucune trace de lui, de ses deux navires ou de son équipage de 130 personnes. En 1906, Roald Amundsen devient la première personne à franchir le passage du Nord-Ouest, après avoir mis trois ans pour effectuer le voyage dans un petit bateau.



Une image satellite de la banquise d'été dans l'Arctique.
L'étroit chenal entre le Canada continental et ses îles arctiques est généralement infranchissable.
Sur cette image, le détroit de Lancaster (en bas au centre) est ouvert, mais la glace bloque toujours le canal Parry à l'ouest.
(Source : ESA)

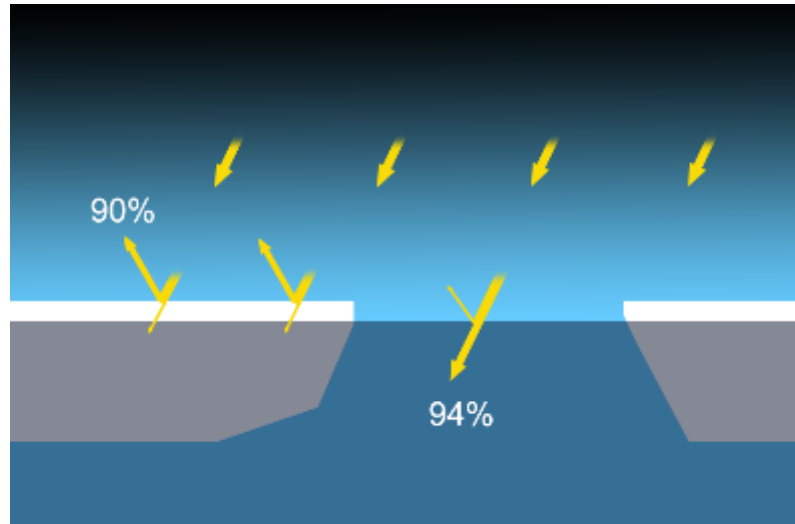
Au cours du siècle suivant, seuls quelques navires supplémentaires ont fait le voyage - avec l'aide de brise-glaces. Mais, dans le même temps, la banquise arctique a commencé à fondre. Les images satellites montrent que le passage s'est ouvert pour la première fois en 2007, des décennies avant que les modèles climatiques ne le prévoient. Si l'ouverture du passage du Nord-Ouest peut accélérer

le transport de marchandises de l'Asie vers l'Europe, elle constitue une étape très inquiétante pour l'Arctique et pour notre planète dans son ensemble.

Amplification de l'Arctique

Le passage s'est ouvert parce que la température globale de la Terre augmente. Et les températures dans l'Arctique augmentent deux à trois fois plus vite que la moyenne mondiale.

Pourquoi ? La glace blanche reflète beaucoup la lumière du soleil, tout comme les vêtements clairs que beaucoup de gens préfèrent porter en été. Lorsque la banquise fond, l'eau de l'océan est exposée. La mer sombre absorbe la plupart des rayons du soleil qui la frappent et l'eau se réchauffe. L'eau plus chaude fait fondre une plus grande partie de la banquise, exposant davantage d'océan pour absorber la lumière du soleil, ce qui accélère encore la fonte. Ce phénomène est connu sous le nom d'amplification arctique et constitue un exemple de boucle de rétroaction positive.



La glace reflète environ 90 % du rayonnement solaire entrant, tandis que l'eau libre en absorbe environ 94 % (Source : ESA).

Ces dernières années, le réchauffement des mers a réduit la zone de l'océan Arctique qui gèle chaque hiver. Et l'amplification de l'Arctique accélère ce changement.

L'utilisation du passage du Nord-Ouest comme route maritime risque d'aggraver encore la situation. Les gaz d'échappement des navires enverront de la suie et des polluants chimiques dans l'air au-dessus de l'Arctique. Lorsque la suie tombe sur la banquise, elle en assombrit la surface, ce qui fait que la glace absorbe davantage de lumière solaire et fond plus rapidement qu'auparavant.

La banquise et le climat

La banquise garde l'eau en dessous d'elle chaude de la même manière que les igloos fournissent une isolation pour garder le peuple Inuit au chaud. Lorsque la banquise fond, la couche isolante disparaît et la chaleur de l'océan est transférée dans l'atmosphère. La glace fondue est de l'eau douce qui dilue l'océan qui l'entoure et affecte les schémas de circulation qui sont en partie déterminés par les différences de densité de l'eau de mer. (L'eau de mer salée est plus dense que l'eau douce.) L'effet de la fonte de la banquise sur l'atmosphère et l'océan est donc complexe.

La banquise ne montre pas seulement comment le climat de la Terre évolue, mais elle joue également un rôle important dans la régulation de ce climat. Les éléments

qui jouent ce rôle, et que nous pouvons suivre de manière fiable, sont appelés variables climatiques essentielles (VCE). Les scientifiques utilisent notamment les satellites pour surveiller les VCE. Les instruments radar de certains satellites peuvent "voir à travers" les nuages pour mesurer l'étendue et l'épaisseur de la banquise. Les données fournies par ces instruments montrent que la superficie de la glace dans l'Arctique a diminué de 40 % au cours des quatre dernières décennies.

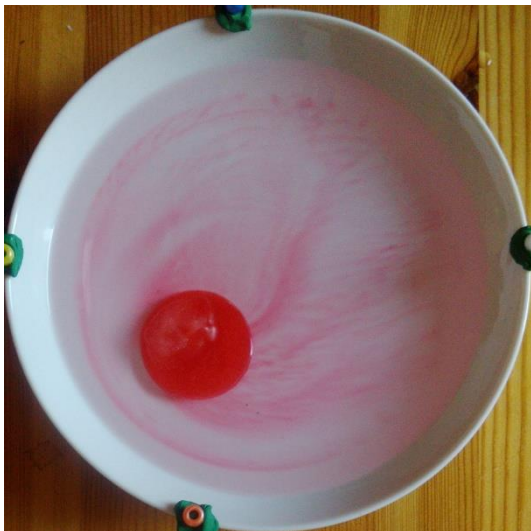
Fiche d'information n° 2.1 : Faire fondre de la glace - Eau chaude



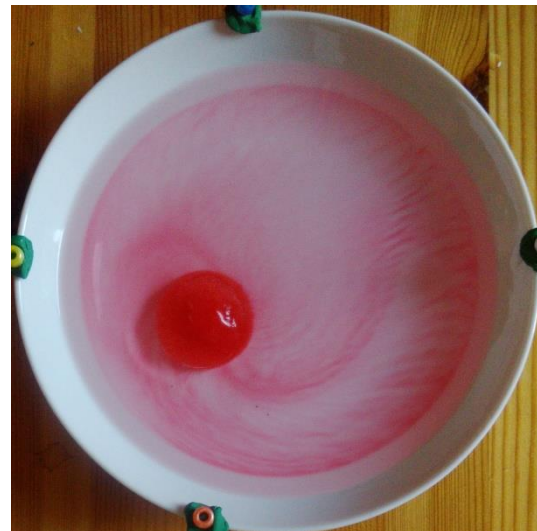
0 minutes



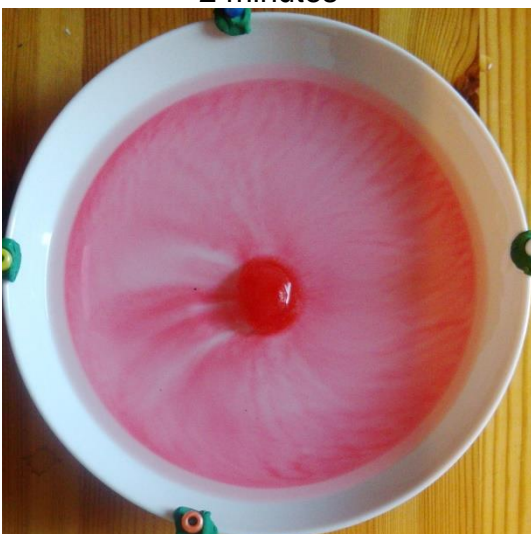
1 minute



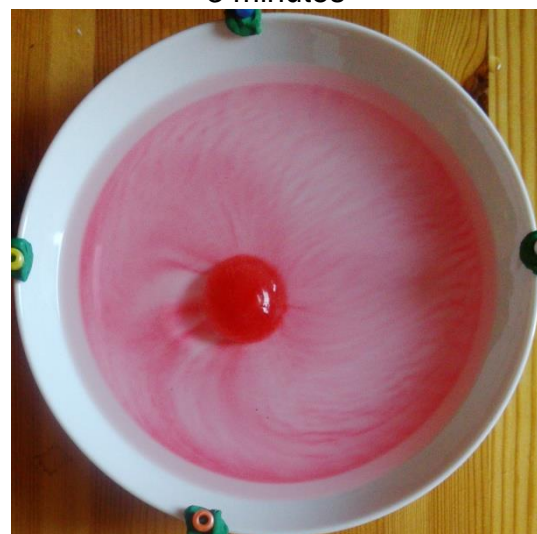
2 minutes



3 minutes



4 minutes



5 minutes

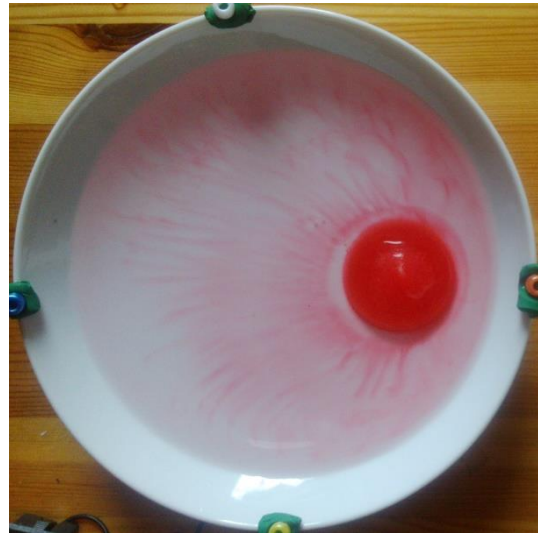
(Source : ESA CCI)

(Source : ESA CCI)

Fiche d'information n° 2.2 : Faire fondre de la glace - Eau fraîche



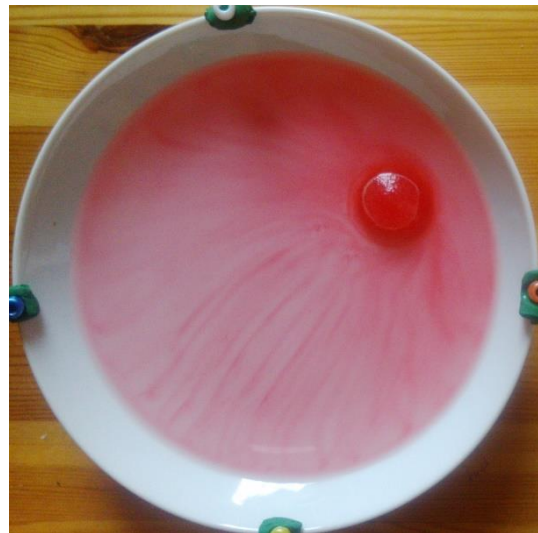
0 minutes



5 minutes



10 minutes



17 minutes



24 minutes



28 minutes

Fiche d'information 2.3 : Faire fondre de la glace - Eau froide

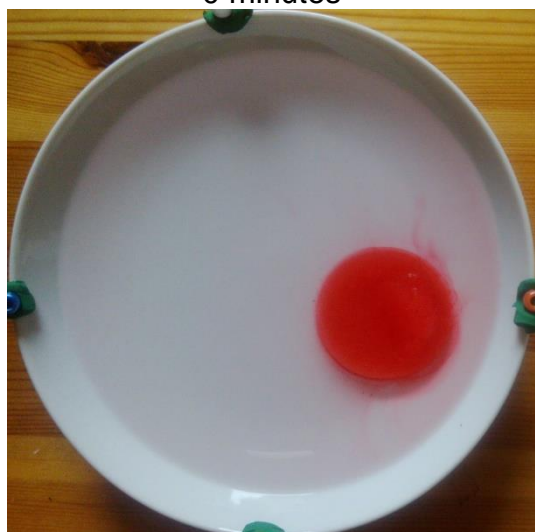
(Source : ESA CCI)



0 minutes



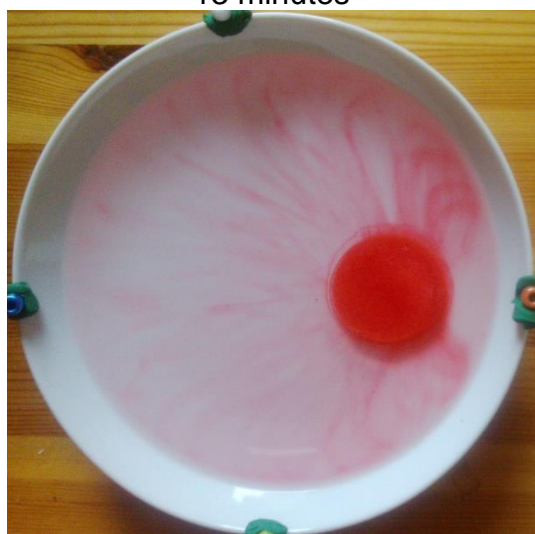
6 minutes



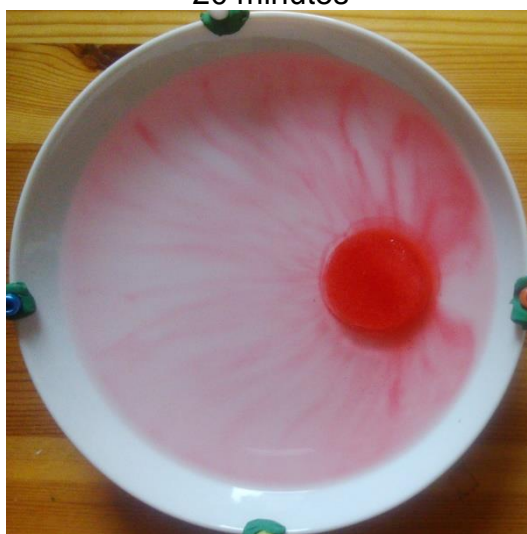
13 minutes



20 minutes



26 minutes



30 minutes

Fiche d'information n°3 : LE PASSAGE DU NORD-OUEST



(Source : Encyclopædia Britannica, Inc.)

Liens

Ressources de l'ASE

Application web Climate from Space : une ressource en ligne

<https://cfs.climate.esa.int>

Climat pour les écoles

<https://climate.esa.int/fr/education/climat-pour-les-ecoles/>

Enseigner avec l'espace

http://www.esa.int/Education/Teachers_Corner/Teach_with_space3

La banquise vue de l'espace

[esa.int/Education/Teachers_Corner/Sea_ice_from_space -
_Investigating Arctic sea ice and its connection to climate TEACH WITH SPA
CE G04](http://www.esa.int/Education/Teachers_Corner/Sea_ice_from_space_-_Investigating_Arctic_sea_ice_and_its_connection_to_climate_TEACH_WITH_SPACE_G04)

Projets spatiaux de l'ESA

Bureau du climat de l'ESA

<https://climate.esa.int/fr/>

De l'espace pour notre climat

http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate

Les missions d'observation de la Terre de l'ESA

www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/ESA_for_Earth

Explorateurs de la Terre

[http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programm
e/Earth_Explorers](http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programme/Earth_Explorers)

Sentinelles Copernicus

https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview4

Envisat

[esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Envisat](http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Envisat)

Informations supplémentaires

Le Groenland et l'Antarctique perdent de la glace six fois plus vite que prévu

[esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate/Greenland_and_A
ntarctica_losing_ice_six_times_faster_than_expected](http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate/Greenland_and_Antarctica_losing_ice_six_times_faster_than_expected)

Vidéos de la Terre vue de l'espace

http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Sets/Earth_from_Space_programme

ESA Kids

https://www.esa.int/kids/learn/Earth/Climate_change/Climate_change

Annexe : LE SAVIEZ-VOUS ?

Une sélection de faits intéressants sur le même sujet, qui pourront être utilisés de diverses manières. On pourra introduire une leçon avec l'un d'entre eux, mettre les idées sur des cartes à ajouter aux exposés des élèves, choisir un point pour lancer une discussion, utiliser les déclarations dans un quiz vrai/faux ...

- Le passage du Nord-Ouest est plus court d'environ 1900 km que l'itinéraire via le canal de Panama.
- La neige fraîchement tombée peut avoir un albédo allant jusqu'à 0,90. Cet albédo diminue à mesure que la neige vieillit et se transforme en cristaux de glace.
- La glace flotte parce qu'elle est moins dense que l'eau. C'est inhabituel car la plupart des substances sont plus denses lorsqu'elles sont solides que lorsqu'elles sont liquides.
- La concentration de la banquise peut être mesurée à l'aide d'instruments satellites qui détectent le rayonnement micro-ondes.
- Une flotte de satellites à micro-ondes capables de mesurer la concentration de la banquise est opérationnelle depuis plus de quatre décennies.
- De nombreux satellites d'observation de la Terre sont placés sur des orbites telles qu'ils ne peuvent pas prendre de mesures directement au-dessus des pôles Nord et Sud, mais ils peuvent "voir" partout ailleurs sur la Terre.