

Secondaire

11-14



climate change initiative

# Dossier de ressources pédagogiques

## UN PASSAGE S'OUVRE

Glace arctique et changement climatique

Guide du professeur et fiches d'activité de l'élève

Traduction et adaptation par le CNES, ESERO France et le SCO



Présentation	page 3
Synthèse des activités	page 4
Climate from Space	page 6
Glace marine et climat : informations générales	page 7
Activité 1 : À QUELLE VITESSE LA GLACE MARINE FOND-ELLE ?	page 9
Activité 2 : TEMPÉRATURE DES OCÉANS ET RYTHME DE FONTE DE LA GLACE	page 11
Activité 3 : LE PASSAGE DU NORD-OUEST	page 15
Fiche d'activité n° 1 de l'élève	page 18
Fiche d'activité n° 2 de l'élève	page 20
Fiche d'activité n° 3 de l'élève	page 22
Fiche d'information n° 1	page 24
Fiches d'information n° 2	page 26
Fiche d'information n° 3	page 29
Liens	page 30
Annexe : LE SAVIEZ-VOUS ?	page 31

Dossier de ressources pédagogiques Climate Change Initiative

UN PASSAGE S'OUVRE <https://climate.esa.int/fr/educate/>

Concepts d'activités développés par l'université de Twente (Pays-Bas) et par le National Centre for Earth Observation (Royaume-Uni)

Le Bureau du climat de l'ESA apprécie les retours et commentaires  
<https://climate.esa.int/helpdesk/>

Produit par le Bureau du climat de l'ESA Copyright  
© Agence spatiale européenne 2020

Traduction et adaptation par le CNES, ESERO France et SCO France en 2021



# UN PASSAGE S'OUVRE : Présentation

## Glace arctique et changement climatique

### En bref

**Thèmes :** géographie, sciences de la Terre, physique, chimie

**Tranche d'âge :** 11 à 14 ans

**Type :** lecture, modélisation mathématiques, analyse de données, discussion

**Difficulté :** moyenne à élevée

**Temps requis pour le cours :** 4 heures

**Coût :** bas (0 à 20 euros)

**Lieu :** en intérieur

**Implique l'utilisation de :** Internet, tableur

**Mots-clés :** glace marine, changement climatique, amplification arctique, chaleur latente, albédo, satellite

### Aperçu

Avec cet ensemble d'activités, les élèves découvrent le rôle majeur de la glace marine arctique dans le système climatique de la Terre. Les activités sont pensées dans le contexte du passage du Nord-Ouest.

La première activité est une étude mathématique du rythme de fonte de la glace marine qui illustre ce que l'on entend par amplification arctique.

Une étude pratique offre l'opportunité de discuter de l'utilisation des modèles en science et d'envisager les difficultés liées à la mesure et à la prévision des effets du changement climatique.

Les élèves utilisent ensuite l'application Web Climate from Space pour étudier les tendances saisonnières et à long terme de l'étendue de la glace marine et de la température de la surface des océans.

### Résultats d'apprentissage attendus

#### **Au terme de ces activités, les élèves seront capables de :**

Expliquer comment la différence d'albédo entre la glace et l'océan conduit à une amplification arctique ainsi que l'impact de ce phénomène sur le changement climatique ;

Utiliser un modèle mathématique pour étudier l'effet des différentes conditions sur la fonte de la glace marine ;

Établir un lien entre un modèle expérimental et le monde réel et évaluer ce modèle ;

Analyser des images pour obtenir des données sur la fonte des glaces ;

Discuter des défis liés à la collecte de données afin de décrire et de prévoir les effets du changement climatique ;

Utiliser l'application Web Climate from Space pour étudier l'évolution de la région arctique ;

Établir un lien entre l'évolution du schéma saisonnier de l'étendue de la glace marine et l'évolution de la température de la surface des océans ;

Proposer des causes pour ces évolutions sur différentes échelles de temps.

## Synthèse des activités

	Titre	Description	Résultat	Apprentissage préalable	Durée
1	À quelle vitesse la glace marine fond-elle ?	Histoire de présentation de la situation, suivie par une étude mathématique des rythmes de fonte.	Expliquer comment la différence d'albédo entre la glace et l'océan conduit à une amplification arctique ainsi que l'impact de ce phénomène sur le changement climatique. Utiliser un modèle mathématique pour étudier l'effet des différentes conditions sur la fonte de la glace marine.	Les élèves doivent connaître le principe de conservation de l'énergie.	1 heure
2	Température des océans et rythme de fonte de la glace	Activité pratique nécessitant un smartphone à des fins de modélisation à l'aide d'un satellite, dans le but de surveiller l'étendue de la glace marine.	Établir un lien entre un modèle expérimental et le monde réel et évaluer ce modèle. Analyser des images pour obtenir des données sur la fonte des glaces. Discuter des défis liés à la collecte de données afin de décrire et de prévoir les effets du changement climatique.	Aucun	2 heures
3	Le passage du Nord-Ouest	Étude des données à long terme concernant la glace marine et la température de la surface des océans dans l'Arctique.	Utiliser l'application Web Climate from Space pour étudier l'évolution de la région arctique. Établir un lien entre l'évolution du schéma saisonnier de l'étendue de la glace marine et l'évolution de la température de la surface des océans. Proposer des causes pour ces évolutions sur différentes échelles de temps.	Aucun	1 heure

Les durées indiquées couvrent les principaux exercices, en supposant un accès total aux outils informatiques et/ou une répartition des calculs répétitifs et des graphiques entre les élèves de la classe. Elles englobent le partage des résultats mais pas la présentation des conclusions, car celle-ci peut varier en fonction de la taille de la classe et des groupes. Les approches alternatives peuvent prendre plus de temps.

## Remarques d'ordre pratique pour les professeurs

Le **matériel nécessaire** pour chaque activité est précisé au début de la section correspondante, avec des remarques relatives à toute préparation requise autre que la photocopie des fiches d'activité et des fiches d'information.

Les **fiches d'activité** sont conçues pour un usage unique et peuvent être photocopiées en noir et blanc.

Les **fiches d'information** peuvent contenir des images plus grandes que vous pouvez insérer dans vos présentations en classe, des informations supplémentaires pour les élèves ou des données sur lesquelles ils peuvent travailler.

Ces ressources ont un meilleur rendu si elles sont imprimées ou photocopiées en couleur, mais elles peuvent être réutilisées.

Les **feuilles de calcul, jeux de données ou documents supplémentaires** requis pour l'activité peuvent être téléchargés en suivant les liens vers ce dossier depuis le site <https://climate.esa.int/fr/educate/climate-for-schools/>

Des idées et suggestions complémentaires à des fins de différenciation sont incluses en des points stratégiques de la description de chaque activité.

Les réponses des fiches d'activité et les résultats des activités pratiques sont inclus pour faciliter l'évaluation. Les occasions d'utiliser des critères locaux pour évaluer les compétences de base, comme la communication ou le traitement des données, sont indiquées dans la partie concernée de la description de l'activité.

### Hygiène et sécurité

Pour toutes les activités, nous avons supposé que vous continuerez d'appliquer vos procédures habituelles relatives à l'utilisation des équipements communs (y compris les appareils électriques, comme des ordinateurs), aux déplacements dans l'environnement d'apprentissage, aux chutes et aux débordements, aux premiers secours, etc. La nécessité de ces procédures est universelle mais leur mise en œuvre varie considérablement, de sorte que nous ne les avons pas détaillées à chaque fois. En revanche, nous avons souligné les dangers propres à chaque activité pratique afin de vous informer de l'évaluation des risques.

Certaines de ces activités utilisent l'application Web Climate from Space. Il est possible d'accéder, depuis cette ressource, à d'autres parties du site Web Climate Change Initiative de l'ESA, et donc vers des sites Web externes. Si vous ne pouvez pas ou ne souhaitez pas limiter les pages que les élèves peuvent consulter, rappelez-leur vos règles locales en matière de sécurité sur Internet.

## Climate from Space

Les satellites de l'ESA jouent un rôle important dans la surveillance du changement climatique. Climate from Space ([cfs.climate.esa.int](https://cfs.climate.esa.int)) est une ressource en ligne qui utilise des histoires illustrées pour synthétiser certains des changements subis par notre planète et mettre en lumière le travail des scientifiques de l'ESA.

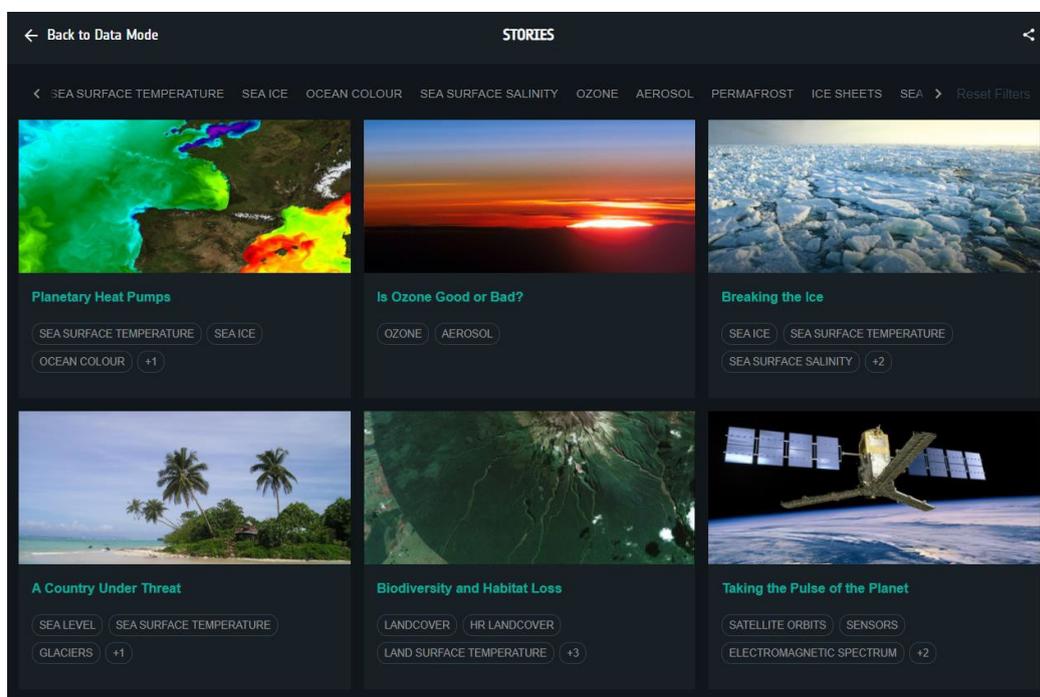


Figure 1 : Histoires de Climate from Space (source : ESA CCI)

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

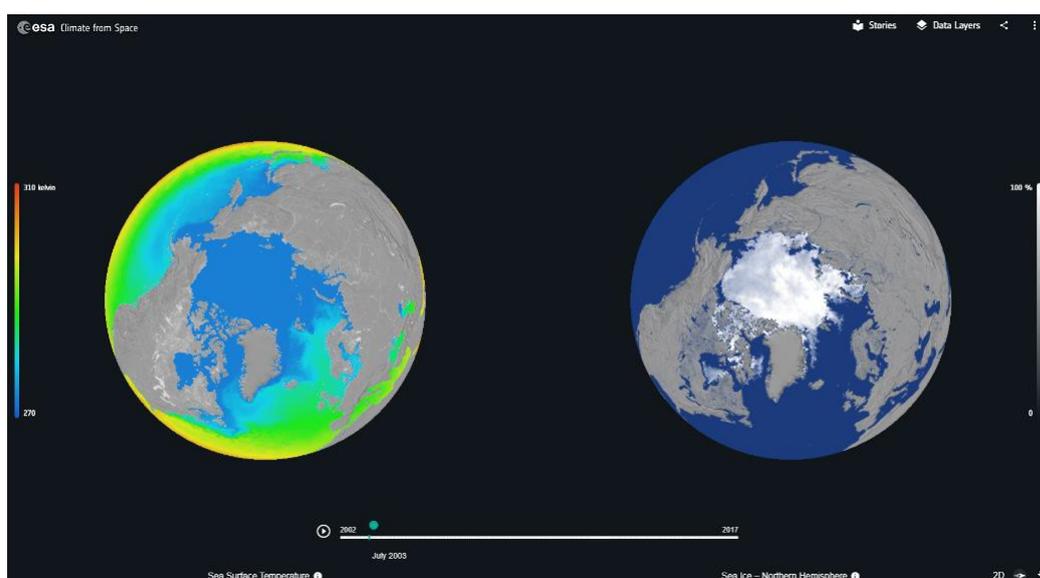


Figure 2 : Étude de la température de la surface des océans et de l'étendue de la glace marine dans l'application Web Climate from Space (source : ESA CCI)

## Glace marine et climat : informations générales

### La cryosphère dans le système climatique

Le terme cryosphère désigne toutes les régions de la Terre où l'eau est gelée, que ce soit à la surface des océans ou bien sur la terre ou en dessous. La cryosphère est l'une des cinq composantes du système climatique (Figure 3) : son état est l'un des facteurs qui déterminent le climat à l'échelle mondiale.

L'eau joue un rôle central dans la cryosphère et elle affecte le climat de différentes manières lorsqu'elle passe de l'état liquide (eau) à l'état solide (glace) et vice versa. La congélation libère de la chaleur dans l'environnement et la décongélation absorbe la chaleur de l'environnement. La formation de la glace marine ralentit le refroidissement de l'Arctique chaque hiver, et sa fonte est responsable d'une hausse progressive de la température à mesure que l'été avance. Ainsi, la glace de mer joue un rôle essentiel dans la régulation du climat de la planète.

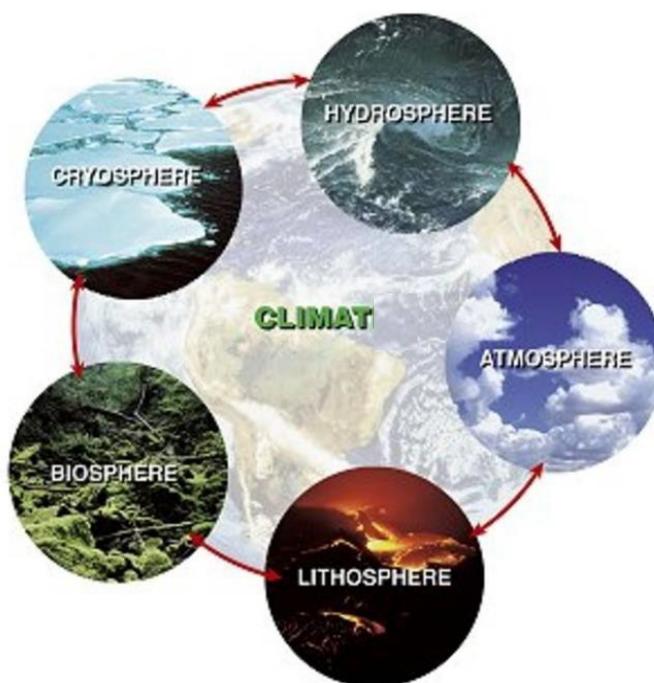


Figure 3 : Composantes du système climatique (source : ESA)

### Amplification arctique



et la haute mer (source : ESA)

La couleur de la glace marine contraste fortement avec celle de la haute mer, comme le montre la photo (Figure 4), et cela impacte aussi le climat. La glace et la neige ont un albédo élevé (réflectance), la glace marine pouvant en effet réfléchir jusqu'à 90 % de la lumière du Soleil reçue, de sorte que seule une faible proportion de l'énergie du Soleil qui atteint la Terre peut réchauffer les surfaces recouvertes de neige et de glace blanches. La disparition de la glace marine implique donc que la Terre absorbe plus

d'énergie du Soleil, accélérant de fait le réchauffement climatique et entraînant la fonte d'une plus grande

quantité de glace marine. Ce mécanisme de rétroaction positive s'appelle l'amplification arctique. La glace marine piège aussi des poches d'air, ce qui en fait un excellent isolant. Tout comme une bâche de piscine ou une couverture, elle conserve l'eau en dessous plus froide que celle exposée, ce qui contribue aussi à réduire le réchauffement de l'océan Arctique.

## Circulation thermohaline océanique

Un autre rôle plus complexe de la glace marine dans le système climatique découle de son influence sur le déplacement de l'eau autour du globe, que l'on appelle 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 la densité. L'eau plus salée tombe vers le plancher océanique et entraîne la circulation à grande échelle de l'eau froide de l'Arctique vers les tropiques et de l'eau chaude des tropiques vers l'Arctique.

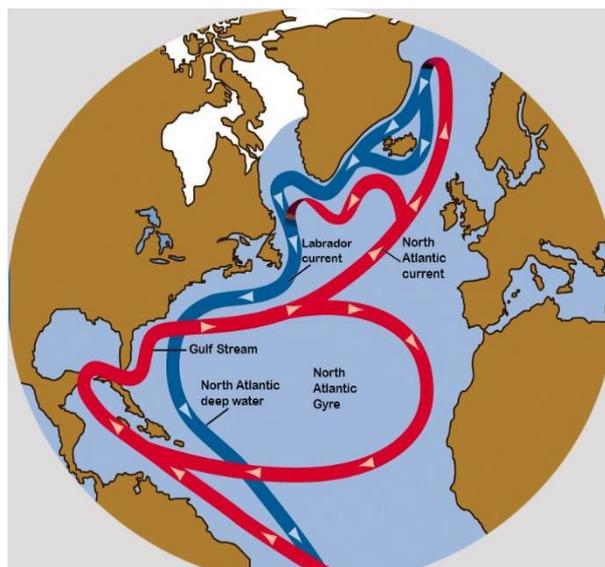


Figure 5 : Circulation thermohaline océanique dans l'océan Atlantique. Les lignes rouges représentent l'eau chaude, les lignes bleues l'eau froide et les flèches indiquent le sens des courants. (source : ESA)

## Variables climatiques essentielles

Pour décrire le changement climatique, la plupart des gens évoquent le niveau du réchauffement à l'échelle du globe et sont conscients que de nombreux pays s'efforcent de le maintenir en deçà de 1,5 °C et bien en deçà de 2 °C. Mais la situation n'est pas aussi simple que le laissent supposer ces chiffres apparemment bas.

Tout d'abord, la moyenne masque des écarts régionaux considérables en termes de niveau du réchauffement. L'Arctique pourrait connaître des hausses de température supérieures à la moyenne.

Ensuite, le focus mis sur la température fait que d'autres changements sont ignorés. 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 des variables climatiques essentielles (VCE). La glace marine est une de ces variables du fait des nombreux processus par le biais desquels 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 il est rarement navigable. La diminution de la glace marine arctique du fait du réchauffement climatique peut permettre aux navires d'emprunter cette route plus régulièrement, mais la libération du passage est un signe inquiétant des évolutions qui affectent non seulement la région Arctique, mais aussi le système climatique de la Terre dans son ensemble.

## Activité 1 : À QUELLE VITESSE LA GLACE MARINE FOND-ELLE ?

Cette activité commence par une brève histoire du passage du Nord-Ouest, afin de fournir un contexte pour étudier le rôle de la glace marine dans le système climatique. Les élèves sont ensuite guidés tout au long du calcul utilisant la conservation de l'énergie, le concept d'albédo et la chaleur latente de la fusion (ces deux composantes nécessitant une explication) afin de développer un modèle mathématique leur permettant d'étudier l'amplification arctique.

### Matériel

- Fiche d'information n° 1 (2 pages)
- Fiche d'activité n° 1 de l'élève (2 pages)
- Ressource en ligne Climate from Space : Histoire *Rompre la glace* (facultatif)
- Calculatrice et/ou accès à un tableur
- Papier millimétré

### Exercice

1. Lisez la fiche d'information n° 1 à toute la classe ou demandez aux élèves de la lire en groupes. Les bons lecteurs peuvent la lire pour préparer le cours, en notant trois notions qu'ils en tirent et au moins une question qu'ils souhaitent poser.  
Si vous procédez à la lecture ou à l'étude en classe, vous pouvez compléter le texte avec des éléments tirés de l'histoire de Climate from Space *Briser la glace*. La plupart des pages disposent de galeries d'images superbes de la région. Parmi les images plus spécifiques que vous pouvez utiliser dans le cadre de la lecture :
  - Diapo 2 – gravure d'une expédition
  - Diapo 3 – potentielles routes de navigation polaires et navires modernes traversant la glace marine
  - Diapo 6 – Nuuk, capitale du Groënland
  - Diapo 7 – reproduction artistique de CryoSat 2, mission satellitaire de l'ESA dédiée à la glace.
2. Demandez aux élèves de travailler sur la fiche d'activité n° 1.1 de l'élève. Elle illustre comment déterminer le rythme de fonte de la glace marine à partir de principes de base en guidant les élèves tout au long des calculs pour deux scénarios distincts. Le calcul est synthétisé dans cette équation :

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

Quantité	Symbole	Valeur	Unités
Rythme de fonte de la glace marine	$m_i$	à déterminer	kg m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>
Concentration en glace marine	$C$	variable	%
Albédo de la glace marine	$\alpha_i$	0,85	–
Albédo des eaux libres	$\alpha_w$	0,07	–
Chaleur latente de la fusion de la glace marine	$L_f$	3,3 x 10 <sup>5</sup>	J kg <sup>-1</sup>
Rayonnement solaire	$P_{in}$	variable	W m <sup>-2</sup>

3. Demandez aux élèves d'utiliser cette méthode pour étudier l'effet des différents niveaux de rayonnement solaire et/ou de la concentration en glace marine sur

le rythme de fonte. Ils peuvent travailler en groupe pour déterminer les valeurs appropriées ou utiliser celles proposées dans le tableau de la fiche d'activité n° 1.2 de l'élève. L'étude impliquant des calculs répétitifs, les élèves peuvent se les répartir au sein du groupe ou configurer un tableur pour les effectuer.

4. Les questions de la fiche d'activité n° 1.2 fournissent une structure pour la discussion concernant les résultats de l'étude.

**Remarque :** le calcul ne tient compte que de l'énergie fournie par la lumière du Soleil et suppose que toute l'énergie absorbée par l'eau est transmise à la glace. Vous pouvez discuter de la validité de ces hypothèses et/ou étudier l'effet qu'aurait leur modification sur les résultats.

## Réponses de la fiche d'activité et résultats

### Fiche d'activité n° 1.1

- |                          |   |                            |
|--------------------------|---|----------------------------|
| 1. 1 080 000 J (1.08 MJ) | 5. a. (i) 0.7 or $\frac{7}{10}$               | (ii) 0.3 or $\frac{3}{10}$ |
| 2. 918 000 J             | b. (i) 643 000 J                              | (ii) 22 700 J              |
| 3. 162 000 J             | c. 415 000 J                                  |                            |
| 4. 0.491 kg              | d. 1.26 kg m <sup>-2</sup> hour <sup>-1</sup> |                            |

### Fiche d'activité n° 1.2

Les résultats mettant en œuvre les chiffres proposés sont présentés dans le tableau ci-dessous et à la Figure 6.

Rayonnement solaire atteignant la surface / W m <sup>-2</sup>	Rythme de fonte / kg m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>			
	Concentration en glace marine			
	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 rythme de la fonte s'accélère à mesure que la concentration diminue.
3. Voir la fiche d'information n° 1. Les réponses peuvent se référer aux éléments suivants : réflectance réduite ou amplification arctique et/ou boucle de rétroaction, transfert d'énergie accru entre l'océan et l'atmosphère, évolution de la circulation océanique, etc.

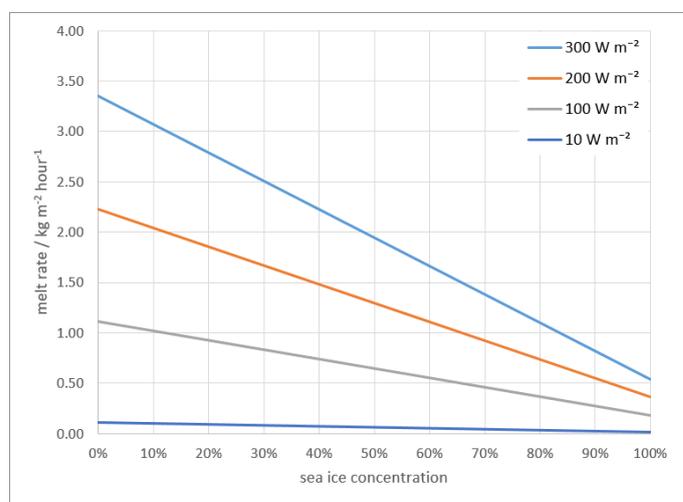


Figure 6 : Rythme de fonte comparé à la concentration en glace marine pour différents niveaux de rayonnement solaire (source : ESA CCI)

## Activité 2 : TEMPÉRATURE DES OCÉANS ET RYTHME DE FONTE DE LA GLACE

Dans cette activité, les élèves étudient les effets de l'évolution de la température des océans sur la fonte des glaces à l'aide d'un smartphone ou d'une tablette en modélisant un satellite de surveillance de la glace marine. La suite de l'activité est ouverte, ce qui vous offre l'opportunité d'évaluer les compétences scientifiques et mathématiques de base et d'inciter les élèves les plus à l'aise à discuter de ce que leur étude révèle sur les difficultés à collecter des données climatiques fiables pour modéliser une évolution.

### Matériel

Chaque groupe a besoin de ce qui suit :

- Un bécher, un petit plateau ou un bol
- Trois ou quatre perles ou boutons de différentes couleurs
- De la pâte à modeler pour maintenir les marqueurs en position
- Au moins trois glaçons ou blocs de glace de même taille réalisés avec de l'eau colorée
- Un bécher ou une carafe
- De l'eau chaude et de l'eau froide
- Un thermomètre
- Un smartphone ou une tablette avec une caméra
- Une pile de livres ou un bloc de bois pour soutenir le téléphone/la tablette
- Une horloge ou un chronomètre (l'horloge de la classe fera l'affaire)
- Des serviettes pour les mains et pour éponger tout éventuel débordement

Les élèves ont aussi besoin de ce qui suit :

- Une copie de la fiche d'activité n° 2 de l'élève (2 pages) par élève
- Accès à un logiciel de traitement de l'image qu'ils connaissent
- Imprimante (facultatif)
- Des feuilles de rhodoïd imprimées avec une grille (facultatif)
- Papier quadrillé (facultatif)
- Papier calque (facultatif)

**Remarque :** si plusieurs éléments ne sont pas disponibles, les parties pratiques de cette activité peuvent être réalisées sous forme de démonstration. La sortie du téléphone peut être affichée sur un écran en temps réel, ou bien les images peuvent être affichées ou imprimées pour une analyse ultérieure. (Voir la section Résultats.)

### Préparation

Il est judicieux de faire une tentative préalable pour déterminer la hauteur et la position optimales du téléphone et/ou le temps nécessaire pour que des glaçons de la taille de ceux que vous envisagez d'utiliser fondent de manière visible dans l'environnement de votre classe en utilisant de l'eau à différentes températures. L'utilisation de glaçons standard dans des béchers d'eau donne des résultats rapides mais les petites surfaces peuvent être difficiles à mesurer. Voir la section Résultats pour des indications sur les durées possibles.

### Hygiène et sécurité

Assurez-vous que tout le matériel est posé de manière stable sur la table et ne dépasse pas dans le vide. Assurez-vous de disposer du matériel nécessaire pour éponger des débordements.

## Exercice

1. L'histoire utilisée pour présenter l'activité précédente mentionnait l'utilisation de satellites pour surveiller l'étendue de la glace marine. Demandez aux élèves de déterminer comment la préparation décrite dans la fiche d'activité n° 2 de l'élève modélise cette activité. Le bol d'eau représente l'océan, les glaçons sont la glace marine, les perles des points de référence GPS (ou des éléments fixes facilement visibles depuis l'espace, comme des villes ou des caps) et la caméra correspond au capteur embarqué à bord du satellite. Il est à noter que les mesures sont effectuées par des satellites d'observation de la Terre en orbite terrestre basse. Les satellites passent au-dessus d'une zone à intervalles réguliers, de sorte que des photographies figées prises de temps en temps constituent un meilleur modèle que l'enregistrement d'une vidéo. (Les images fixes sont aussi plus faciles à analyser !)
2. L'activité précédente étudiait l'impact de différentes quantités de lumière solaire sur le rythme de la fonte. Mais que se passe-t-il si la température des océans évolue ? Les élèves vont certainement supposer qu'une eau plus chaude accélère le rythme de la fonte, mais quelle est la portée réelle de son impact ? Ils vont utiliser ce modèle pour étudier quelques-unes des difficultés rencontrées par les scientifiques lorsqu'ils tentent de répondre à cette question.
3. Demandez aux élèves de collecter des données en suivant les instructions de la fiche d'activité. Ils n'ont pas nécessairement besoin de respecter des intervalles parfaitement identiques ni de consigner les heures, puisque ces données sont disponibles dans le fichier d'images.  
Si vous disposez de peu de temps, vous pouvez demander à chaque groupe de réaliser une seule série de mesures en attribuant différentes plages de température étendues aux différents groupes.  
Avec cette méthode, les élèves ne prennent que la mesure initiale et la dernière mesure de la température de l'eau, et ils utilisent ces deux valeurs pour calculer une moyenne. Cette méthode sous-tend plusieurs hypothèses que vous pouvez aborder avec les élèves les plus à l'aise, ce qui peut conduire à pousser plus loin l'étude à l'aide d'un capteur de température connecté à un enregistreur de données. À l'inverse, avec les élèves moins à l'aise, vous pouvez simplement décrire la température de l'eau et/ou vous concentrer sur le temps nécessaire à un bloc de glace pour fondre dans chaque situation.
4. La deuxième page de la fiche d'activité demande aux élèves de déterminer comment mesurer la superficie de la glace. Le but étant de faire des comparaisons, peu importe les unités utilisées du moment qu'elles sont identiques dans chaque situation.  
Vous pouvez montrer aux élèves moins à l'aise du matériel (voire des techniques) qu'ils peuvent utiliser, ou bien mettre au défi les plus à l'aise de déterminer la superficie en cm<sup>2</sup> en réalisant des mesures plus précises et en mettant leurs images à l'échelle. (Si vous envisagez de faire cela, il est judicieux de demander aux élèves d'inclure une règle dans au moins une photographie.)

Les méthodes possibles sont, entre autres, les suivantes :

- Impression d'images et traçage du contour du bloc de glace sur du papier millimétré (ou découpe du bloc de glace et traçage autour de la découpe).
- Utilisation d'une feuille de rhodoïd imprimée avec une grille, à superposer sur les images imprimées.
- Création d'une couche transparente avec une grille dans le logiciel de traitement de l'image (par exemple en scannant du papier millimétré puis en supprimant le fond), à superposer sur la photographie.

- Utilisation d'un outil de sélection approprié pour tracer le contour du bloc dans le logiciel de traitement de l'image et consignation des dimensions de la forme ainsi délimitée pour calculer la superficie (à titre d'alternative, le logiciel peut afficher le nombre de pixels dans la zone délimitée).

5. La fiche d'activité demande aux élèves de consigner les zones dans un tableau approprié, de les afficher sur un graphique et de décrire le tracé qui apparaît. Cela vous donne l'opportunité d'évaluer leurs compétences en matière de traitement des données par rapport à vos critères locaux, et ainsi de fournir un niveau d'assistance parfaitement adapté aux compétences de chaque groupe.

Les élèves qui ont des difficultés à collecter des résultats et à créer des photographies de même taille peuvent analyser les résultats des fiches d'information n° 2.1 à 2.3.

6. Les questions à la fin de la fiche d'activité demandent aux élèves d'établir un lien entre leur expérience et le scénario de la vie réelle que leur modèle représente, de déterminer comment le modèle simplifie le scénario de la vie réelle et de proposer des facteurs supplémentaires influant sur le rythme de la fonte. Ils peuvent aussi réfléchir à la façon d'adapter leur étude pour obtenir des résultats numériques précis. Cette discussion peut amener les élèves à proposer leurs propres activités complémentaires.

## Résultats

Six résultats pour l'eau à trois températures différentes sont indiqués dans les fiches d'information n° 2.1 à 2.3 et des résultats supplémentaires sont présentés dans le tableau.

Les disques de glace utilisés ont été réalisés en congelant de l'eau colorée dans un moule à muffins et faisaient 1 cm d'épaisseur et 5–6 cm de diamètre.

La température ambiante était d'environ 18 °C.

Le bol avait une contenance d'environ 300 cm<sup>3</sup> et un diamètre de 21 cm, ce qui signifie que l'échelle des photographies sur les fiches d'information est d'environ 1:3.

Durée / minutes	Superficie de la glace / cm <sup>2</sup>			
	Chaud (37,5oC)	Tiède (24oC)	Frais (14oC)	Froid (6oC)
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.

Aussi les remarques ci-dessous fournissent-elles des indications sur les idées que peuvent avoir les élèves, ainsi que des informations que vous pouvez utiliser dans le cadre d'une discussion.

### Analyse des résultats

La conclusion la plus évidente est que la glace fond plus rapidement à des températures plus chaudes, mais invitez les élèves à regarder leurs résultats de plus près. Le rythme évolue-t-il au fil du temps ? Peuvent-ils calculer le rythme à l'aide du dégradé du graphique ?

### Discussion

1. Les difficultés probables se divisent en deux catégories principales : déterminer le bord du bloc de glace à partir de la photographie (en particulier si les différents bords sont facilement visibles au-dessus et en-dessous de la ligne de flottaison) et choisir la méthode à appliquer pour déterminer la superficie (taille de la grille, fraction d'un carré qui peut être estimée, capacité à délimiter la surface correcte, approximation de la forme pour calculer la superficie).
2. Tout dépend de la question précédente. Les élèves peuvent se référer aux différences de couleur, mais la glace souillée et les océans gris peuvent être difficiles à distinguer, ou bien ils peuvent délimiter une vaste surface.
3. Les élèves peuvent penser à la couverture nuageuse, à la taille de la zone impliquée, à la fragmentation de la glace, etc.
4. La plus grande 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 de l'évolution de la température des océans en profondeur. Si les élèves ont fait bien attention à ne pas faire bouger leur matériel, ils peuvent constater que l'eau froide provenant de la glace fondue se trouve sous l'eau chaude (voir les dernières images de la fiche d'information n° 2.1).
5. Les élèves peuvent évoquer la couverture nuageuse, la température de l'air, le vent, la fragmentation de la glace, l'état de la mer, etc.
6. Les réponses dépendront des facteurs suggérés.

## Activité 3 : LE PASSAGE DU NORD-OUEST

Dans cette activité, les élèves utilisent l'application Web Climate from Space pour étudier les données satellite relatives à l'étendue de la glace marine et à la température de la surface des océans, ainsi que les tendances annuelles et à long terme dans le passage du Nord-Ouest et dans toute la région arctique. Cette activité peut renforcer leur compréhension des processus climatiques clés à l'œuvre dans l'Arctique. Alternativement, vous pouvez l'utiliser pour lancer une discussion sur le changement climatique ou sur l'Arctique et amener les élèves à partager leurs connaissances et suggérer des points à étudier.

### Matériel

- Accès Internet
- Application Web Climate from Space
- Fiche d'activité n° 3 de l'élève (2 pages)
- Fiche d'information n° 3 (facultatif)
- Feutres ou crayons de couleur

### Exercice

1. Présentez une carte du passage du Nord-Ouest. Vous pouvez imprimer la fiche d'information n° 3 pour les élèves, afin qu'ils puissent se servir de l'image dans le logiciel de présentation. Abordez la raison pour laquelle les navigateurs ont essayé à de multiples reprises de le trouver et/ou de le traverser, ainsi que d'autres routes polaires, au fil des siècles.
2. Demandez aux élèves d'utiliser l'application Web Climate from Space pour traiter les questions 1 et 2 de la fiche d'activité n° 3.1 de l'élève. L'application Web est assez intuitive, mais vous pouvez afficher le jeu de données et/ou faire une démonstration du fonctionnement du site.
3. Discutez des résultats avec la classe en essayant de comprendre pourquoi la question 2 ne demande pas si les données *prouvent* que la Terre est en train de se réchauffer. (Si les élèves n'ont pas terminé l'activité n° 1, il est judicieux de souligner la différence entre les tendances climatiques à long terme et la variabilité naturelle.) Cela peut conduire les élèves à mener des recherches indépendantes sur d'autres phénomènes qui prouvent le changement climatique, depuis l'expérience de leurs grands-parents jusqu'à la fréquence et à la gravité des tempêtes, des sécheresses et des vagues de chaleur, par exemple.
4. Laissez un peu de temps aux élèves pour étudier la couche de données relative à la concentration en glace marine et pour la comparer aux données concernant la température de la surface des océans dans l'application Web Climate from Space. Notez que bien que l'animation ne nous indique pas avec précision la superficie recouverte de glace marine à un moment donné, on peut la voir évoluer sur une année et d'une année à l'autre.
5. Demandez aux élèves d'utiliser la visualisation pour répondre aux questions 3 à 7 des fiches d'activité n° 3.1 et 3.2 de l'élève. Ils peuvent travailler individuellement ou bien en binômes ou en petits groupes en fonction de l'accès aux équipements informatiques et de leurs capacités.

6. Si les élèves travaillent individuellement ou en binômes, organisez de petits groupes pour traiter les questions à la fin de la fiche d'activité n° 3.2 de l'élève. Il s'agit d'une activité très ouverte, qui vous permet de demander aux élèves de structurer la discussion d'une certaine façon et/ou de produire un compte rendu selon une méthode adaptée à la classe et compatible avec votre séquence d'enseignement. Par exemple :
- Si les élèves commencent seulement à étudier le changement climatique, chaque groupe peut établir une liste de ses idées en indiquant le degré de certitude pour chaque affirmation. Ils peuvent aussi ajouter des questions découlant des données et à étudier au cours des sessions à venir.
  - Si vous mettez ceci en place vers la fin d'une unité, vous pouvez demander à des groupes ou à des élèves d'établir des liens entre ces tendances et leurs connaissances en matière de changement climatique dans un rapport/sur un poster qui vous permettra d'évaluer leur apprentissage.

## Réponses de la fiche d'activité

### 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 durant lesquelles le passage du Nord-Ouest a été ouvert se situent dans la dernière décennie. Ainsi, ces données appuient l'idée que le climat de la Terre évolue. Cependant, il existe toujours une variabilité naturelle de sorte que ces données, à elles seules, ne prouvent pas le réchauffement à l'échelle mondiale.

### Tendances relatives à la glace marine arctique

3. a. Mars/Avril                      b. Septembre/Octobre
4. La hausse de la température de la surface des océans implique une diminution de la glace.
5. Voir la Figure 7 à la page suivante.
6. **Glace marine – similitudes** : les maxima et les minima sont enregistrés au cours des mêmes mois chaque année – il existe un cycle annuel.  
**Glace marine – différences** : l'étendue maximale est plus réduite en moyenne ; la superficie qui est toujours gelée est plus petite.  
**Température de la surface des océans – similitudes** : les maxima et les minima surviennent aux mêmes périodes chaque année (mais ce cycle annuel est l'opposé de celui de la glace marine).  
**Température de la surface des océans – différences** : les températures maximale et minimale sont toutes les deux plus élevées.  
 Les élèves peuvent se référer à des zones spécifiques dans leurs réponses en fonction de leurs connaissances géographiques.

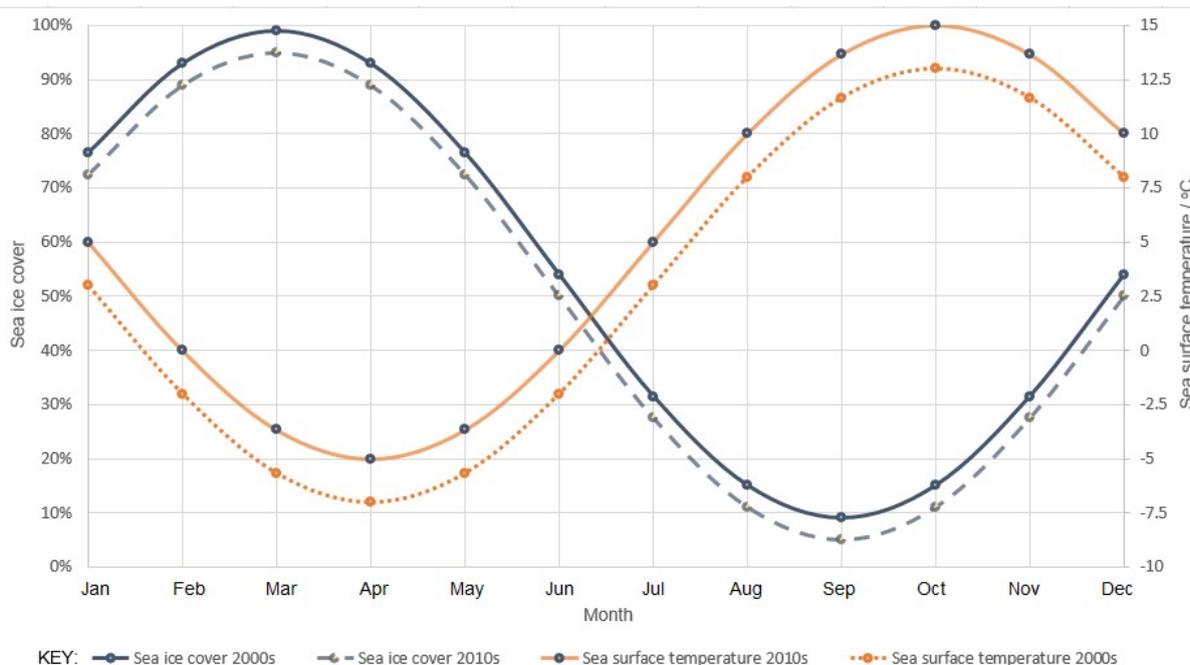


Figure 7 : Cycles saisonniers de l'étendue de la glace marine et de la température de la surface des océans (source : ESA CCI)

## À discuter

Les réponses des élèves à ces questions peuvent varier selon le moment où cette activité sera réalisée, selon la structure de la discussion et selon les résultats attendus. Les remarques ci-dessous concernent quelques sujets généralement soulevés durant la discussion.

- 8 a. Sur une année, le maximum et le minimum de l'étendue de la glace marine sont constatés 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 ceci à l'aide d'un exemple à court terme de la « mémoire » météorologique de la glace, un attribut exploité (par le biais de carottes) dans les études à long terme.
  - b. Au cours des trois dernières décennies, le changement climatique a affecté la température moyenne de l'atmosphère mais la majorité de l'énergie excédentaire a été absorbée par les océans. La région Arctique est essentiellement un océan recouvert de glace marine à la différence de l'Antarctique, où la majorité de la glace se compose de nappes glaciaires ou de glaciers et où elle n'est en contact avec l'océan que sur les bords du continent. C'est l'une des raisons pour lesquelles l'évolution est plus rapide dans l'Arctique.
9. Les scientifiques s'attendent à ce que le rythme auquel la glace marine disparaît s'accélère du fait de l'amplification arctique (voir page 8).

## Fiche d'activité n° 1 : À QUELLE VITESSE LA GLACE MARINE FOND-ELLE ?

La **chaleur latente spécifique de la fusion** est la quantité d'énergie nécessaire pour faire fondre 1 kg d'un solide (sans changement de la température). Pour la glace marine, elle est de 330 000 J kg<sup>-1</sup>. Nous pouvons utiliser cette donnée ainsi que les notions de la fiche d'information *Un passage s'ouvre* pour explorer les facteurs affectant la vitesse à laquelle la glace marine fond.

### Calcul des rythmes de fonte

1. Près de 300 W de rayonnement solaire atteignent chaque mètre carré de la surface de la Terre dans l'Arctique par une belle journée de juin. Combien d'énergie cela représente-t-il par heure ?

(CONSEIL : souviens-toi que 1 W = 1 J s<sup>-1</sup>.)

---

2. Près de 85 % du rayonnement atteignant la glace marine sont réfléchis : on dit alors qu'elle a un **albédo** de 0,85. Par une belle journée de juin, combien d'énergie un mètre carré de glace marine réfléchit-il en une heure ?

---

3. Combien d'énergie la glace absorbe-t-elle ?

---

4. Quelle masse de glace cette quantité d'énergie peut-elle faire fondre ?

(CONSEIL : utilise les informations sur la chaleur latente de la fusion en haut de la page.)

---

Il s'agit du rythme de fonte en kg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> par une belle journée de juin lorsque la concentration en glace marine est de 100 % (la totalité de la surface est recouverte de glace).

5. Si la concentration en glace marine 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 atteignant chaque mètre carré en une heure est réfléchie par :

- (i) la glace dans ce mètre carré ?

(CONSEIL : ta réponse doit être inférieure à celle de la Q2.)

---

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

---

- c. Quelle quantité d'énergie est absorbée par l'océan lorsque la concentration en glace marine est de 70 % ?

---

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

---

## Étude des rythmes de fonte

Étudie l'évolution du rythme de fonte :

- si la quantité de rayonnement qui atteint la surface évolue (en raison de la couverture nuageuse ou d'une période différente de l'année)
- à mesure que la concentration en glace marine évolue.

Tu peux présenter tes résultats sous la forme d'un graphique et/ou les synthétiser dans un tableau comme celui-ci.

Rayonnement solaire atteignant la surface / $W m^{-2}$	Rythme de fonte / $kg m^{-2} h^{-1}$			
	Concentration en glace marine			
	100 %	70 %	40 %	10 %
300	Réponse à la Q4	Réponse à la Q5d		
200				
100				
10				

Utilise tes résultats et les informations de l'histoire *Un passage s'ouvre* pour répondre à ces questions :

1. Des valeurs de 10, 100, 200 et 300  $W m^{-2}$  sont des niveaux typiques de rayonnement solaire pour la région arctique en mars, avril, mai et juin.  
Durant quel mois le rythme de fonte de la glace marine est le plus rapide ?

---

2. Décris le lien entre le rythme de fonte de la glace marine et la concentration en glace marine.

---



---

3. Explique avec tes mots en quoi la glace marine joue un rôle vital dans le système climatique.

---

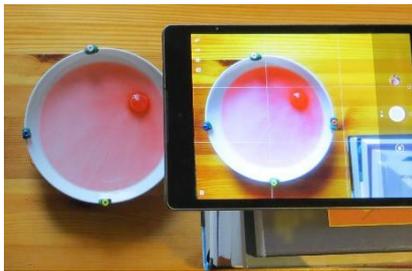
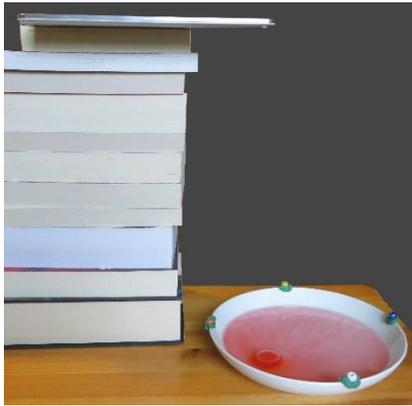


---



---

## Fiche d'activité n° 2 : TEMPÉRATURE DES OCÉANS ET RYTHME DE FONTE DE LA GLACE



Utilisation d'une tablette pour surveiller la fonte de la glace. La photo du haut est une vue latérale et la photo du bas est une vue de dessus. (source : ESA CCI)

### Hygiène et sécurité

- Assure-toi que ton matériel ne dépasse pas du bord de la table.
- Éponge rapidement le moindre débordement.
- Ne goûte à rien.  
Garde tes mains à distance de ta bouche.

### Ce dont tu as besoin

- 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 carafe
- Au moins trois glaçons ou blocs de glace (à conserver au frais jusqu'au dernier moment)
- Un thermomètre
- Une horloge ou un chronomètre

### Collecte de données

1. Utilise la pâte à modeler pour fixer les perles uniformément réparties sur le bord du bol. Elles serviront de points de référence si tu dois redimensionner tes photos.
2. Place le téléphone ou la table sur une pile de livres de manière à ce que la caméra puisse voir le bol dans son intégralité (voir les photos).
3. Verse de l'eau dans le bol et mesure la température de l'eau.
4. Place ton bloc de glace dans l'eau, note l'heure et prends une photographie.
5. Prends une autre photographie de temps à autre (ton professeur peut de donner des conseils à ce sujet). Essaie de ne pas bouger la caméra ou le bol entre les prises.
6. Note la température de l'eau après avoir pris la dernière photo.
7. Répète les étapes 3 à 6 au moins deux fois en utilisant de l'eau à différentes températures à chaque fois.

Numéro de cycle				
Température initiale de l'eau / °C				
Température finale de l'eau / °C				
Température moyenne de l'eau / °C				

## Analyse des résultats

1. Calcule la température moyenne de l'eau pour chaque cycle de l'expérience.
2. Vérifie que toutes les photographies sont à la même échelle en utilisant un logiciel de traitement de l'image pour vérifier la distance entre tes points de référence ou la taille d'un carré tracé autour de ton bol.  
Si des photos sont trop grandes ou trop petites, redimensionne-les en fonction des autres.
3. Ta prochaine tâche consiste à mesurer la superficie de la glace sur chaque photo.  
Discute des questions ci-dessous avec ton groupe pour déterminer comment procéder.
  - Vas-tu réaliser les mesures à l'écran ou sur des copies imprimées ?
  - La superficie de la glace sur tes images correspond-elle à la superficie réelle de la glace ? Si non, est-ce que c'est un problème ?  
Si c'est un problème, que peux-tu faire pour y remédier ?
  - Dans quelles unités vas-tu réaliser tes mesures ?
  - Quelles mesures vas-tu prendre pour que tes mesures soient aussi précises que possible ?
4. Utilise la méthode choisie pour mesurer la superficie de la glace sur chaque photo.  
Consigne tes résultats dans un tableau adapté et trace-les sur un graphique.

Décris le tracé sur ton graphique en donnant autant de détails que possible.

---



---



---



---

## Discussion

Discute des questions ci-dessous avec ton groupe.

1. En quoi a-t-il été difficile d'obtenir une mesure précise de la superficie de ce modèle ?
2. Les scientifiques qui utilisent des données satellite rencontrent-ils les mêmes problèmes ? Pourquoi ?
3. Existe-t-il d'autres facteurs qui peuvent compliquer la mesure de l'évolution de la superficie de la glace marine dans la vraie vie ?
4. Les satellites qui mesurent la température des océans depuis l'espace consignent la température de la surface. Cela influe-t-il sur la facilité à lier la température des océans à la vitesse à laquelle la glace marine fond ? Pourquoi ?
5. Quels facteurs autres que ceux déjà étudiés (intensité de la lumière, superficie de la glace marine et température des océans) peuvent affecter le rythme de fonte de la glace marine ?
6. Quel effet attends-tu pour chaque facteur ? Pourquoi ?

Si possible, étudie l'une de tes idées. Tu peux créer un modèle mathématique ou physique, ou bien encore effectuer des recherches en ligne.

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

Ouvre l'application Web Climate from Space ([cfs.climate.esa.int](http://cfs.climate.esa.int)).

Clique sur le symbole **Couches de données** (en haut à droite) et sélectionne **Sea Ice Northern Hemisphere**.

Regarde l'animation plusieurs fois pour bien comprendre comment les commandes à l'écran peuvent t'aider à étudier plus spécifiquement des lieux ou des périodes données.

### Années sans glace

Visionne l'animation à vitesse lente, en te concentrant sur la zone illustrée sur la carte.

La ligne rouge indique une route de navigation potentielle appelée le passage du Nord-Ouest.

1. Renseigne le tableau en indiquant les années durant lesquelles le passage du Nord-Ouest était libre de glace, permettant ainsi aux navires de passer.

2. Les informations de ce tableau constituent-elles une preuve du changement climatique ? Explique ta réponse.

---



---



---



---



---



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

### Tendances relatives à la glace marine arctique

Retourne dans l'application Web Climate from Space.

Clique sur le symbole **Couches de données**, navigue dans la liste jusqu'à **Sea Surface Temperature** et clique sur **COMPAREZ**.

3. Au cours de quel mois chaque année la glace marine arctique :

a. recouvre-t-elle la superficie la plus vaste ? \_\_\_\_\_

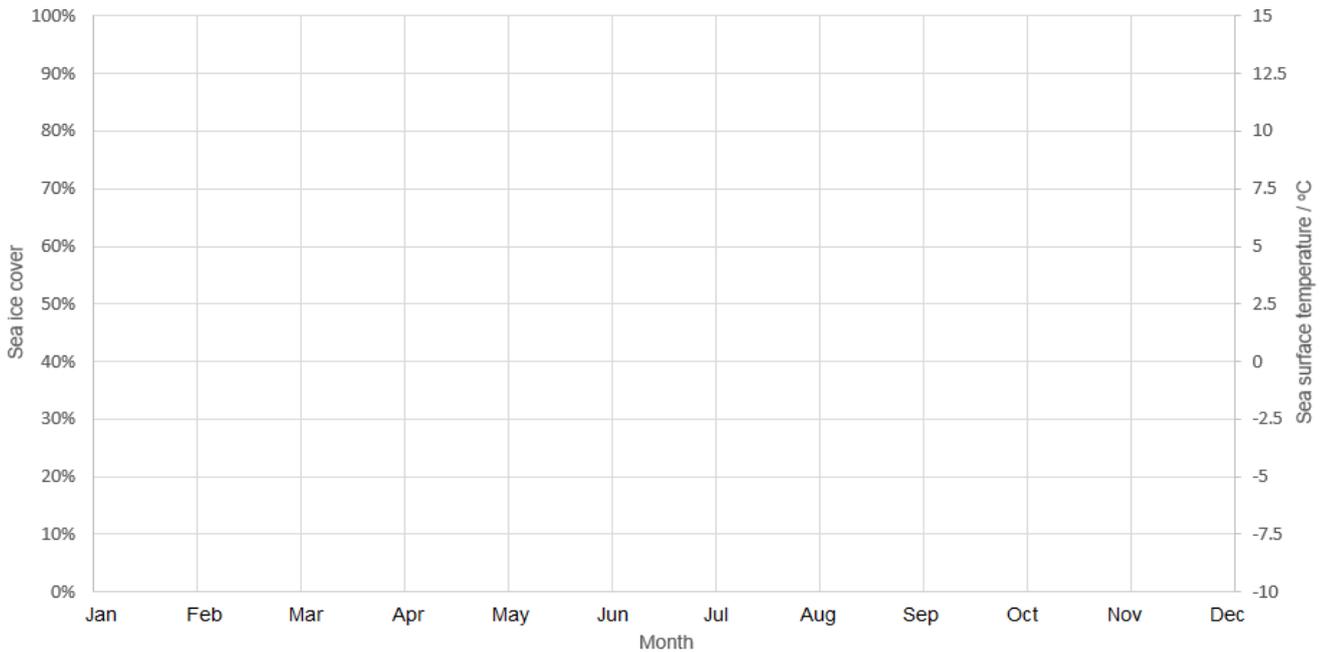
b. recouvre-t-elle la superficie la plus réduite ? \_\_\_\_\_

4. Comment l'étendue de la glace marine est-elle liée à la température de la surface des océans ?

5. Visionne les années 2000 à 2009 un peu plus lentement. Sur les axes ci-dessous :

- a. Trace une ligne bleue représentant l'évolution du pourcentage de l'océan recouvert par la glace marine tout au long d'une année typique de cette décennie.
- b. Trace une ligne rouge représentant l'évolution de la température de la surface des océans tout au long d'une année typique de cette décennie.

Il est inutile de trouver des valeurs précises, contente-toi de montrer la tendance générale. Pour la température de la surface des océans, il peut être judicieux de te concentrer sur une zone en particulier.



KEY:      Sea ice cover 2000s      Sea ice cover 2010s      Sea surface temperature 2010s      Sea surface temperature 2000s

6. À présent, visionne l'animation de 2010 jusqu'à la fin. Ajoute des lignes sur le graphique pour montrer comment l'océan recouvert par la glace marine et la température de la surface des océans ont évolué durant ces années. Utilise deux couleurs différentes et n'oublie pas de les ajouter dans la légende. Les lignes peuvent se superposer si la tendance est la même sur toute l'année ou seulement une partie.

7. Décris les similitudes et les différences pour chaque décennie.

---



---



---

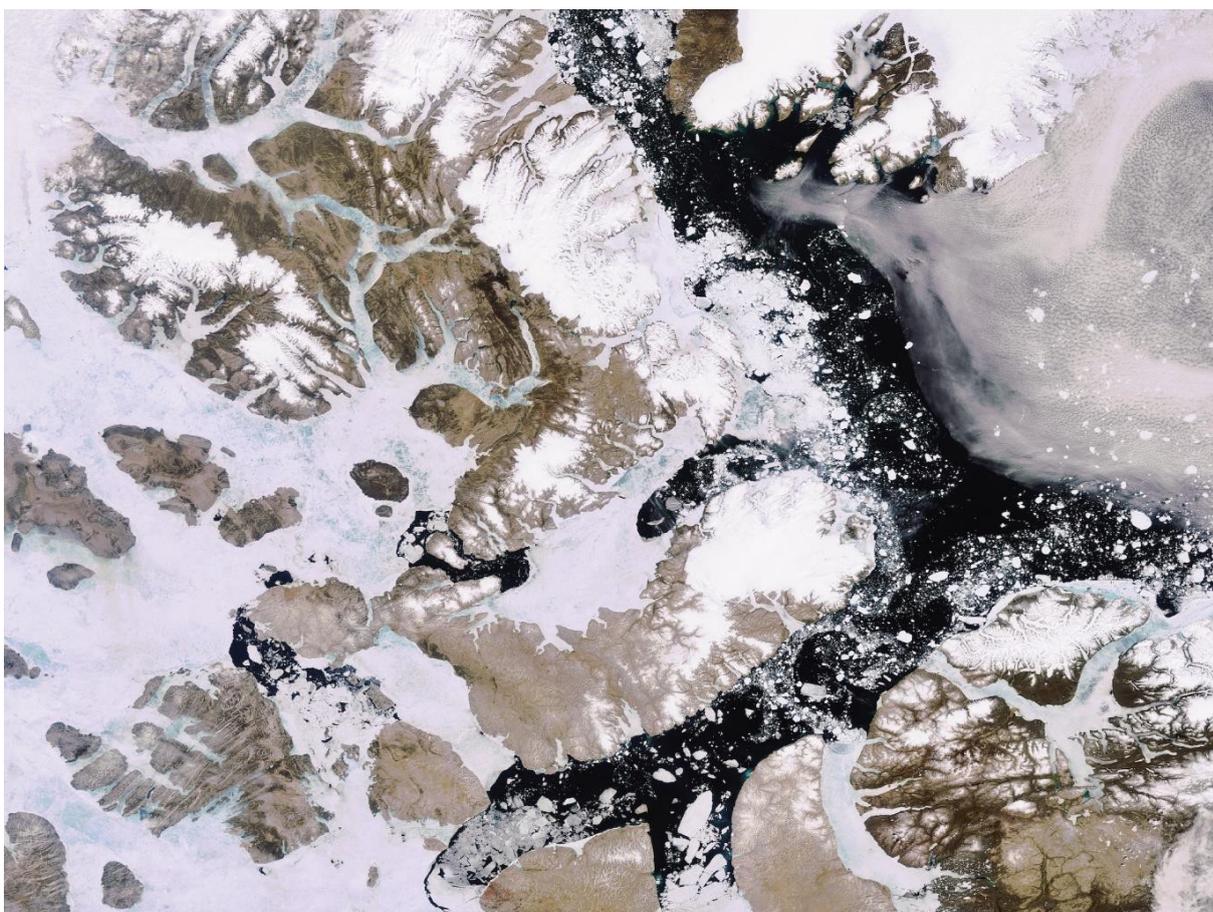
### À discuter

- 8. Quelle est la cause de l'évolution de la superficie de la glace marine :  
 (a) sur une année ?      (b) d'une décennie à l'autre ?
- 9. Comment la tendance pourrait-elle évoluer au cours de la ou des décennies à venir ?

Explique ton raisonnement.

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

Pendant des siècles, les navires voyageant entre l'Europe et l'Asie ont dû contourner les terres et la glace qui séparent ces deux continents. Le passage du Nord-Ouest entre le Canada continental et ses îles arctiques est une route bien plus courte, mais l'histoire des relevés dont nous disposons montre qu'il s'est avéré impénétrable, fermement verrouillé par la mer gelée. La glace en a vaincu plus d'un, y compris la British Royal Navy. En 1845, l'expédition de Sir John Franklin s'est perdue. Les dix-huit expéditions de recherche montées 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 a été le premier à franchir le passage du Nord-Ouest, ce qui lui a pris trois ans à bord d'un petit bateau.



*Image satellite de la glace marine estivale dans l'Arctique.  
Le canal étroit entre le Canada continental et ses îles arctiques est généralement infranchissable.  
Sur cette photo, Lancaster Sound (en bas au centre) est ouvert, mais la glace bloque toujours Parry Channel à l'ouest. (source : ESA)*

Au cours du siècle suivant, seuls quelques autres navires ont entrepris ce voyage, avec l'aide de brise-glace. Simultanément, la glace marine de l'Arctique a commencé à fondre. Les images satellite montrent que le passage s'est ouvert pour la première fois en 2007, ce qui avait été prévu des décennies auparavant par des modèles climatiques. Si l'ouverture du passage du Nord-Ouest peut accélérer le transport des marchandises entre l'Asie et l'Europe, c'est un phénomène très inquiétant pour l'Arctique et pour notre planète dans son ensemble.

## Amplification arctique

La route s'est ouverte 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 globale.

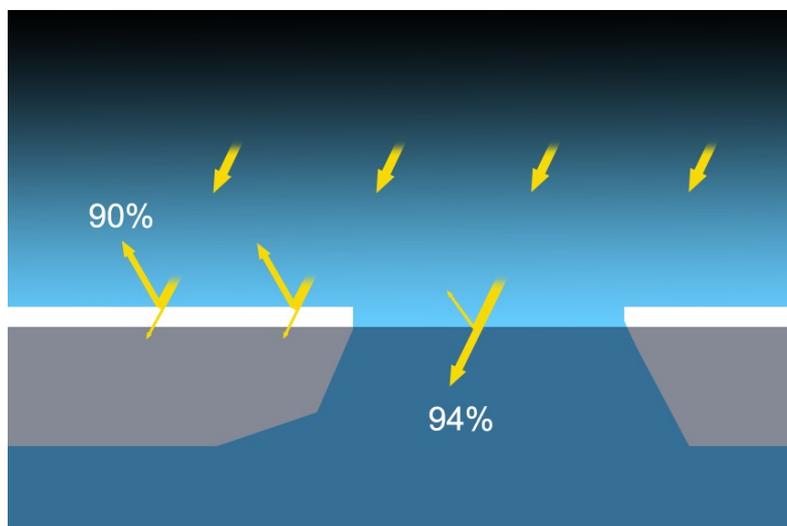
Pourquoi ? La glace blanche réfléchit une grande quantité de la lumière du Soleil, tout comme les vêtements de couleur claire que de nombreuses personnes préfèrent porter l'été. Lorsque la glace marine fond, l'eau des océans est exposée. L'eau sombre absorbe une grande partie de la lumière du Soleil qui l'atteint, de sorte qu'elle se réchauffe. L'eau plus chaude fait fondre plus de glace marine, exposant une plus grande partie de l'océan qui absorbe la

lumière du Soleil et accélérant ainsi la fonte de la glace. C'est ce que l'on appelle l'amplification

arctique, qui est un exemple de boucle de rétroaction positive.

Au cours des dernières années, les océans plus chauds ont réduit la superficie de l'océan Arctique qui gèle chaque hiver. Et l'amplification arctique accélère cette évolution.

L'utilisation du passage du Nord-Ouest en tant que route de navigation pourrait encore aggraver la situation. Les gaz d'échappement des navires émettraient en effet de la suie et des polluants chimiques dans l'air au-dessus de l'Arctique. Lorsque la suie retombe sur la glace marine, elle assombrit la surface, de sorte que la glace absorbe plus de lumière du Soleil et fond encore plus rapidement.



*La glace réfléchit près de 90 % du rayonnement solaire, alors que la haute mer en absorbe près de 94 % (source : ESA)*

## La glace marine et le climat

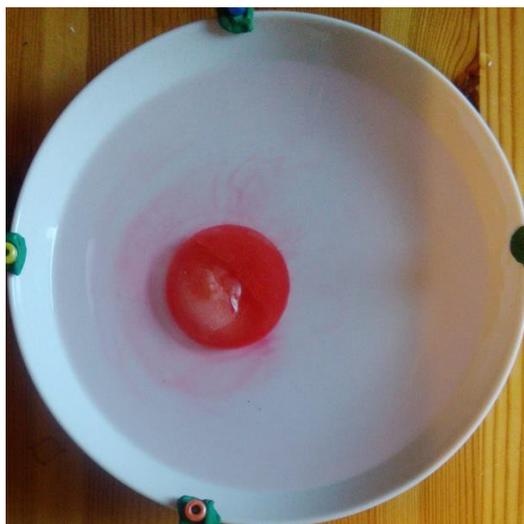
La glace marine conserve la chaleur de l'eau en-dessous, tout comme les igloos assurent une isolation qui protège les Inuits du froid. À mesure que la glace fond, la couche isolante disparaît et la chaleur de l'océan se dissipe dans l'atmosphère au-dessus. La glace fondue est constituée d'eau douce qui se dilue dans l'océan qui l'entoure, ce qui affecte les schémas de circulation en partie générés par les écarts de densité de l'eau de mer. (L'eau de mer salée est plus dense que l'eau douce.) Ainsi, les effets de la fonte de la glace marine sur l'atmosphère et les océans sont complexes.

La glace marine n'illustre pas simplement comment le climat de la Terre évolue, elle joue aussi un rôle crucial dans la régulation du climat. Les facteurs de ce type que l'on peut suivre de manière fiable sont appelés des variables climatiques essentielles (VCE). Pour surveiller les VCE, les scientifiques utilisent notamment des satellites. Les radars sur certains satellites peuvent « voir à travers » les nuages pour mesurer l'étendue et l'épaisseur de la glace marine. 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 : FONTE DE LA GLACE – Eau chaude



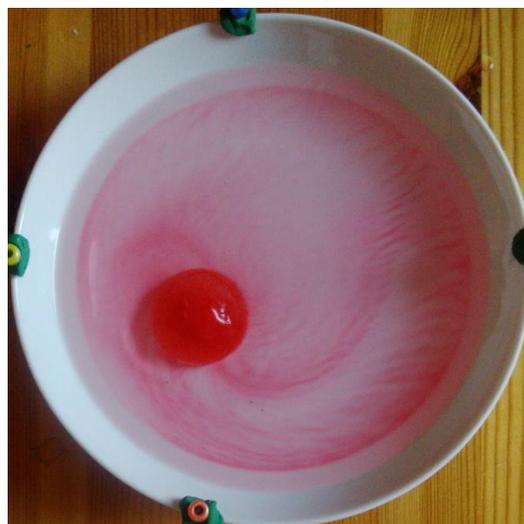
0 minute



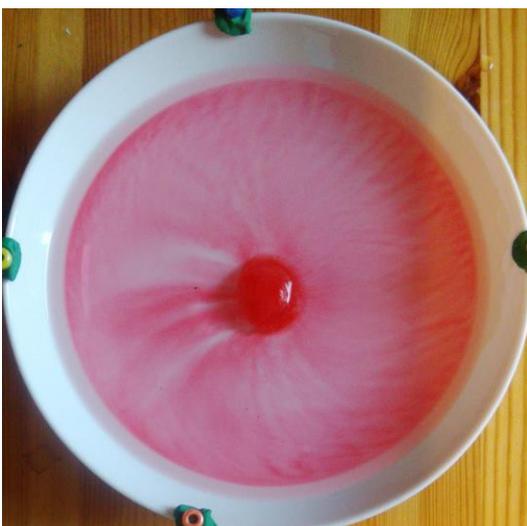
1 minute



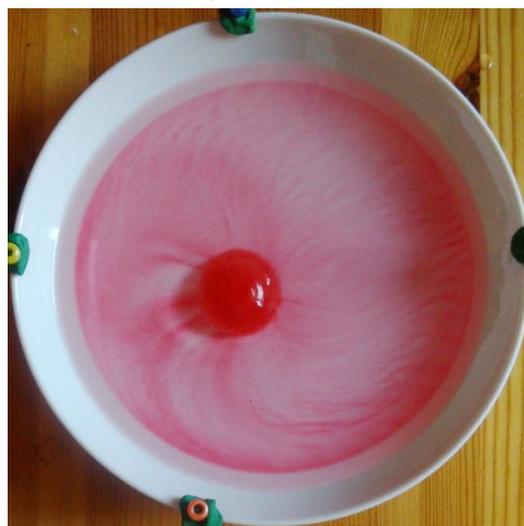
2 minutes



3 minutes



4 minutes



5 minutes

(source : ESA)

## Fiche d'information n° 2.2 : FONTE DE LA GLACE – Eau fraîche



0 minute



5 minutes



10 minutes



17 minutes



24 minutes



28 minutes

(source : ESA)

## Fiche d'information n° 2.3 : FONTE DE LA GLACE – Eau froide



0 minute



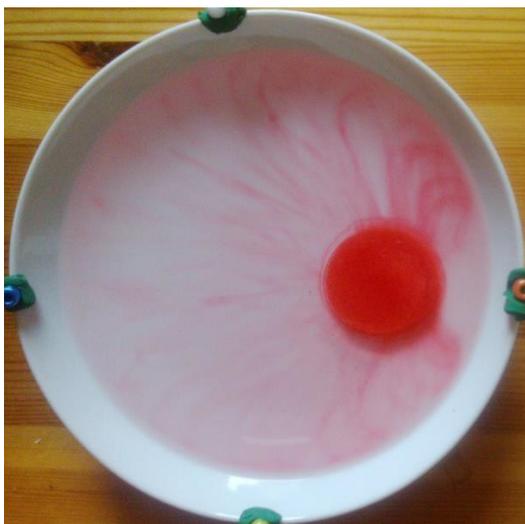
6 minutes



13 minutes



20 minutes



26 minutes



30 minutes

(source : ESA)

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



(source : Encyclopædia Britannica, Inc.)

## Liens

### Ressources de l'ESA

Application Web Climate from Space (ressource en ligne) <https://cfs.climate.esa.int>

Climat pour les écoles <https://climate.esa.int/fr/educate/climate-for-schools/>

Teach with space [http://www.esa.int/Education/Teachers\\_Corner/Teach\\_with\\_space3](http://www.esa.int/Education/Teachers_Corner/Teach_with_space3)

Sea ice from space [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/en/>

Space for our climate

[http://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Space\\_for\\_our\\_climate](http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate)

Missions d'observation de la Terre de l'ESA

[www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/ESA\\_for\\_Earth](http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/ESA_for_Earth)

Earth Explorers

[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)

Copernicus Sentinels

[https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Overview4](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

Greenland and Antarctica losing ice six times faster than expected

[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 depuis l'espace

[http://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Sets/Earth\\_from\\_Space\\_programme](http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Sets/Earth_from_Space_programme)

ESA Kids [https://www.esa.int/kids/en/learn/Earth/Climate\\_change/Climate\\_change](https://www.esa.int/kids/en/learn/Earth/Climate_change/Climate_change)

CNES <https://enseignants-mediateurs.cnes.fr>

ESERO France [esero.fr](http://esero.fr)

SCO France <https://www.spaceclimateobservatory.org/fr/sco-france>

## Annexe : LE SAVIEZ-VOUS ?

Voici une sélection de faits intéressants en lien avec le thème et que vous pouvez utiliser de différentes manières. Vous pouvez présenter un cours en utilisant l'un d'eux, créer des cartes pour compléter les visuels des élèves pour présenter leur travail, choisir un point pour lancer une discussion, utiliser les affirmations pour un quiz de type vrai/faux, etc.

- Le passage du Nord-Ouest est environ 1900 km plus court que la route via le canal de Panama.
- La neige fraîchement tombée peut avoir un albédo jusqu'à 0,90. Cette valeur diminue lorsque 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 en glace marine peut être mesurée par des satellites qui détectent le rayonnement hyperfréquence.
- Une flotte de satellites micro-ondes capables de mesurer la concentration en glace marine est opérationnelle depuis plus de quatre décennies.
- De nombreux satellites d'observation de la Terre ont des orbites telles qu'ils ne peuvent pas prendre de mesures directement au-dessus des pôles Nord ou Sud, même s'ils peuvent « voir » le reste de la Terre.