

France



Dossier pédagogique

Impacts du changement climatique sur la biodiversité marine

ESERO is an education project of the European Space Agency (ESA) co-funded by ESA and by national partners active in the fields of education and space.

<https://esero.fr>

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

www.esa.int/Education



Copyright @ESERO France, CNES, ESA – 2022

Impacts du changement climatique sur la biodiversité marine

Ce dossier propose une investigation en classe pour aborder les impacts du changement climatique sur la biodiversité marine à partir de l'étude de deux maillons essentiels des réseaux trophiques : le phytoplancton (changement en qualité et quantité) et d'une espèce particulièrement concernée par l'accès à la ressource marine : l'ours polaire.

Relations avec les programmes scolaires de cycle 4

Les notions abordées sont en relation avec les programmes de Cycle 4, notamment en :

- Sciences de la Vie et de la Terre : *Expliquer comment une activité humaine peut modifier des écosystèmes en lien avec quelques questions environnementales globales. Les grandes zones climatiques de la Terre et la répartition des faunes et des flores. Conséquences des changements climatiques sur la répartition des êtres vivants. (...) Influence du milieu sur la dynamique des populations, mise en évidence des faits d'évolution des espèces (...).*
- Physique/Chimie : *impact du réchauffement climatique sur les glaciers et la banquise.*
- Histoire et géographie : *L'environnement, un enjeu mondial ; Mer et Océans, effets régionaux et mondiaux du changement climatique.*

Elles peuvent également s'inscrire en interdisciplinarité dans des thèmes transversaux tels que : « Transition écologique et développement durable », sujets « Mers et océans » ou « Biodiversité ».

Démarche d'investigation

L'approche pédagogique proposée place les élèves en situation de recherche et permet d'exploiter des documents scientifiques, en mobilisant particulièrement les compétences :

- Raisonner en identifiant des causes et des effets, distinguer effet possible et effet prouvé
- Mener une investigation, proposer une ou des hypothèses
- Analyser et exploiter des documents, mettre en relation des informations, relier des données

Fiches pédagogiques

Ce dossier est composé de 3 fiches qui présentent chacune une démarche pédagogique avec une fiche élève photocopiable pour la trace écrite des élèves. La fiche 1 aborde la conséquence globale du réchauffement sur les premiers maillons des réseaux trophiques océaniques (phytoplancton). Les fiches 2 et 3 montrent une conséquence plus locale du réchauffement climatique sur l'environnement et la biodiversité, avec l'exemple de l'Arctique et des ours polaires. Ces deux fiches sont complémentaires et peuvent être traitées à la suite l'une de l'autre.

Fiche 1 : Conséquences du réchauffement climatique sur le phytoplancton

Fiche 2 : Banquise et ours polaires suivis par satellite

Fiche 3 : Conséquences du réchauffement climatique sur les ours polaires

En fin de dossier, un « *En savoir plus* » fournit des informations complémentaires qui pourront enrichir et prolonger en classe les connaissances sur les notions abordées.

Fiche 1

« Conséquences du réchauffement climatique sur le phytoplancton »

Cette fiche aborde l'impact du réchauffement climatique sur la vie océanique en relation avec les modifications possibles de développement du phytoplancton. L'exploitation de documents issus de la recherche (photos, cartes satellites, résultats expérimentaux) fait appel particulièrement aux compétences d'observations, *analyse de documents* et *raisonnement*.

Introduction : On mobilisera tout d'abord les connaissances des élèves sur l'organisation des chaînes alimentaires terrestres, en insistant sur les premiers maillons, les végétaux, producteurs primaires. La photosynthèse chlorophyllienne sera rappelée. En milieu marin, les algues macroscopiques seront citées comme base des chaînes alimentaires. Leur absence en dehors des zones côtières permettra d'envisager l'existence de végétaux microscopiques.

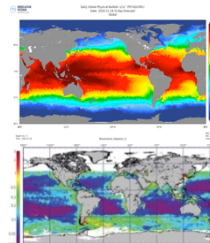
⇒ **Observations et trace écrite :** La découverte du phytoplancton marin se fera à partir de photos (voir annexe A) ou d'observations au microscope optique ou à la loupe binoculaire, si une culture peut être réalisée en classe. La trace écrite 1 de la fiche élève transpose les rappels introductifs, en intégrant le phytoplancton : en a) fonctionnement photosynthétique, en b) les maillons d'une chaîne alimentaire.

On se demandera alors si le changement climatique, provoquant des variations de la température de l'eau (Cf. dossier ESERO « Impacts du changement climatique sur l'océan ») pourrait avoir des conséquences sur le phytoplancton, base des écosystèmes marins.

⇒ **Analyse de résultats expérimentaux :** L'influence de la T° sur la croissance du phytoplancton sera étudiée à partir des résultats expérimentaux exposés sur la fiche élève au point 2 : le tracé du graphique du *taux de croissance de Micromonas* = $f(T^{\circ})$ montrera une courbe en cloche asymétrique et permettra d'identifier les températures T_{min} , T_{max} et T_{opt} . T_{min} et T_{max} délimitent la niche thermique, c'est-à-dire la gamme de température où la croissance est possible. La T° de l'eau influence ainsi le développement du phytoplancton.

⇒ **Exploitation de documents :** Les cartes satellites proposées en annexe B analysées avec les élèves mettront en évidence :

- les variations de la T° de l'eau selon la latitude,
- une répartition mondiale inégale du phytoplancton :
 - quantité moyenne à élevée dans les hautes latitudes,
 - quantité faible au niveau intertropical, à l'exception des bordures continentales.



Cf. annexe B :

Carte de la température de l'eau

Concentration en chlorophylle a :
« couleur de l'eau »

Ces analyses permettent de répondre aux questions posées au point 3 de la fiche élève : *Micromonas* se développant dans des eaux chaudes, il existe d'autres espèces aux pôles. Suivant la latitude, il existe ainsi une répartition d'espèces différentes de phytoplancton, les niches thermiques étant propres à chaque espèce. Le développement du phytoplancton n'est pas dépendant que de la température de l'eau : en bordure continentale, sa croissance est liée par exemple à la présence d'éléments nutritifs : Si, Fe,... (La luminosité, qui dépend des saisons, est également un facteur important).

N.B : Une réalisation expérimentale en classe permettra de tester et mettre en évidence l'influence de la température, la quantité de lumière ou de sels minéraux sur la croissance du phytoplancton.

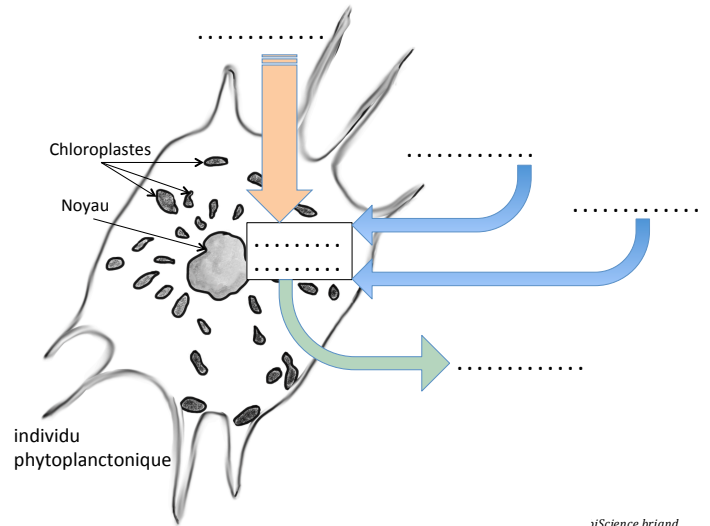
Synthèse : La question 4 conduit à formuler que le changement climatique peut avoir un impact sur les écosystèmes marins : la modification du milieu (température, sels minéraux) modifie la croissance et la répartition du phytoplancton et donc les réseaux trophiques qui dépendent des espèces de phytoplancton présentes (et de facteurs biotiques tels que prédation, compétition).

Les fiches 2 et 3 illustrent et approfondissent les modifications engendrées en bout de chaîne alimentaire par le réchauffement climatique avec l'exemple des ours polaires.

1→ La photosynthèse des végétaux permet le développement des chaînes alimentaires.

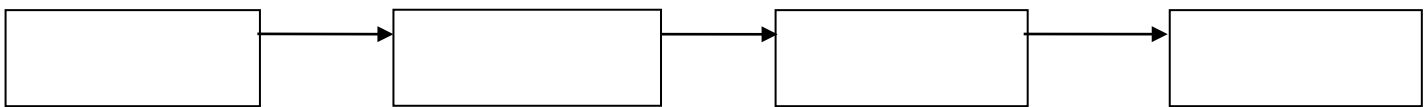
a- Complétez la légende du schéma ci-contre par: *Oxygène (O₂)*, *Dioxyde de carbone (CO₂)*, *Energie solaire*, *Fonctionnement de la photosynthèse*, *Matière organique*, *Sels minéraux*

b- A partir de vos connaissances, complétez les cadres de la chaîne alimentaire océanique par : *consommateur secondaire*, *consommateur primaire*, *phytoplancton*, *consommateur tertiaire* (La flèche signifie : «...est mangé par...») :



Titre :

Science.briand



Chaîne alimentaire océanique

2→ On réalise des cultures de phytoplancton en faisant varier la température de l'eau. Des comptages cellulaires et des mesures de l'activité photosynthétique permettent de mesurer le taux de croissance du phytoplancton.

- A l'aide des résultats expérimentaux obtenus, tracez le graphique du taux de croissance du phytoplancton « *Micromonas* » en fonction de la température de l'eau.

Mesure du taux de croissance de *Micromonas* selon la température de l'eau.

T° de l'eau (°C)	Taux de croissance
0	0
5	1
10	2
15	6
24	9
27	7
30	0

- A partir de la courbe obtenue, repérez quelle doit être : la température minimale (Tmin) pour la croissance du phytoplancton « *Micromonas* » ; la température maximale (Tmax) au delà de laquelle la croissance est impossible et enfin la température optimale (Topt) à laquelle la croissance est maximale.

Notez les valeurs de ces températures (en °C) : Tmin : Tmax : Topt :

3→ Les satellites permettent d'établir des cartes environnementales.

A partir de l'observation des cartes satellites de la température de l'eau et de la concentration en chlorophylle (qui correspond à la concentration en phytoplancton), indiquez :

a) Dans quelles grandes zones géographiques peut se développer le phytoplancton *Micromonas* ?

.....

b) Comment expliquer la présence de phytoplancton dans les zones polaires ?

.....

c) Comment expliquer les quantités de phytoplancton observées en bordure des continents ?

.....

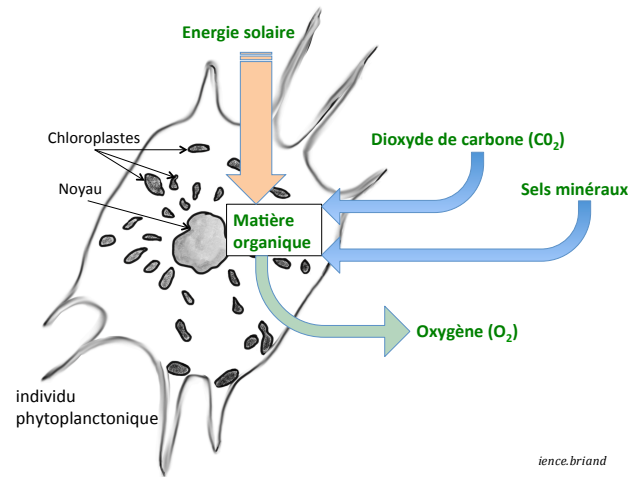
4→ Le réchauffement climatique modifiant la température de l'eau et la circulation océanique générale, quel peut être son impact sur les écosystèmes marins ?

.....

Fiche élève : corrigé Conséquences du réchauffement climatique sur le phytoplancton

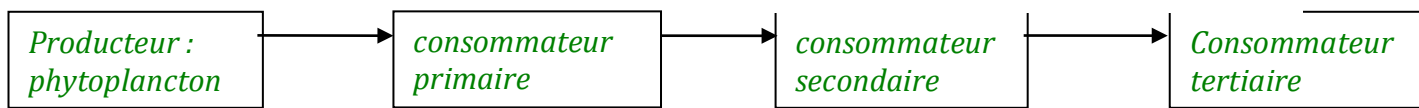
1 → La photosynthèse des végétaux permet le développement des chaînes alimentaires.

a- Complétez la légende du schéma ci-contre par : *Oxygène (O₂)*, *Dioxyde de carbone (CO₂)*, *Energie solaire*, *Fonctionnement de la photosynthèse*, *Matière organique*, *Sels minéraux*



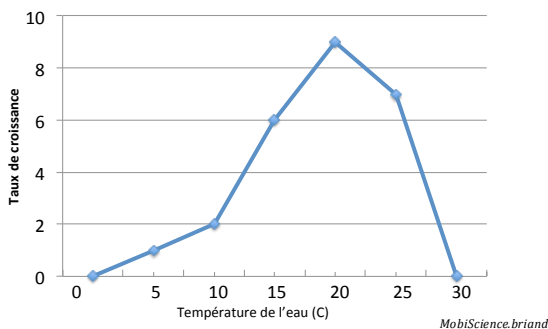
Titre : **Fonctionnement de la photosynthèse**

b- A partir de vos connaissances, complétez les cadres de la chaîne alimentaire océanique par : *consommateur secondaire*, *consommateur primaire*, *phytoplancton*, *consommateur tertiaire* (La flèche signifie : «...est mangé par...») :



Chaîne alimentaire océanique

2 → Graphique du taux de croissance du phytoplancton « Micromonas » en fonction de la température de l'eau :



T° de l'eau (°C)	Taux de croissance
0	0
5	1
10	2
15	6
24	9
27	7
30	0

Mesure du taux de croissance de Micromonas selon la température de l'eau.

- A partir de la courbe obtenue, repérez quelle doit être la température minimale (Tmin) pour la croissance du phytoplancton « Micromonas » ; la température maximale (Tmax) au delà de laquelle la croissance est impossible et la température optimale (Topt) à laquelle la croissance est maximale.

Notez les valeurs de ces températures (en °C) : Tmin : **.5**. Tmax : **.27**. Topt : **.24**.

3 → Les satellites permettent d'établir des cartes environnementales.

A partir de l'observation des cartes satellites de la température de l'eau et de la concentration en chlorophylle (qui correspond à la concentration en phytoplancton), indiquez :

a) Dans quelles grandes zones géographiques peut se développer le phytoplancton Micromonas ? **Il peut se développer dans les latitudes comprises entre -30° et 30°. (eaux entre 15 et 27 °C)**

b) Comment expliquer la présence de phytoplancton dans les zones polaires ?

D'autres espèces de phytoplancton que Micromonas se développent dans les eaux froides polaires.

c) Comment expliquer les quantités de phytoplancton observées en bordure des continents ?

En bordure continentale, l'apport de sels nutritifs par les fleuves ou les remontées d'eaux froides constitue un véritable « engrais » pour le phytoplancton qui se développe.

4 → Le réchauffement climatique modifie la T° de l'eau et la circulation océanique générale. Quel pourrait être son impact sur les écosystèmes marins ?

En modifiant le milieu océanique, le réchauffement peut modifier la croissance et la répartition du phytoplancton, base des réseaux trophiques, et donc modifier les écosystèmes marins.

Fiche 2

« Banquise et ours polaires suivis par satellite »

Cette fiche montre comment les déplacements des ours polaires sont mis en relation avec la formation de la banquise grâce aux satellites. Les technologies du spatial permettent en effet de collecter les positions de balises Argos équipant les ours polaires ainsi que des informations régulières de ces zones impraticables (température, courants, vents,...). Ces données permettent l'élaboration de cartes pour la recherche scientifique comme celles utilisées ici et dont la lecture et l'exploitation fait particulièrement appel aux compétences de *saisie et mise en relation d'informations*.

⇒ **Introduction :** Après quelques rappels géographiques généraux, on proposera de s'intéresser à la baie d'Hudson (Canada) qui fait partie de l'océan arctique et à l'une de ses espèces emblématiques : l'ours polaire (*Ursus maritimus*).



Localisation de la Baie d'Hudson
Pimpin, CC BY-SA 3.0

⇒ **Observations, analyses et trace écrite 1 :** Les satellites permettent d'élaborer des cartes montrant l'épaisseur de glace à la surface de l'océan Arctique. L'échelle couleur d'épaisseur de glace permet la lecture des cartes satellites. Les cartes en 1a) de la fiche élève montrent la formation et l'épaississement de la banquise en baie d'Hudson de novembre à mai puis un dégel de mai à juillet. Du mois d'août à octobre, l'eau est libre.

Après avoir noté ces observations en trace écrite 1 a), cette évolution (formation de banquise annuelle, saisonnière) sera expliquée et notée en 1 b).

N.B : On pourra préciser aux élèves que dans l'eau salée, les cristaux de glace ne se forment que lorsque la température passe sous $-1,8^{\circ}\text{C}$ (Les températures nocturnes atteignent $-30/-35^{\circ}\text{C}$ dans la baie) et que la banquise s'épaissit ensuite lentement par-dessous.

Les variations d'épaisseur de la banquise sur la baie pourront faire l'objet d'hypothèses et de recherche à partir d'autres cartes satellites environnementales. En particulier l'épaisseur proche de 5 mètres de banquise au Sud Est de la baie en mai peut être reliée à une accumulation sous l'effet des vents.

⇒ **Observations, analyses et trace écrite 2 :** Les documents du paragraphe 2 de la fiche élève permettent aux élèves de découvrir le suivi des ours par satellite. En complément, on pourra préciser que les scientifiques équipent les ours après leur endormissement et que les balises Argos émettent des signaux plusieurs fois par jour. Ces signaux sont retransmis par les satellites vers les centres de traitements qui calculent la position des balises (et donc des ours) avec une précision de 150 m.

Le trajet annuel de l'ours polaire suivi par balise Argos montre qu'il est à terre d'août à octobre et dans la baie tout le reste de l'année. La mise en relation avec les cartes satellites d'épaisseur de glace montre que l'ours se déplace sur la banquise dès qu'elle est formée. Se nourrissant principalement de phoques annelés, la banquise est en effet son territoire de chasse privilégié. Ces analyses et mises en relation seront notées en trace écrite 2) de la fiche élève.

N.B : Les phoques adultes sont attrapés au niveau de trous dans la banquise lorsqu'ils viennent respirer et les petits sont chassés dans leurs abris recouverts de neige sur la banquise. Cette alimentation énergétique entraîne un important stockage de graisse, jusqu'à 30 cm d'épaisseur sous la peau, et permet aux ours de jeûner les mois où la banquise est fondue.

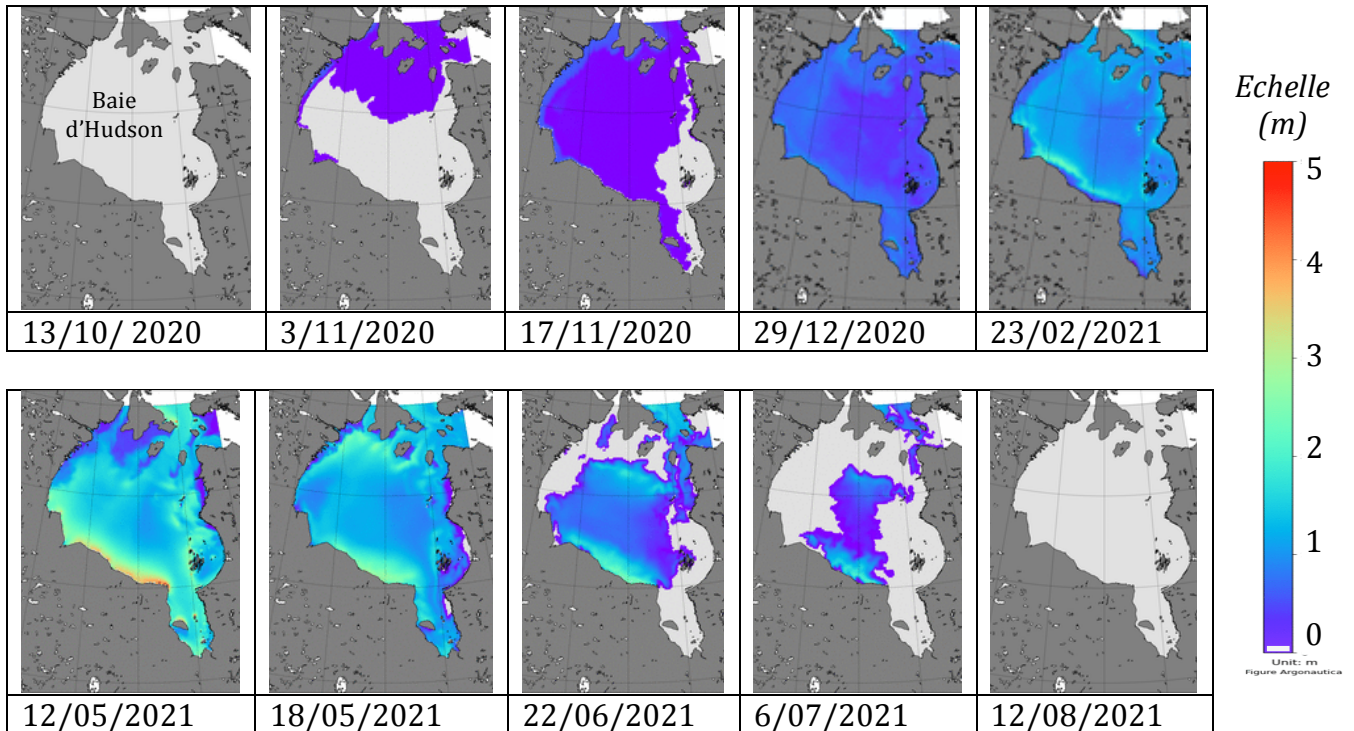
Les satellites montrent ainsi l'occupation de la banquise polaire par les ours polaires au fur et à mesure de sa formation. Chaque automne, les ours polaires se regroupent le long de la côte de la baie d'Hudson dans l'attente que la banquise se forme.

La fiche 3 poursuit cette étude en mettant en évidence l'impact du réchauffement climatique sur la banquise et les ours polaires, grâce au suivi par satellite de la banquise arctique et des ours polaires.

1-Grâce aux satellites, on peut suivre l'évolution de la banquise au cours du temps.

a) A partir des cartes satellites ci-dessous, décrivez la baie d'Hudson au cours du temps.

Cartes satellites d'épaisseur de banquise en baie d'Hudson



.....

.....

.....

.....


b) Comment expliquer cette évolution ?

.....

.....

2- A partir des documents ci-dessous et des cartes satellites précédentes, montrez que l'environnement de banquise est recherché par les ours polaires et expliquez pourquoi.

Collier avec balise Argos pour l'ours polaire



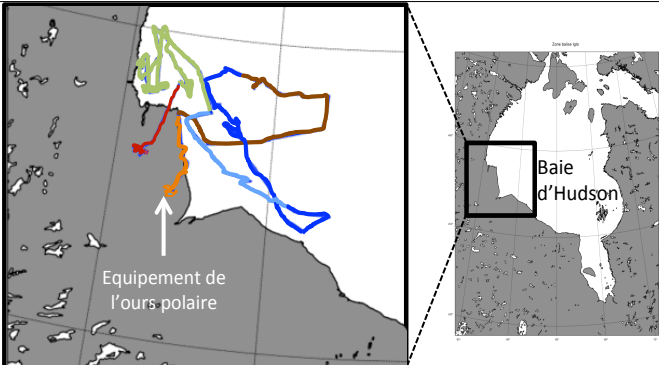
La balise Argos qui équipe l'ours polaire émet des signaux récupérés par satellite qui donnent la position de l'ours.

Les trajets de l'ours sont liés à la chasse des phoques qui viennent respirer en surface de banquise.

Crédit photo : A. Derocher U d'Alberta

Trajet annuel d'un ours polaire équipé de balise Argos

- Octobre
- Novembre / Décembre
- Janvier / février
- Mars
- Avril/mai/juin/juillet
- Aout/septembre/octobre



Equipement de l'ours polaire

.....

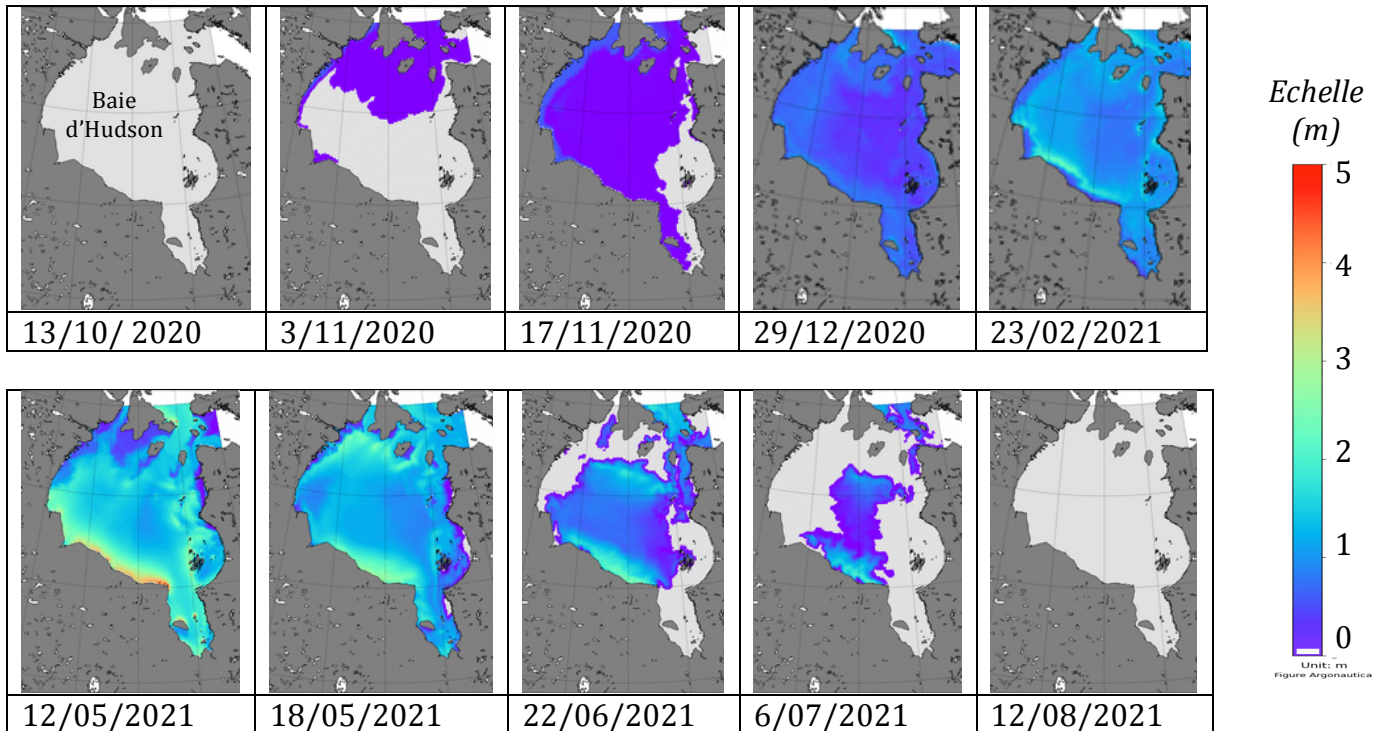
.....

.....

1-Grâce aux satellites, on peut suivre l'évolution de la banquise au cours du temps.

a) A partir des cartes satellites ci-dessous, décrivez la baie d'Hudson au cours du temps.

Cartes satellites d'épaisseur de banquise en baie d'Hudson




Jusqu'en octobre, l'eau est liquide. A partir de novembre, la banquise se forme et s'épaissit. Elle recouvre entièrement la baie de décembre à mai, avec épaisseurs variant de 1 à 5m selon les endroits. En juin elle fond progressivement et est totalement fondue fin juillet. D'aout à octobre, l'eau est libre.

b) Comment expliquer cette évolution ?

L'évolution est liée au climat arctique : un long hiver aux températures très froides (9 mois) avec formation de banquise annuelle et un court été où la banquise est fondue (eau libre).

2- A partir des documents ci-dessous et des cartes satellites précédentes, montrez que l'environnement de banquise est recherché par les ours polaires et expliquez pourquoi.

Collier avec balise Argos pour l'ours polaire

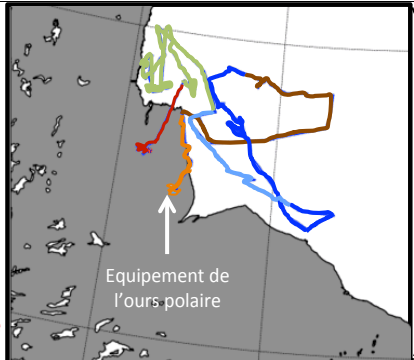


La balise Argos qui équipe l'ours polaire émet des signaux récupérés par satellite qui donnent la position de l'ours. Les trajets de l'ours sont liés à la chasse des phoques qui viennent respirer en surface de banquise.

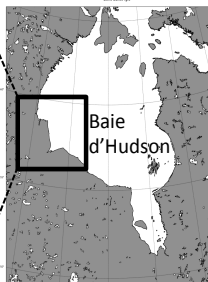
Crédit photo : A. Derocher, U d'Alberta

Trajet annuel d'un ours polaire équipé de balise Argos

- Octobre
- Novembre / Décembre
- Janvier / février
- Mars
- Avril/mai/juin/juillet
- Aout/septembre/octobre



Equipement de l'ours polaire



Dés que la banquise se forme, l'ours quitte la terre pour se déplacer exclusivement sur la glace : cet environnement lui est favorable car c'est son territoire de chasse. Il ne revient à terre qu'à la fonte de la banquise.

Fiche 3

« Conséquences du réchauffement climatique sur les ours polaires »

Cette fiche permet de préciser comment le réchauffement climatique impacte les ours polaires. Après l'observation de l'évolution de la banquise Arctique, l'exemple du suivi par satellite d'ours en mer de Beaufort montre la modification des déplacements des ours polaires avec la diminution de leur espace vital privilégié de banquise. La lecture et l'exploitation de documents scientifiques fait appel particulièrement aux compétences d'*analyse, mises en relation* et *exploitation de documents*.

⇒ **Introduction** : On mobilisera les connaissances des élèves sur la dépendance des ours polaires à la banquise pour la nutrition (Cf fiche 1) et on proposera d'étudier l'impact du réchauffement sur la banquise et les ours polaires mis en évidence grâce aux satellites par les documents de la fiche élève.

⇒ **Lecture et analyse de documents (cartes)** : Dans un premier temps, on s'intéressera à la banquise arctique. Afin de retrouver les titres des cartes satellites fournies au paragraphe 1), les élèves seront amenés à prélever des indices. En correction collective, on pourra préciser la lecture de ces cartes de l'Arctique en vue polaire :

- la carte A montre l'étendue maximale de la banquise (hiver 2020), formée de banquise pérenne (ayant persisté après la fonte estivale) et de banquise annuelle (se rajoutant en hiver).
- la carte B montre la répartition des ours polaires en arctique, sur les bordures continentales terrestres et pourtours océaniques recouverts de banquise.
- la carte C montre l'étendue minimale de banquise restant en été (banquise pérenne). Les mesures satellites montrent que cette banquise a considérablement diminué entre 1990 et 2020. On pourra indiquer que la banquise saisonnière a également diminué de surface, environ de 40% depuis 1980, et rétrécit de plus de 10 % tous les 10 ans. Au long de l'année, il y a davantage de zones d'eau libre.

(PS : le rond gris au milieu des cartes correspond à l'absence de données satellites).

⇒ **Trace écrite** : Après avoir titré les cartes en 1), les élèves seront amenés à les associer aux analyses présentées dans le paragraphe 2) sur les relations entre réchauffement climatique, changements de l'environnement arctique et habitat des ours polaires.

Ces liens seront alors approfondis avec l'étude des ours polaires présentée en 3) sur la fiche élève.

⇒ **Analyse et exploitation de documents** : Afin d'étudier dans quelle mesure le réchauffement climatique affecte les ours polaires, deux cartes présentent le suivi d'ours polaires et de la banquise en mer de Beaufort en 1992/93 et 2009/2010. L'exploitation de ces documents de recherche scientifique, assez complexe, nécessitera de structurer l'analyse :

- en premier on décrira les changements saisonniers observés en mer de Beaufort (banquise annuelle et pérenne) puis on analysera les changements entre 1992/93 et 2009/2010 qui seront reliés au réchauffement climatique.
- en second on décrira les déplacements des ours en 1992/93 puis en 2009/2010, en identifiant les déplacements réalisés en hiver sur la banquise annuelle (en figuré sur la carte, cf. légende) et ceux réalisés sur la banquise minimale pérenne restant en septembre (en blanc sur la carte).
- pour finir, les trajets et territoires occupés par les ours seront alors comparés entre les deux années et mis en relation avec l'évolution de la banquise observée.

⇒ **Trace écrite** : La synthèse notée sur la fiche élève en 3) fait apparaître que les changements de la banquise et l'augmentation des déplacements sur la banquise en direction du nord des ours sont la conséquence du réchauffement climatique.

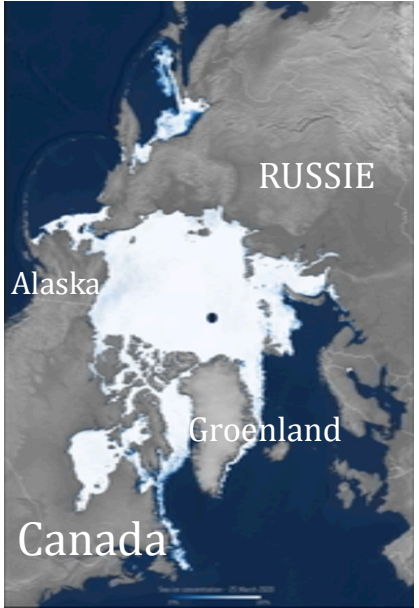
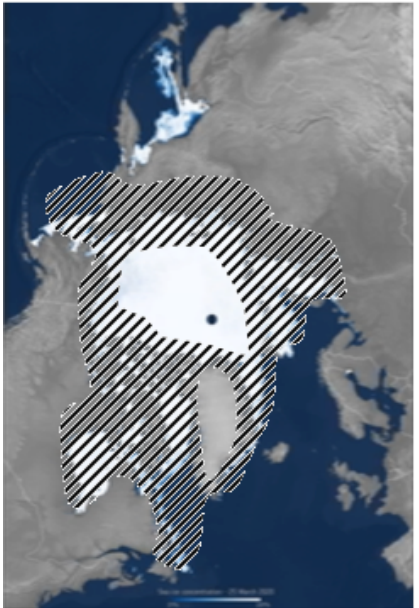
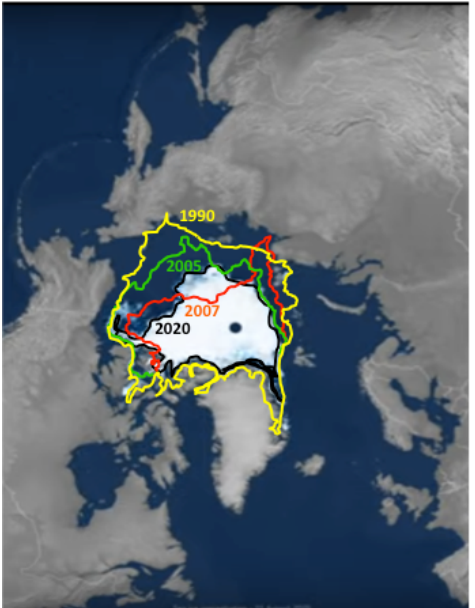
Grâce au suivi par satellite, on observe également que certains ours restent plus longtemps sur la partie terrestre et diversifient leur alimentation (Cf *En savoir plus*). Cette population, impactée directement par le réchauffement climatique, a diminué de 25 % à 50 % au cours de la dernière décennie.

1-Attribuez son titre à chacune des cartes :

Zone d'habitat des ours polaires en Arctique

Etendue de la banquise arctique (Mars 2020)

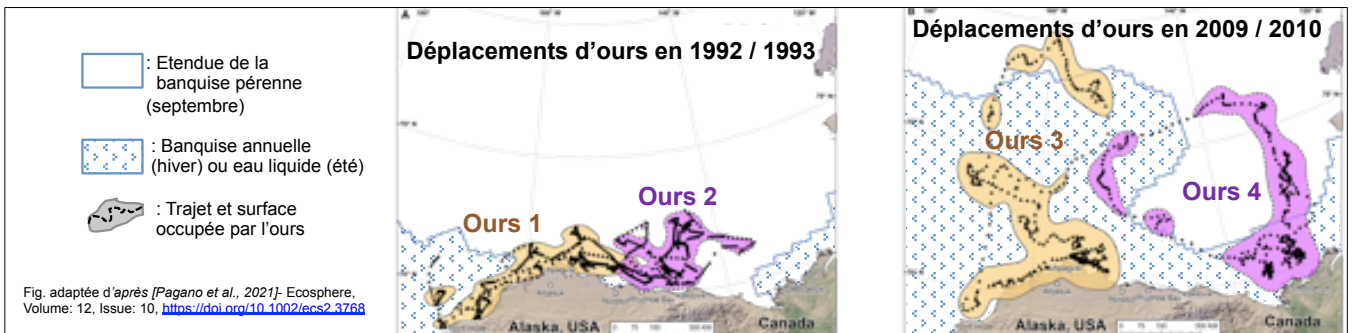
Etendue de la banquise (Septembre de différentes années)

Titre CARTE A :	Titre CARTE B :	Titre CARTE C :
<p>-----</p> <p>-----</p>  <p>D'après NSIDC/processed by ESA</p>	<p>-----</p> <p>-----</p>  <p>D'après Molnár et al.</p>	<p>-----</p> <p>-----</p>  <p>D'après NSIDC/processed by ESA</p>

2- Complétez ce paragraphe en indiquant la carte (A,B ou C) permettant d'illustrer ce qui est écrit :

Les ours polaires occupent un territoire en bordure continentale arctique (Canada, Alaska, Russie, Groenland) (carte : - -). En fin d'hiver, la partie océanique de ce territoire est entièrement recouverte par la banquise (carte : - -). En été, la banquise fond et seule la banquise pérenne reste (carte : - -). Les observations réalisées grâce aux satellites montrent que la fonte de la banquise augmente depuis le siècle dernier (carte : - -) en relation avec le réchauffement climatique. La banquise, territoire de chasse privilégié des ours polaires, est présente moins longtemps près des côtes continentale.

3- Les trajets annuels d'ours polaires en mer de Beaufort ont été étudiés. A l'aide des documents scientifiques ci-dessous, décrivez les changements observés entre 1992/93 et 2009/2010.

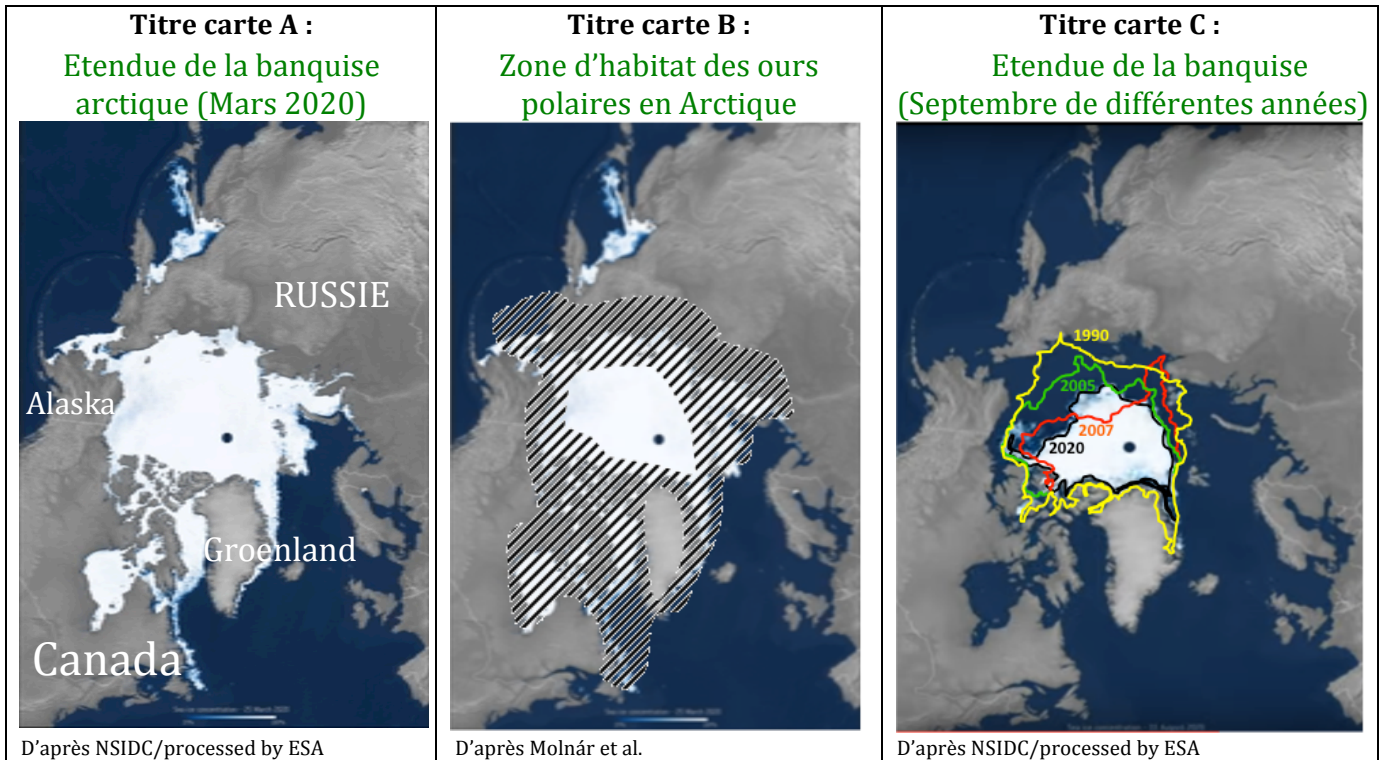


1-Attribuez son titre à chacune des cartes :

Zone d'habitat des ours polaires en Arctique

Etendue de la banquise arctique (Mars 2020)

Etendue de la banquise (Septembre de différentes années)

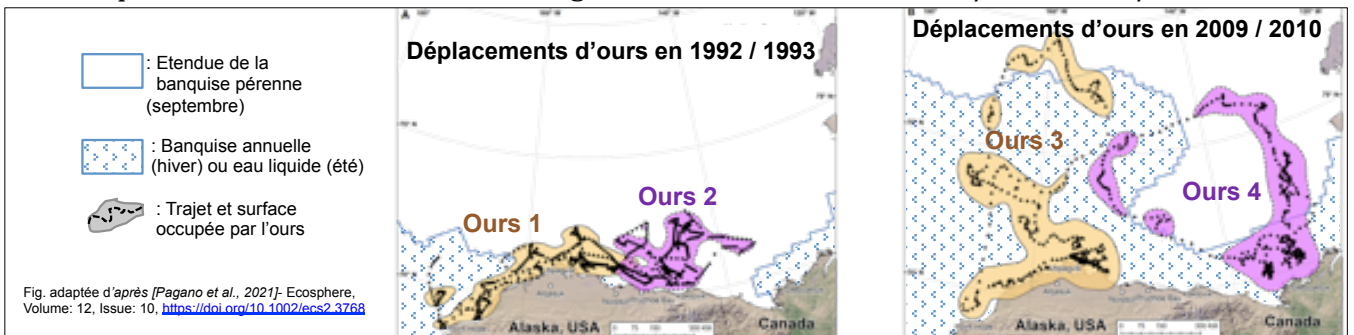


2- Complétez ce paragraphe en indiquant la carte (A,B ou C) permettant d'illustrer ce qui est écrit :

*Les ours polaires occupent un territoire en bordure continentale arctique (Canada, Alaska, Russie, Groenland) (**carte B**). Fin d'hiver, la partie océanique de ce territoire est entièrement recouverte par la banquise (**carte A**). En été, la banquise fond et seule la banquise pérenne reste (**carte C**).*

*Les observations réalisées grâce aux satellites montrent que la fonte de la banquise augmente depuis le siècle dernier (**carte C**) en relation avec le réchauffement climatique. La banquise, territoire de chasse privilégié des ours polaires, est présente moins longtemps près des côtes continentale.*

3- Les trajets annuels d'ours polaires en mer de Beaufort ont été étudiés. A l'aide des documents scientifiques ci-dessous, décrivez les changements observés entre 1992/93 et 2009/2010.



Entre 1992 et 2010, la surface de banquise permanente a diminué (la fonte estivale a augmenté en raison du réchauffement climatique), la surface d'eau liquide (été) ou de banquise (hiver) est plus étendue. Les ours augmentent leurs trajets pour continuer à chasser sur la banquise et se nourrir. Ça entraîne une grande dépense énergétique pour revenir à terre lors de la fonte et menace leur survie.

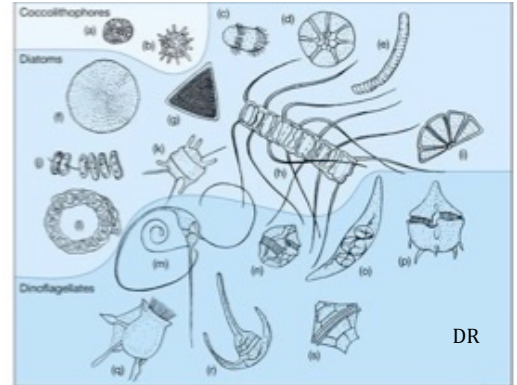
En savoir plus

→ Le phytoplancton

Le plancton (du grec « errant ») désigne l'ensemble des organismes marins qui dérivent suivant les courants sans pouvoir s'y orienter. Il est formé de 2 grands groupes : le plancton animal (zooplancton) et le plancton végétal (phytoplancton) qui représente 98 % de la biomasse des océans.

Les milliers d'espèces différentes du phytoplancton peuvent être classées en groupes, citons :

- les diatomées (algues unicellulaires avec enveloppe de silice) formant 80 % du phytoplancton des eaux froides et tempérées),
- les dinoflagellés aux déplacements tournoyants (dino = toupie en grec) difficiles à classer entre végétaux ou animaux car digérant de la matière organique en plus de réaliser la photosynthèse,
- les algues vertes
- les coccolithophores recouvertes de plaques de calcite
- les cyanobactéries (bactéries photosynthétiques)
- et bien d'autres !



→ Un développement intimement lié aux conditions du milieu

Le phytoplancton se développe dans les eaux de la couche euphotique (de 0 à 200 m de profondeur) où les éléments nécessaires au processus de la photosynthèse sont réunis : eau, énergie solaire, gaz carbonique (dissous dans l'eau) et éléments nutritifs. Les différentes espèces sont sensibles aux conditions du milieu (température, oxygénation, turbidité, pollution,...).

En Arctique, les diatomées se développent ainsi dès la fonte estivale de la banquise, dans les eaux froides, riches en nutriments et bien oxygénées. Ce développement rapide et abondant du phytoplancton (inflorescences, ou « blooms ») est un phénomène qui se produit également en bordure continentale où des courants profonds d'eaux froides chargées de nutriments remontent en surface (« upwellings »).

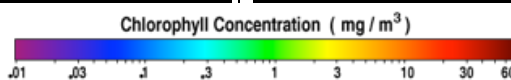
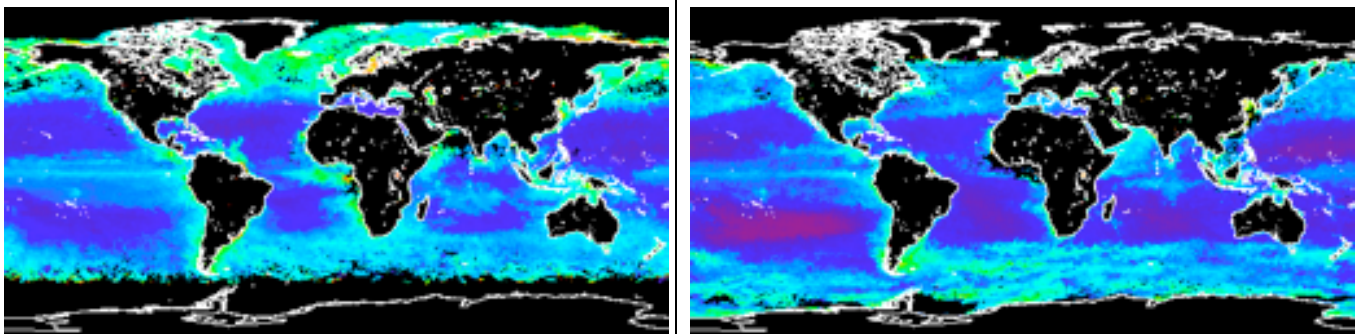
Dans les zones aux saisons marquées, on observe un développement saisonnier du phytoplancton, notamment au niveau des pôles :

Carte satellite de concentration moyenne en chlorophylle-a en été et en hiver

(Chl-a : pigment contenu dans tous les végétaux et permettant la photosynthèse)

Été (juillet 2011)

Hiver (janvier 2011)



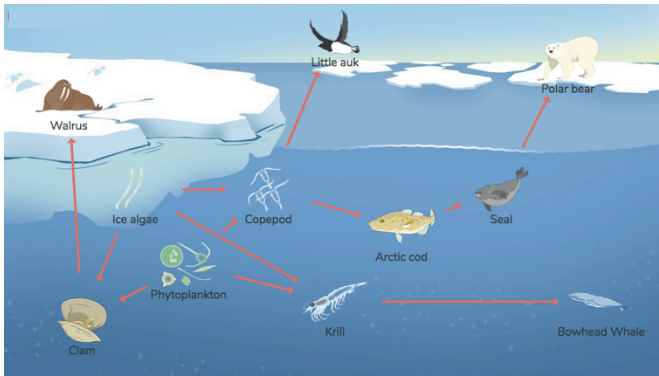
Source : <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>

La dynamique saisonnière en réponse aux facteurs environnementaux, est un facteur clé du fonctionnement des écosystèmes.

→ Base des réseaux trophiques océaniques : sans phytoplancton, pas de vie !

Effectuant le processus de photosynthèse, le phytoplancton se développe et produit de la matière organique, à la base des chaînes alimentaires océaniques. Le phytoplancton est l'aliment de base de petits animaux (zooplancton, coquillages, crustacés), mais aussi de plus gros animaux (requin pèlerin, raie manta, baleine à fanons...) et indirectement des prédateurs situés plus haut dans les réseaux trophiques, tels les ours polaires !

Les espèces phytoplanctoniques sont différentes selon les paramètres du milieu et entraînent le développement de réseaux trophiques variables.



Exemple de réseau trophique en Arctique

Source : https://www.oceglobal/animations/foodwebs-final/Foodweb_Arctic/foodweb.html

En Arctique, les espèces du phytoplancton sont riches en lipides et servent de nourriture à de grands copépodes, au krill, ... et permettent aux espèces des niveaux supérieurs de stocker de l'énergie et de se protéger du froid.

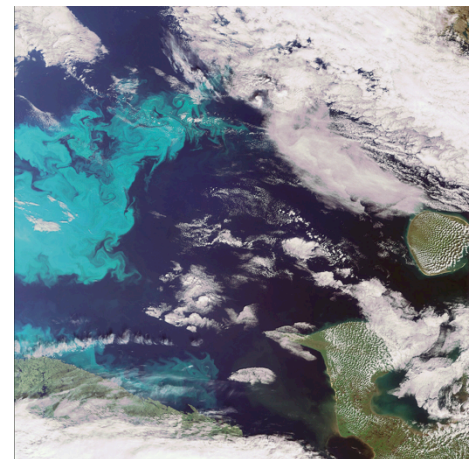
Dans les eaux plus chaudes et/ou pauvres en éléments minéraux, les espèces planctoniques sont plus nombreuses, mais plus petites et moins riches en lipides.

→ Impact du réchauffement climatique sur le phytoplancton et la biodiversité arctiques

Modifiant les conditions environnementales, le réchauffement climatique entraîne des changements écologiques importants. Si certaines espèces marines peuvent s'adapter en gagnant des zones plus froides (comme la morue arctique par exemple) ou sont moins sensibles au changement (cas du maquereau, du capelan, de la morue atlantique), d'autres voient leurs populations décliner.

En Arctique, la surface de banquise saisonnière augmente (et la banquise pérenne diminue). Des blooms printaniers de phytoplancton pourraient se généraliser dès 2030 et favoriser un accroissement de la production primaire. Le transfert plus important d'énergie vers les niveaux trophiques supérieurs pourrait alors entraîner le développement d'un écosystème plus productif. Cependant ces évolutions sont très incertaines : de nombreux processus physiques, chimiques et biologiques sont impliqués.

Actuellement, on observe ainsi des efflorescences de phytoplancton plus tôt au printemps mais on constate également le développement d'espèces plus petites et moins énergétiques... Un remplacement de la communauté arctique actuelle pourrait affecter tous les maillons des chaînes alimentaires, notamment les espèces qui ont besoin d'une alimentation très énergétique (ours polaires, morues arctiques, capelans, phoques, manchots, espèces migratrices : oiseaux, baleines...).



Bloom arctique observé par le satellite Envisat

La chlorophylle du phytoplancton est détectée grâce à la caméra MERIS (*Medium Resolution Imaging Spectrometer*).

ESA, CC BY-SA 3.0 IGO

→ Evolution du phytoplancton : suivi par satellite et modélisations

Le phytoplancton est actuellement très étudié, à la fois par des prélèvements in situ, mais également grâce aux mesures de l'énergie lumineuse dans différentes longueurs d'onde, émises par la surface de l'eau et détectées par les satellites. Ainsi, les eaux riches en plancton émettront davantage d'énergie dans la partie verte du spectre solaire que dans la partie bleue. L'étude de

cette lumière émise, permet de déduire la concentration en chlorophylle-a mais aussi d'autres informations comme le type de phytoplancton, en analysant des paramètres complémentaires (anomalies de diffusion de la lumière, d'absorption etc. qui sont différents selon la forme et la taille des cellules de phytoplancton).

Si les variabilités interannuelles ou décennales naturelles du phytoplancton global se révèlent trop importantes pour permettre d'identifier des modifications liées au changement climatique sur le court terme, certaines communautés phytoplanctoniques, qui se modifient et se réorganisent en fonction des zones, saisons ou événements climatiques (El Niño...), montrent une structure de plus en plus instable. Ces changements d'équilibre dans la structure des communautés phytoplanctoniques sont reliés au changement climatique : 21% de l'océan montrerait un signal d'instabilité assez fiable.

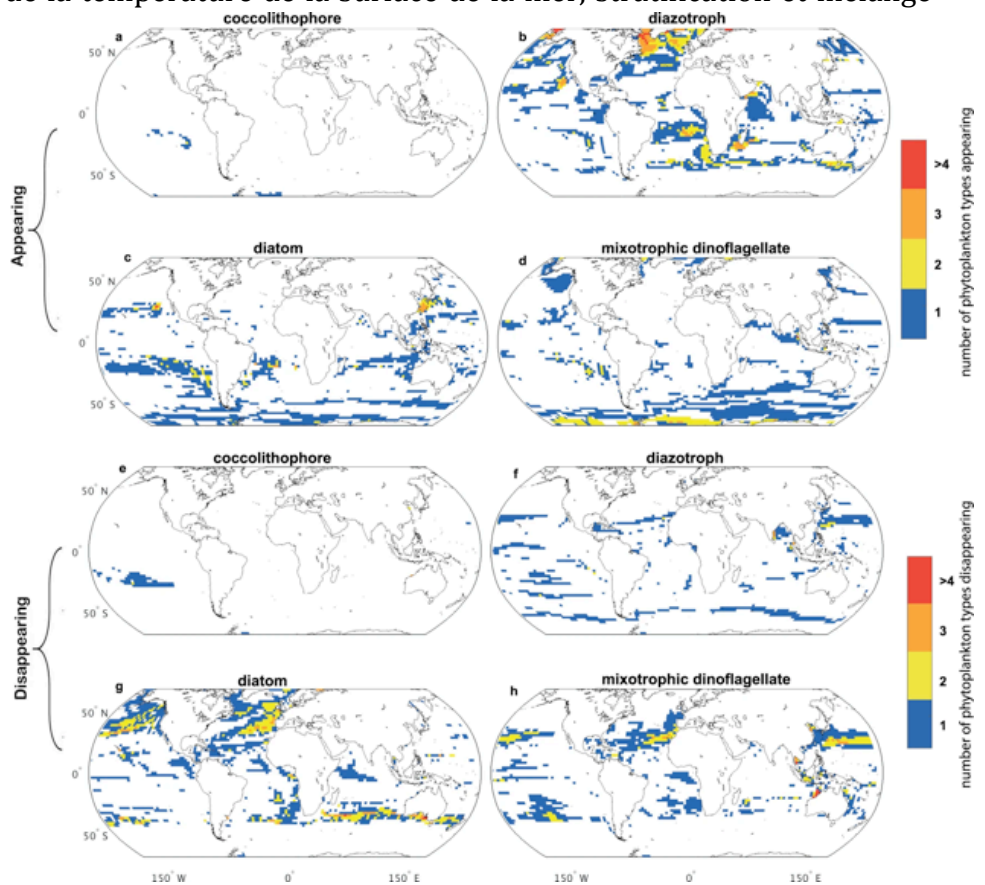
Deux groupes de phytoplancton « fonctionnels biogéochimiques », aux impacts variés sur la biochimie de l'eau sont particulièrement étudiés : le phytoplancton de grosse taille (diatomées,...), très sensible à la diminution de la teneur en éléments nutritifs de l'eau et celui de plus petite taille, avec de possibles impacts sur les niveaux trophiques supérieurs.

Des modélisations numériques sont développées pour prévoir l'évolution de types de phytoplancton. Cependant les nombreux facteurs influençant le développement du phytoplancton (modifications de la température de la surface de la mer, stratification et mélange des eaux, interactions, feedbacks (rétroactions), variété des espèces...) restent très complexes à intégrer dans les modèles et donc à reproduire.

Une modélisation de l'évolution des groupes fonctionnels de phytoplancton.

Nombre de types de phytoplancton apparaissant (a-d) et disparaissant (e-h) entre 2005/2024 et 2081/2100 pour les groupes de coccolithophores, diazotrophes, diatomées et dinoflagellés mixotrophes.

CC 4.0
<https://www.researchgate.net/journal/Nature-Communications-2041-1723>



→ Suivi par satellite de l'évolution de la banquise Arctique

Si le climat de notre planète a connu de grandes variations naturelles de températures au cours des temps (périodes glaciaires et périodes interglaciaires), le réchauffement climatique actuel est beaucoup plus rapide et en relation avec l'activité humaine. Il provoque une fonte des glaces arctiques (glaciers, icebergs, banquise...) observable avec une vue globale et sur la durée grâce aux satellites.

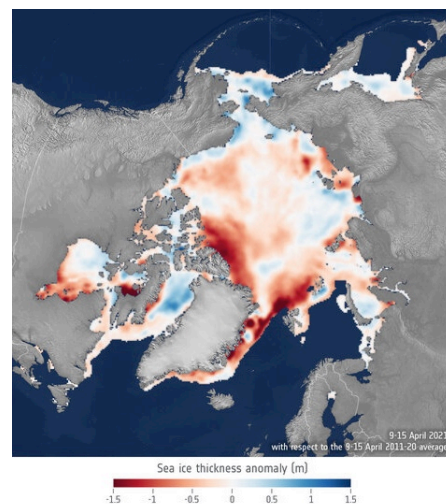
Satellite CryoSat (crédits: ESA/AOES)

Mesurant surface et épaisseur, Cryosat permet le calcul précis du volume des glaces terrestres et la banquise.



La banquise se formant en hiver (dès que la température de l'eau salée diminue à $-1,8^{\circ}\text{C}$) disparaît en été (banquise annuelle) ou persiste après la fonte estivale et épaisit (banquise pluriannuelle). En lien avec le réchauffement climatique, on observe une diminution importante de l'épaisseur de la banquise ces 10 dernières années, avec des zones où la fonte est très importante.

**Différences d'épaisseur de glace
entre Avril 2011 et Avril 2021** (Crédits ESA)



L'évolution de la banquise a des conséquences sur les êtres vivants en arctique, tant sur les espèces du phytoplancton que sur l'ensemble des réseaux trophiques, notamment pour les grands prédateurs tels les ours polaires.

→ **Suivi par satellite des ours polaires**

Camouflés par leur couleur blanche, les ours polaires se nourrissent particulièrement de phoques qu'ils attendent près des trous de respiration ou repèrent leurs abris. Ce prédateur est particulièrement adapté à l'environnement glacé, mais il en est également très dépendant. Avec le réchauffement climatique, la débâcle de la banquise au printemps se produit plus tôt et le gel en automne se produit plus tard, ce qui entraîne des périodes d'eau libre plus étendues et plus longues en été et en automne.

Grâce au suivi par satellite, on étudie les déplacements naturels des ours polaires face à ces changements de leur milieu de vie. L'équipement se fait avec des colliers (femelles) ou des tags d'oreilles (mâles et oursons) munis de balises Argos de suivi par satellite.

**Collier avec
balise Argos.**

Pendant que l'ourse équipée du collier Argos est encore endormie, les scientifiques recueillent également des informations importantes sur sa santé et ses caractéristiques.



©Andrew E. Derocher, Université d'Alberta



©: A. Pagano, U.S. Geological Survey

Le suivi des différentes populations d'ours polaires montre que la plupart des ours ont augmenté leurs trajets et parcouru plus de kilomètres pour rester sur la banquise afin de se nourrir mais que certains restent davantage à terre.

Ainsi, par exemple, on a observé que l'habitat des ours polaires en mer de Beaufort (Alaska) varie selon l'âge et le sexe mais également selon la saison :

- En hiver et au printemps, lorsque la banquise est présente :
 - mâles et femelles avec oursons âgés vont à la limite de la banquise (~ 50 km de la côte), habitat de prédilection de leurs proies (phoques barbus et phoques annelés adultes).
 - femelles avec jeunes oursons privilégient la banquise côtière, pour chasser les phoques sans risque d'hypothermie pour les oursons (liée aux grandes distances dans l'eau) et en les protégeant du cannibalisme des ours mâles adultes.
 - jeunes adultes inexpérimentés, moins compétents à la chasse, chassent à 30 km du rivage, en dehors des meilleures zones de chasse occupées par les adultes dominants (concurrence intra-spécifique)

- En été et en automne, période où la banquise est minimale, on observe qu'entre 1986 et 2022, les ours polaires se sont déplacés de plusieurs dizaines de km vers le nord sur la banquise annuelle, en direction de la banquise pluriannuelle.

Ils se répartissent sur le plateau continental selon des étendues bien plus vastes qu'auparavant, relativement loin des côtes (plusieurs centaines de km par semaine en plus que dans les années 1990) avec le risque de longues nages.

Leur dépense énergétique est parfois supérieure aux apports de la chasse, d'autant plus qu'ils rencontrent moins de proies sous la banquise en eaux profondes. Les ours les plus vulnérables, qui finissent par mourir d'épuisement, sont des individus solitaires âgés de 2 ou 3 ans, qui n'ont pas réussi à s'adapter et à chasser seuls.

On constate en parallèle qu'une proportion croissante d'ours polaires reste davantage en domaine terrestre, exploitant des zones de chasse sans banquise près des côtes sur un espace restreint, avec probablement des ressources alimentaires plus variées (végétation, lemmings, œufs ou poussins dans les nids, restes de mammifères marins ramenés par la mer...).

Attendant sur les côtes la formation de plus en plus tardive de la banquise, des ours polaires affamés vont dans les villages Inuits, fouillent les poubelles et les décharges en quête de nourriture, ce qui pourrait laisser penser que leur nombre augmente... alors que les scientifiques prévoient que d'ici à 2050, avec la réduction spectaculaire de la banquise, les populations d'ours polaires seront réduites de trois quarts passant de 25 000 individus à 5 000.

Le suivi par satellite de la banquise et des trajets des ours révèle ainsi l'impact du changement climatique sur leur vie et contribue à l'élaboration de mesures de protection pour cette espèce classée « vulnérable » sur la liste rouge de l'UICN.

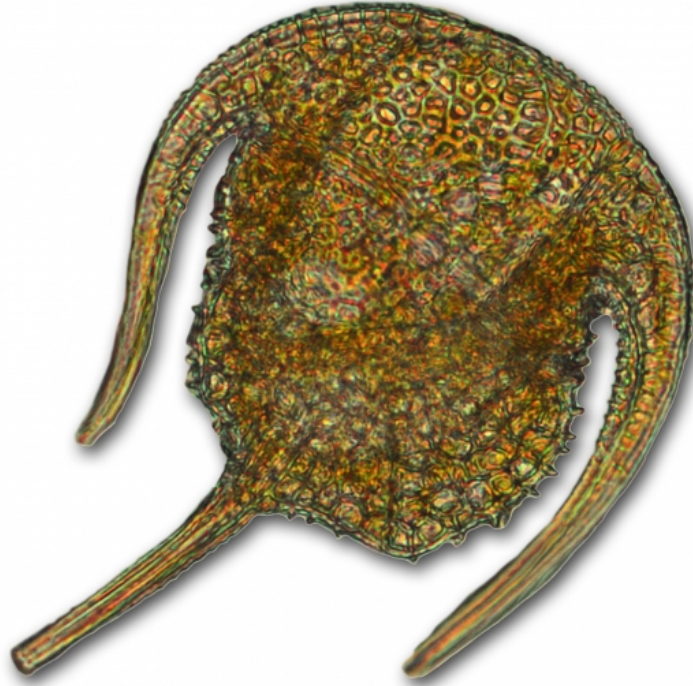
QUELQUES LIENS A CONSULTER :

- European Space Agency (ESA), Climate Office : <https://climate.esa.int/en/educate>
- Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) : <http://atmosphere.copernicus.eu>
- Projet éducatif CNES Argonautica : <https://enseignants-mediateurs.cnes.fr/fr/enseignants-et-mediateurs/projets/argonautica>
- Intergovernmental Panel on Climate Change : <https://www.ipcc.ch/about/>
- Global Cryosphere Watch (world meteorological organisation) : http://globalcryospherewatch.org/state_of_cryo/seaice/
- Plateforme Océan & Climat : <https://ocean-climate.org/>
- Culture de phytoplancton : https://tice.agrocampus-ouest.fr/pluginfile.php/8928/mod_resource/content/0/Culture%20phytoplancton.pdf?lang=it
- Dutkiewicz, S., Hickman, A.E., Jahn, O. *et al.* Ocean colour signature of climate change. *Nat Commun* 10, 578 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08457-x>
- Impact de la température sur le phytoplancton et ses interactions avec les virus : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01653093>
- National Oceanic and Atmospheric Administration : <https://www.noaa.gov/>
- Océan et changement climatique : les nouveaux défis : <https://ocean-climate.org/wp-content/uploads/2019/09/fiches-DEF.pdf>
- Henson, S.A., Cael, B.B., Allen, S.R. *et al.* Future phytoplankton diversity in a changing climate. *Nat Commun* 12, 5372 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25699-w>
- Journal for Cell, Nov. 2019, Global Trends in Marine Plankton Diversity across Kingdoms of Life, Federico M. and Al : [https://www.cell.com/cell/fulltext/S0092-8674\(19\)31124-9](https://www.cell.com/cell/fulltext/S0092-8674(19)31124-9)
- Site très complet sur l'ours polaire : <https://polarbearsinternational.org/>

ANNEXES

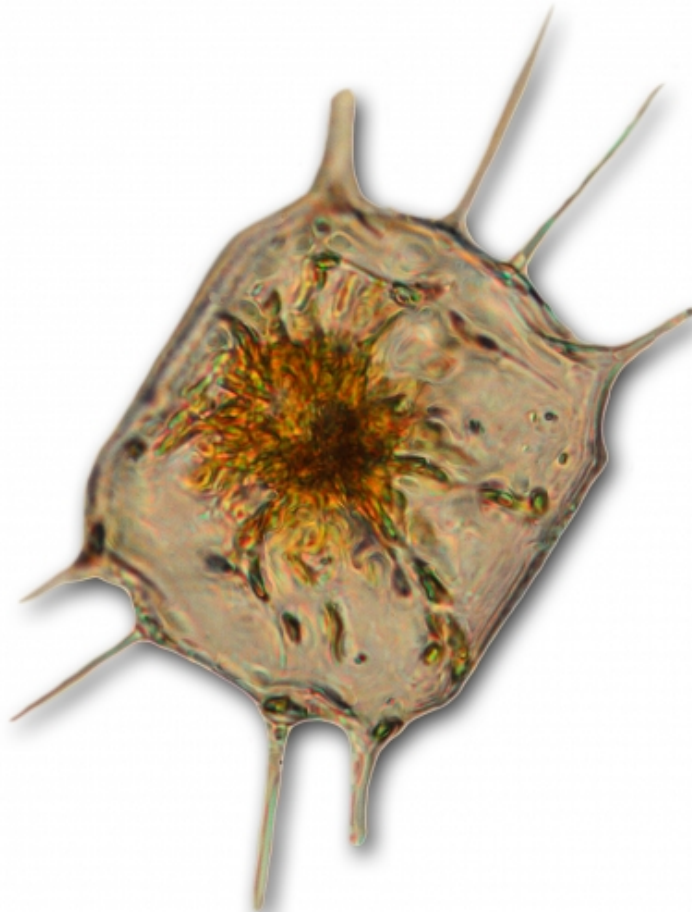
A- Observations de phytoplancton

Dinoflagellé : individu de l'espèce *Ceratium paradoxides*, vu au microscope photonique



(Photo : Sophie Marro)

Diatomée : individu de l'espèce *Odontella mobiliensis* vu au microscope photonique



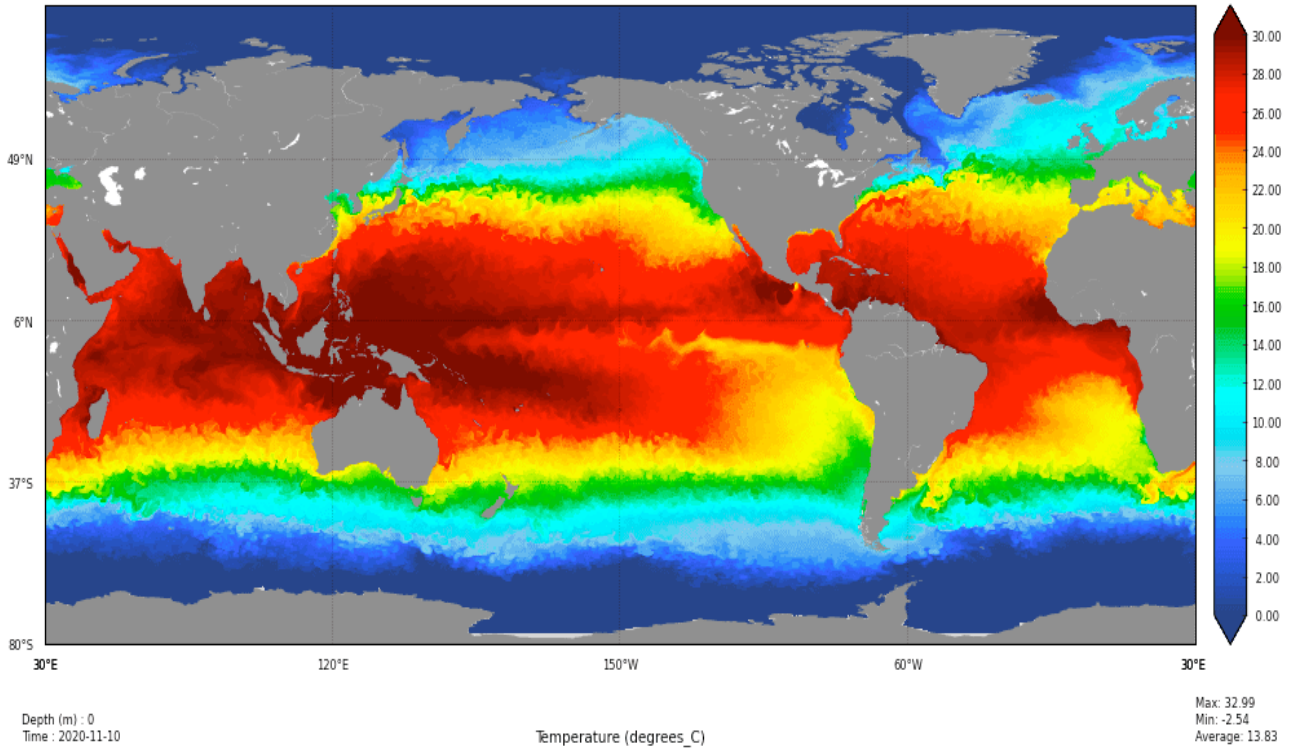
(Photo : Sophie Marro)

B- Observations Cartes satellites

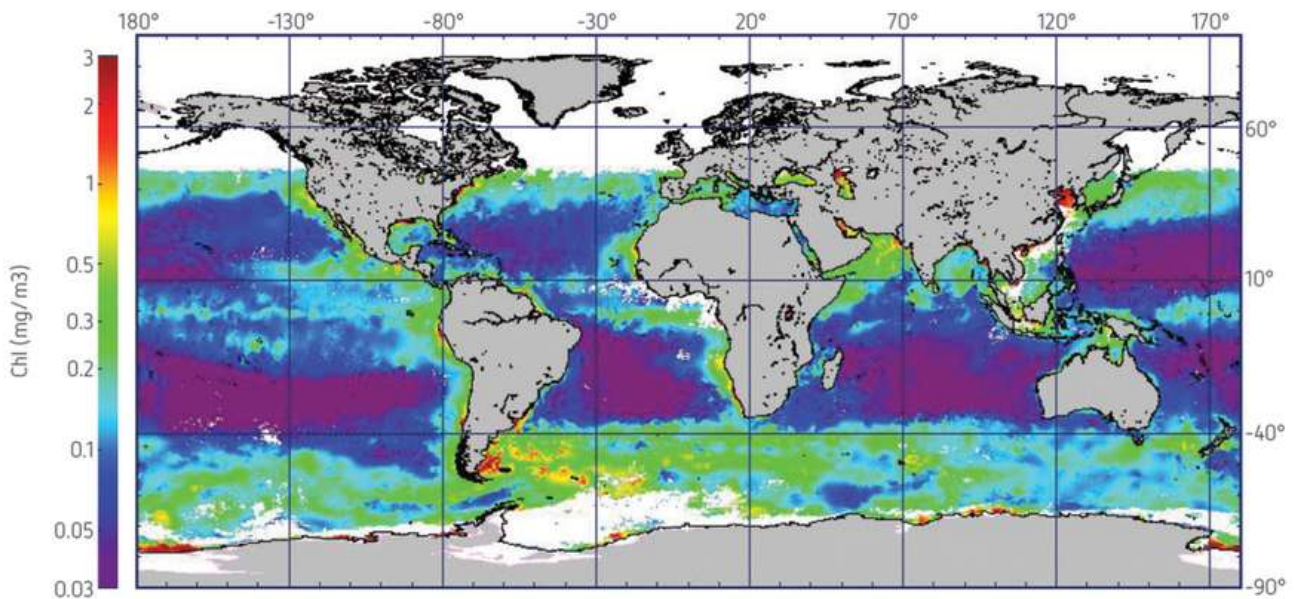
Carte de la Température de surface de l'eau



Daily Global Physical Bulletin 1/12° (PSY4QV3R1)
Date: 2020-11-19 (9-day forecast)
Global



Carte de la couleur de l'eau (concentration en chlorophylle *a* / Phytoplancton)



Concentration en chlorophylle dans les océans en décembre 2011, données fournies par l'instrument Meris (spectromètre imageur à moyenne résolution) à bord du satellite Envisat. © Esa