



un lieu  
**universcience**

---

# Quand l'océan se réchauffe...

---

Cet itinéraire de visite se déroule dans **Océan, climat et nous**, une exposition temporaire à découvrir jusqu'en juin 2012, à la Cité des sciences et de l'industrie.

Cette exposition est centrée sur une installation audiovisuelle immersive. Autour d'elle, trois espaces se suivent, qui abordent successivement les thèmes suivants : Comment l'océan agit-il sur le climat ? Comment l'océan se modifie-t-il ? Comment s'adapter au changement ?

Ce questionnaire porte sur une sélection d'éléments de l'exposition et concerne les thèmes I et II. Les pages de réponses pourront être remises aux élèves après la visite.

---

Niveaux : Collège et lycée

---

1 heure





un lieu  
**universcience**



# Quand l'océan se réchauffe...

QUESTIONNAIRE



Installation audiovisuelle immersive au cœur de l'exposition "Océan, climat et nous". © CSI/S Chivet

*Cette exposition s'intéresse à la relation étroite et fragile entre 3 entités : l'océan, le climat et l'Homme. Cette relation est abordée dans 3 espaces thématiques : Comment l'océan agit-il sur le climat ? Comment l'océan se modifie-t-il ? Comment s'adapter au changement ? Nous allons découvrir ensemble les deux premiers thèmes. Vous trouverez toutes les réponses aux questions qui suivent dans l'exposition. Bonne visite.*

- Pour commencer, rendez-vous à l'entrée de l'exposition, devant les panneaux d'accueil.

Océan, le climat et nous, un équilibre fragile ? (Textes des panneaux à l'entrée de l'exposition)

- 1 Nous sommes actuellement confrontés à un changement climatique qui n'est en rien comparable aux changements climatiques qui ont eu lieu par le passé. Une centaine d'années seulement a suffi pour produire des effets qui s'observent à l'échelle de la planète : fonte des glaces continentales et océaniques, montée des eaux, acidification de l'océan. A quoi attribue-t-on l'augmentation moyenne de la température sur Terre ?

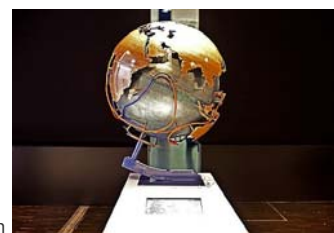
- 2 Ce changement affecte l'océan, lui-même régulateur du climat. Tout est lié. Quelle surface de la planète l'océan occupe t-il ?

30 %     70 %

- Entrez dans la grande salle qui occupe le centre de l'exposition, pour vous immerger dans une installation audiovisuelle qui vous plonge au cœur de l'océan. Des phrases apparaissant de façon aléatoire. Les écrans signalés par des ronds blancs au sol réagissent à vos pas. Dirigez-vous ensuite vers la partie de l'exposition, à gauche de cette grande salle en entrant, pour la suite de la visite.



Installation audiovisuelle au cœur de l'exposition © CSI/A Robin



Tapis roulant : Suivez de la main la trajectoire des courants marins © CSI / A. Robin

## I. Comment l'Océan agit-il sur le climat ?

- Sur le panneau d'introduction, vous pouvez lire que « L'océan est régulateur du climat en stockant et en transportant d'énormes quantités de chaleur ». Rendez-vous devant le globe terrestre, un peu plus loin, pour suivre la trajectoire des courants marins. L'élément d'exposition s'appelle : Un tapis roulant.

[Un tapis roulant \(Globe\) ; Le rôle de la température - Le rôle de la salinité \(Expérience et textes\)](#)

- 3 Suivez de la main le vaste circuit de l'eau depuis l'Atlantique Nord vers les trois océans. Cette grande boucle, surnommée "Le tapis roulant", s'effectue sur une période de l'ordre de 1000 ans. En surface, l'eau est chaude (couleur rouge) et en profondeur, elle est froide (couleur bleue). Sur cette maquette, l'échelle des hauteurs a été volontairement exagérée.

Lorsque l'eau parvient au niveau de l'Atlantique Nord, elle se refroidit. La banquise qui se forme expulse le sel dans l'eau. Quelles conséquences ?

- L'eau est moins dense
- L'eau est plus dense
- L'eau plonge
- L'eau remonte

- L'océan atténue les effets du réchauffement de l'atmosphère en conservant longtemps la chaleur absorbée.

[L'océan absorbe la chaleur \(Texte explicatif\) - L'océan, tampon thermique \(Expérience\)](#)

- 4 Qui de l'atmosphère ou de l'eau se refroidit et se réchauffe le plus vite ?

- L'eau
- L'atmosphère

- 5 Quelle conséquence ?

- L'océan garde et stocke de grandes quantités de chaleur
- L'atmosphère garde et stocke de grandes quantités de chaleur

- L'océan est régulateur du climat en captant le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère.

L'océan pompe le CO<sub>2</sub> (Film : durée 4 min<sup>1</sup>) - Le rôle du plancton végétal (Ballon contenant des algues microscopiques)

- 6 Le CO<sub>2</sub> est le principal gaz à effet de serre produit par les activités humaines. L'océan absorbe...
- près du tiers du dioxyde de carbone émis par l'homme.
  - près de la moitié du gaz carbonique émis par l'homme.
- 7 Une partie du carbone du CO<sub>2</sub> capté par l'océan est dissous chimiquement. La majorité est utilisée par les organismes marins pour créer leurs coquilles calcaires mais également de la matière organique, grâce la photosynthèse. Pouvez-vous développer ?
- 
- 
- 8 La majorité de ce CO<sub>2</sub> est piégé dans l'océan pendant plus de 500 ans. Il retournera ensuite dans l'atmosphère. Les émissions de CO<sub>2</sub> continuent de croître. Quelle est la question qui conclue ce film ?
- 

- Enfin, l'océan régule le climat grâce à la banquise, qui réfléchit les rayons du Soleil.

La banquise réfléchit la lumière (Textes et carreaux faïence)

- 9 Posez vos mains sur les surfaces noires, puis sur les surfaces blanches. Que ressentez-vous ? La surface noire est plus...
- chaude que la surface blanche.
  - froide que la surface blanche.
- 10 La surface noire absorbe la lumière et la surface blanche réfléchit la lumière. Par analogie, les surfaces claires, comme les glaces continentales et la banquise, qui renvoient 85% du rayonnement solaire, restent fraîches. Quelles conséquences si la banquise fond ?
- La surface sombre augmente
  - L'océan se réchauffe plus rapidement
- 11 L'albédo désigne...
- le pouvoir réfléchissant d'une surface exposée à la lumière.
  - le pouvoir absorbant d'une surface exposée à la lumière.

---

<sup>1</sup> Le texte du commentaire audio est disponible à la fin de ce document.

Carotte sédimentaire prélevée au niveau de la Mer Rouge, à -571 m de fond.  
La partie la plus ancienne est à gauche : ce sens est propre aux historiens.  
Les paléoclimatologues placent la partie la plus ancienne de l'autre côté.

© CSI / A. Robin



- ▶ Entrons maintenant dans l'histoire climatique de la Terre et intéressons-nous au difficile travail des paléoclimatologues. Vous disposez de carottes sédimentaires et d'une vidéo montrant le fonctionnement d'un carottier, à proximité d'une maquette.

### A l'écoute du passé (texte de panneau)

- 12 Comment les paléoclimatologues savent-ils que des périodes glaciaires et interglaciaires se sont succédé depuis près d'un million d'années ?

---

### Carotte prélevée au niveau de la Mer Rouge

- 13 Rendez-vous devant la carotte prélevée au niveau de la Mer Rouge, un océan en formation. Le contenu de cette carotte n'est pas homogène. Écoutez ce que les paléoclimatologues ont à en dire<sup>2</sup>.  
Observez la boue de la partie gauche (-25 000 ans) qui contient de l'argile mêlée à des fossiles de plancton végétal et animal. On retrouve le même mélange à droite (-10 000 ans). La partie intermédiaire (entre -24 000 et -12 000 ans) est très différente. Il s'agit de croûtes et de gravillons calcaires, pauvres en fossiles, caractéristiques d'un changement climatique important. Lequel ?

- Une période interglaciaire
- Une période glaciaire
- La dernière période glaciaire de la Terre

- ▶ Nous venons de voir comment faire parler les sédiments pour connaître le passé climatique de la Terre. Ces renseignements permettent d'imaginer l'état du monde et du climat demain. Avant d'aborder le second volet de l'exposition, vous pouvez vous intéresser aux scénarios pour... 2100 et écouter des climatologues et des économistes parler des projections de l'évolution future du climat et de l'incertitude, qui fait partie du processus de la recherche scientifique.  
Cf. [Quels scénarios pour demain ? L'incertitude pose-t-elle un problème ? \(Présentations graphique et sonore\)](#)

---

<sup>2</sup> Le texte des commentaires audio est disponible à la fin de ce document.



Explorez les reliefs du fond de l'océan © CSI / A. Robin

## II. Comment l'Océan se modifie-t-il ?

- Retrouvez la mappemonde à l'entrée de la seconde partie de l'exposition. Contrairement aux globes que nous avons l'habitude de voir, celui-ci néglige les continents et met à l'honneur le fond de l'océan, un océan unique. Explorez ses reliefs, ses dorsales et ses failles. Le relief sur ce globe est multiplié par 30.

### Grande mappemonde montrant le fond de l'océan

- 14 La connaissance des fonds océaniques est récente. Elle a confirmé la théorie de la tectonique des plaques. Comme vous pouvez le voir en examinant ce globe, les océans communiquent pour n'en former qu'un. Il y a cependant deux exceptions, deux petites mers qui ne communiquent pas avec l'océan mondial. Lesquelles ?
  - La mer d'Aral
  - La mer Caspienne
  - La mer Noire
- 15 Retrouvez la fosse des Mariannes. C'est le point le plus profond à la surface de la Terre. Combien de kilomètres séparent le sommet du mont Everest (environ 8 000 m) du fond des fosses de Mariannes ? Qu'en déduisez-vous ?
  - 20 km
  - 200 km

- L'océan est en permanence observé et mesuré par des instruments embarqués sur des bateaux, des bouées robotisées et par des satellites. Grâce à ces deux types de mesures, les chercheurs accumulent et analysent les données qui nous renseignent sur l'état et le fonctionnement de l'océan et du climat.

### L'océan observé (Instruments de mesure permettant d'étudier in situ l'état de l'océan)

- 16 Nous avons vu précédemment l'importance de la densité de l'eau dans le circuit mondial de l'eau (« Le tapis roulant »), densité déterminée par la température et la salinité. Quels sont les instruments capables de mesurer ces paramètres ?
- La bouée à vagues
  - Le flotteur Argo
  - Le glider, planeur sous-marin



L'océan observé © CSI / A. Robin

- Le changement climatique fait monter le niveau moyen des mers, mais pas de façon uniforme. Par quels mécanismes ?

### La mer monte ! (Vidéo)

- 17 On sait que la mer est montée en moyenne de 3,4 mm/an depuis 1993. Elle monte parce que...
- les glaces continentales fondent.
  - la banquise et les icebergs fondent.
  - l'eau de mer se dilate
  - les fleuves apportent de l'eau en provenance des stocks continentaux (sols, souterrains, etc.)



La mer monte ! (Ecran sur table au premier plan) © CSI / A. Robin





Le peuplement de l'océan évolue © CSI / A. Robin

- L'absorption du CO<sub>2</sub> par l'océan a modifié la chimie de l'eau et l'a rendue plus acide. Quelles conséquences ?

### L'océan s'acidifie... (Textes sur panneaux)

18 Plus l'eau est acide, moins elle contient d'ions carbonates. Cet appauvrissement menace la biodiversité marine. Qui sont les premières victimes ?

- Les hippopotames
- Les canards
- les animaux et végétaux à squelette ou coquille calcaire
- Les méduses

- Un grand nombre d'espèces et d'écosystèmes marins pourraient être affectés par les effets de l'acidification de l'océan, qui se combinent à ceux liés à son réchauffement ainsi qu'à la surpêche, la navigation et la pollution.

### Du plastique dans l'océan - Les Larmes de sirène (Colliers)

19 L'artiste finlandaise Tuula Närhinen a récolté des "larmes de sirène" pour confectionner ce collier. Il est fait...

- de coraux et de perles précieuses.
- de la matière première d'objets en plastiques.
- de microbilles de plastiques de diverses tailles.

*Même si nous parvenons à limiter les émissions de gaz à effet de serre, le changement climatique est en cours. Nous devons donc anticiper et nous adapter. C'est le sujet de la troisième partie de l'exposition que nous vous invitons à découvrir par vous-même. Bonne journée.*



un lieu  
**universcience**

---

# Quand l'océan se réchauffe...

---

RÉPONSES



Maquette des fonds océaniques © CSI-S Chivet

# RÉPONSES

Océan, le climat et nous, un équilibre fragile ? (Textes des panneaux à l'entrée de l'exposition)

- 1 Nous sommes actuellement confrontés à un changement climatique qui n'est en rien comparable aux changements climatiques qui ont eu lieu par le passé.

Une centaine d'années seulement a suffi pour produire des effets qui s'observent à l'échelle de la planète : fonte des glaces continentales et océaniques, montée des eaux, acidification de l'océan.

A quoi attribue-t-on l'augmentation moyenne de la température sur Terre ?

L'augmentation moyenne de la température sur Terre est attribuée aux activités humaines en cours, qui ont notamment pour conséquence une augmentation des gaz à effet de serre, le principal étant le CO<sub>2</sub>.

- 2 Ce changement affecte l'océan, lui-même régulateur du climat. Tout est lié. Quelle surface de la planète l'océan occupe t-il ?

30 %

70 %



Le rôle de la température © CSI / A. Robin

## I. Comment l'Océan agit-il sur le climat ?

Un tapis roulant (Globe) ; Le rôle de la température - Le rôle de la salinité (Expérience et textes)

- 3 Suivez de la main le vaste circuit de l'eau depuis l'Atlantique Nord vers les trois océans. Cette grande boucle, surnommée « Le tapis roulant », s'effectue sur une période de l'ordre de 1000 ans. En surface, l'eau est chaude (couleur rouge) et en profondeur, elle est froide (couleur bleue). Sur cette maquette, l'échelle des hauteurs a été volontairement exagérée.

Lorsque l'eau parvient au niveau de l'Atlantique Nord, elle se refroidit. La banquise qui se forme expulse le sel dans l'eau. Quelles conséquences ?

- L'eau est moins dense
- L'eau est plus dense
- L'eau plonge
- L'eau remonte

La densité, déterminée à la fois par la salinité et la température, fait plonger les eaux. En Atlantique Nord, le refroidissement et une salinité importante font plonger l'eau à plus de 1 000 mètres. Puis l'eau froide, en se réchauffant progressivement, remonte des profondeurs dans les trois océans et alimente les courants de surface.

L'océan absorbe la chaleur (Texte explicatif) - L'océan, tampon thermique (Expérience)

- 4 Qui de l'atmosphère ou de l'eau se refroidit et se réchauffe le plus vite ?

- L'eau
- L'atmosphère

- 5 Quelle conséquence ?

- L'Océan garde et stocke de grandes quantités de chaleur.
- L'atmosphère garde et stocke de grandes quantités de chaleur.

... pendant des mois, des années, voire des siècles.

L'océan pompe le CO<sub>2</sub> (Film : durée 4 minutes) - Le rôle du plancton végétal (Ballon contenant des algues microscopiques)

- 6 Le CO<sub>2</sub> est le principal gaz à effet de serre produit par les activités humaines. L'océan absorbe...

- près du tiers du dioxyde de carbone émis par l'homme.  
 près de la moitié du gaz carbonique émis par l'homme.

- 7 Une partie du carbone du CO<sub>2</sub> capté par l'océan est dissous chimiquement. La majorité est utilisée par les organismes marins pour créer leurs coquilles calcaires mais également de la matière organique, grâce la photosynthèse. Pouvez-vous développer ?

La photosynthèse consomme du CO<sub>2</sub> et produit de l'oxygène. Elle permet l'incorporation du carbone dans les tissus vivants des algues microscopiques dont les animaux pourront se nourrir.

- 8 La majorité de ce CO<sub>2</sub> est piégé dans l'océan pendant plus de 500 ans. Il retournera ensuite dans l'atmosphère. Les émissions de CO<sub>2</sub> continuent de croître. Quelle est la question qui conclue ce film ?

Jusqu'où l'océan pourra-t-il absorber cet excédent ?  
En effet, la capacité de l'océan à absorber le CO<sub>2</sub> atmosphérique n'est pas illimitée. Lorsqu'il atteindra sa limite, on peut s'attendre à une accentuation de l'effet de serre.

La banquise réfléchit la lumière (Textes et carreaux faïence)

- 9 Posez vos mains sur les surfaces noires, puis sur les surfaces blanches. Que ressentez-vous ? La surface noire est plus...

- plus chaude que la surface blanche.  
 plus froide que la surface blanche.

- 10 La surface noire absorbe la lumière et la surface blanche réfléchit la lumière. Par analogie, les surfaces claires, comme les glaces continentales et la banquise, qui renvoient 85% du rayonnement solaire, restent fraîches. Quelles conséquences si la banquise fond ?

- La surface sombre augmente  
 L'océan se réchauffe plus rapidement

La fonte de la banquise pourrait donc amplifier le réchauffement de l'océan en laissant une surface plus sombre, qui absorberait davantage les rayons du Soleil.

11 L'albédo désigne...

- le pouvoir réfléchissant d'une surface exposée à la lumière.
- le pouvoir absorbant d'une surface exposée à la lumière.

A l'écoute du passé (Texte)

12 Comment les paléoclimatologues savent-ils que des périodes glaciaires et interglaciaires se sont succédé depuis près d'un million d'années ?

Ils trouvent des indices de ces changements dans les couches de sédiments qui se déposent au fond des mers. Ils prélèvent des carottes sédimentaires et étudient les variations de leur composition au cours du temps.

Carotte prélevée au niveau de la Mer Rouge

13 Rendez-vous devant la carotte prélevée au niveau de la Mer Rouge, un océan en formation. Le contenu de cette carotte n'est pas homogène. Écoutez ce que les paléoclimatologues ont à en dire.

Observez la boue de la partie gauche (-25 000 ans) qui contient de l'argile mêlée à des fossiles de plancton végétal et animal. On retrouve le même mélange à droite (-10 000 ans). La partie intermédiaire (entre -24 000 et -12 000 ans) est très différente. Il s'agit de croûtes et de gravillons calcaires, pauvres en fossiles, caractéristiques d'un changement climatique important. Lequel ?

- Une période interglaciaire
- Une période glaciaire
- La dernière période glaciaire de la Terre

Il y a 18 000 ans, le volume de glace des calottes polaires est à son maximum et le niveau global de l'océan est au plus bas, plus de 100 mètres au dessous de son niveau actuel.

La Mer Rouge, partiellement isolée de l'Océan Indien, est soumise à un climat très sec. Son eau devient peu profonde, hyper salée, et ses propriétés physico-chimiques se modifient. Les organismes planctoniques calcaires, comme les foraminifères, ne peuvent survivre dans de telles conditions. Le calcaire présent dans l'eau n'est donc plus utilisé par ces organismes biologiques. Il subit une précipitation d'origine chimique et forme des croûtes et des gravillons.

## II. Comment l'Océan se modifie-t-il ?

Grande mappemonde montrant le fond de l'océan

- 14 La connaissance des fonds océaniques est récente. Elle a confirmé la théorie de la tectonique des plaques. Comme vous pouvez le voir en examinant ce globe, les océans communiquent pour n'en former qu'un. Il y a cependant deux exceptions, deux petites mers qui ne communiquent pas avec l'océan mondial. Lesquelles ?

La mer d'Aral    La mer Caspienne    La mer Noire

- 15 Retrouvez la fosse des Mariannes. C'est le point le plus profond à la surface de la Terre. Combien de kilomètres séparent le sommet du mont Everest (environ 8 000 m) du fond des fosses de Mariannes ? Qu'en déduisez-vous ?

20 km    200 km

Environ 20 km séparent en effet ces deux extrêmes. C'est peu. Les Mariannes sont profondes de 11 km. Ces reliefs peuvent paraître importants mais sont en réalité négligeables par rapport à la taille de la Terre.

L'océan observé (Instruments de mesure permettant d'étudier in situ l'état de l'océan)

- 16 Nous avons vu précédemment l'importance de la densité de l'eau dans le circuit mondial de l'eau ("Le tapis roulant"), densité déterminée par la température et la salinité. Quels sont les instruments capables de mesurer ces paramètres ?

La bouée à vagues  
 Le flotteur Argo  
 Le glider, planeur sous-marin

*Argo* est un réseau de surveillance mondial de l'océan. 3 000 sondes flottantes, dérivantes et plongeantes réparties dans le monde mesurent, en complète autonomie, la température et la conductivité de l'eau entre la surface et 2 000 mètres de profondeur. Les scientifiques en déduisent la salinité et la densité de l'eau. Les données collectées sont émises via des réseaux de communication en orbite.

*Le glider - planeur sous-marin*

Avec ses capteurs, le glider mesure notamment la température et la salinité. C'est un sous-marin sans propulseur : ses ailes lui confèrent une portance, tel un planeur, et un ballast le fait couler ou flotter à volonté. Utilisant la communication par satellite, les équipes à terre le pilotent et récupèrent les données acquises en plongée. Le glider peut ainsi faire des mesures en des lieux difficiles d'accès pour les bouées.

### La mer monte (Vidéo)

17 On sait que la mer est montée en moyenne de 3,4 mm/an depuis 1993. Elle monte parce que...

- les glaces continentales fondent.
- la banquise et les icebergs fondent.
- l'eau de mer se dilate
- les fleuves apportent de l'eau en provenance des stocks continentaux (sols, souterrains, etc.) dans une moindre mesure.

Si toutes les glaces continentales fondaient, l'océan monterait de 66 mètres. Mais lorsque la banquise et les icebergs fondent, le niveau de l'océan ne monte pas. La preuve par le glaçon !

L'eau de mer se dilate : lorsque la température augmente, les molécules d'eau s'agitent davantage... elles occupent plus de volume. L'eau chaude occupe plus de volume que l'eau froide.

### L'océan s'acidifie... (Textes sur panneau)

18 Plus l'eau est acide, moins elle contient d'ions carbonates. Or, cet appauvrissement menace la biodiversité marine. Quelles en sont les premières victimes ?

- Les hippopotames
- Les canards
- les animaux et végétaux à squelette ou coquille calcaire
- Les méduses

Les ions carbonates sont nécessaires à la fabrication des coquilles et des squelettes calcaires des coraux et des coquillages. Par ailleurs, l'acidité des eaux se traduit par une diminution du PH. En dessous d'une certaine valeur, ces eaux deviennent corrosives.

L'acidification des océans a donc des conséquences sur les animaux et végétaux à squelette ou coquille calcaire. Leur fragilisation aurait aussi un impact sur les animaux et végétaux dépendant d'eux pour leur nutrition ou leur habitat. Mais le malheur des uns fait le bonheur des autres : les méduses s'adaptent très rapidement aux changements et pullulent dans l'eau chaude et acide !



Demain un océan de méduses ? © CSI / A. Robin



### Du plastique dans l'océan - Les Larmes de sirène (Colliers)

19 L'artiste finlandaise Tuula Närhinen a récolté des "larmes de sirène" pour confectionner ce collier. Il est fait...

- de coraux et de perles précieuses.
- de la matière première d'objets en plastiques.
- de microbilles de plastiques de diverses tailles.

Il s'agit de matière première d'objets en plastiques échappées du cycle de production, qui s'est dégradée en microbilles de diverses tailles.

Dans l'océan le plastique, issu de nos déchets ou de la matière première d'objets en plastiques, est dégradé en microbilles qui finissent sur les plages et dans l'estomac d'oiseaux de mer et de mammifères marins.



Du plastique dans l'océan © CSI / JP. Attal



### Annexe

#### Edito de l'exposition

##### L'océan, le climat et nous, un équilibre fragile ?

C'est un fait, un changement climatique dû aux activités humaines est en cours. Or ce changement affecte l'océan, régulateur important du climat.

Les effets s'observent déjà à l'échelle du monde : fonte des glaces continentales et océaniques, montée des eaux, acidification de l'océan... Des incertitudes demeurent sur l'ampleur de ces phénomènes mais une chose est sûre, leur impact sur les sociétés humaines s'accroîtra dans le demi-siècle à venir.

Il nous faut anticiper et pour nous adapter, mieux connaître l'océan et son rôle dans le climat, trouver des solutions applicables et acceptables par les populations.

C'est à cette relation étroite et fragile entre le climat, l'océan et nous que cette exposition s'intéresse à travers trois thèmes :

- L'océan agit sur le climat
- L'océan se modifie
- S'adapter au changement

#### Edito partie I

##### Comment l'océan agit-il sur le climat ?

Vénéralisé pour sa beauté, craint pour ses tempêtes mais largement exploité, l'océan reste encore mal connu. Il joue pourtant un rôle primordial dans la régulation du climat. Il absorbe 1/3 du CO<sub>2</sub> que nous rejetons, stocke et transporte d'énormes quantités de chaleur, réfléchit les rayons solaires grâce à la banquise. Mieux connaître les interactions entre l'océan et l'atmosphère est essentiel pour éviter l'emballement du changement climatique. Que savons-nous des mécanismes intimes de l'océan au sein de cette machinerie complexe qu'est le climat ? Que nous apprennent les climats du passé ? Que pouvons-nous savoir de l'avenir ?

Dans cette partie, explorez et expérimentez les mécanismes en cause.

#### Edito partie II

##### Comment l'océan se modifie-t-il aujourd'hui ?

Tous les océans communiquent pour former un seul océan mondial de 361 millions de km<sup>2</sup>, soit 97 % du volume d'eau de la Terre. Aujourd'hui encore, nous en savons moins sur lui que sur la Lune. Notre connaissance des reliefs océaniques n'a progressé que récemment, avec les observations des satellites qui complètent les mesures *in situ*. Ces observations montrent aussi que malgré son énorme inertie, l'océan est perturbé par les modifications du climat : les eaux se réchauffent, le niveau des mers monte, les eaux s'acidifient, la vie marine est affectée. Ces symptômes s'ajoutent aux effets déjà néfastes de la pollution et de la surpêche. Jusqu'où iront ces perturbations ?

Découvrez les outils de diagnostic de l'état de l'océan et comment il se porte aujourd'hui.

#### Edito partie III

##### Comment s'adapter au changement ?

Même si nous parvenons à limiter les émissions de gaz à effet de serre, le changement climatique est en cours. D'ici 2100, selon les scénarios, les eaux pourraient monter de

20 cm à 1 m, touchant les 40 % de la population mondiale qui vivent à moins de 60 km des côtes. Exposition au risque climatique et niveau de développement économique ne sont pas les seuls facteurs de vulnérabilité. Aucune région du monde n'est a priori à l'abri. Les Etats devront s'adapter et le monde se trouve devant la nécessité de mener conjointement deux stratégies complémentaires : réduire les émissions de gaz à effet de serre et s'adapter aux changements inévitables.

Vulnérabilité et adaptation, découvrez 6 régions du monde et, face au risque, optez pour des stratégies d'adaptation.

### Texte du commentaire sonore : Quand le tapis roulant s'essouffle

Imaginez une gigantesque pompe à eau. Une pompe à océan. Alimentée par un moteur à double réaction, physique et chimique.

Je m'explique : Une eau froide est plus dense qu'une eau chaude, une eau salée plus dense qu'une eau douce. Gravitation oblige, les eaux lourdes se positionnent au dessous des eaux légères. Ainsi, quand une eau froide et salée se forme au dessus d'une eau chaude et douce, elle plonge pour rétablir l'équilibre.

Ce phénomène est appelé « convection profonde ». Il participe activement à la circulation thermo-haline, du grec thermos, chaud, et hals, sel. Cette grande boucle de circulation reliant les océans, est affectueusement surnommée « le tapis roulant ».

La formation des eaux profondes par convection n'est pas continue. Elle se produit localement, pendant de courtes périodes hivernales. Au Nord de l'Atlantique, les eaux chaudes et salées apportées par le Gulf Stream puis la dérive nord-atlantique, se refroidissent. L'hiver, elles gèlent. Or, la glace ne s'entend pas avec le sel et le rejette dans l'eau.

Ainsi, plus la banquise se forme, plus la mer, froide, devient salée. Cette eau dense plonge jusqu'à 4000 m de fond et alimente le grand réservoir des eaux profondes de l'Atlantique Nord, source froide du tapis roulant. .

Les carottes sédimentaires marines ont révélé que par le passé, la circulation en Atlantique Nord s'est plusieurs fois ralentie. Sans doute s'est-elle même arrêtée à la fin de périodes glaciaires, lorsque que les icebergs fondaient.

Et aujourd'hui ? Des observations montrent que, au cours des dernières décennies, les eaux profondes formées en Atlantique Nord se sont légèrement déplacées. Est-ce la conséquence du réchauffement climatique actuel ? Ou bien une manifestation de la variabilité naturelle du climat ? Il est encore trop tôt pour conclure. On sait par contre que la circulation thermo-haline joue un rôle dans le climat, et vice et versa. C'est assez subtil, car les rapports entre l'atmosphère et l'océan sont complexes.

Que va-t-il se passer avec le réchauffement climatique ?

Les ordinateurs chauffent pour calculer le devenir de l'océan. Les simulations à l'horizon 2150 montrent toutes un ralentissement de la circulation thermo-haline, mais ne sont pas très précises. Le taux réel de fonte des calottes représente encore un vrai défi scientifique et est sans doute sous-estimé dans ces simulations. Cependant, des études ont montré qu'un apport important d'eau douce accentuerait le ralentissement de la circulation

thermo-haline. Les régions du nord de l'Europe connaîtraient alors un refroidissement... qui ne compenserait toutefois pas le réchauffement lié aux gaz à effet de serre.

Seule certitude : cela ne changerait pas le Gulf Stream, courant de surface généré par le vent et la force produite par la rotation de la Terre !

Mais ça, c'est une autre histoire.

### Texte de la vidéo : L'océan pompe le CO<sub>2</sub>

Aujourd'hui, 1/3 du CO<sub>2</sub> émis chaque année dans l'atmosphère est absorbé par l'océan. L'océan capte le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère.

Le CO<sub>2</sub> réagit avec les molécules d'eau. CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O = acide carbonique

Il y a formation d'ions bicarbonates et libération d'hydrogène (ions H<sup>+</sup>). Plus il y a d'ions hydrogène et plus l'océan s'acidifie. Les ions bicarbonates formés sont en partie utilisés. Des organismes marins les utilisent pour fabriquer le calcaire de leur coquille ou squelette (Bicarbonate + calcium = CO<sub>2</sub> + eau + calcaire). Cela génère un peu de CO<sub>2</sub> qui repart vers l'atmosphère.

Mais la majeure partie du carbone dissout plonge avec les eaux froides vers les grands fonds... où il circulera pendant plusieurs centaines d'années.

Remontons maintenant vers la surface. Là, environ 60% du CO<sub>2</sub> capté par l'océan participe à la photosynthèse. Avec l'énergie du soleil, le plancton végétal transforme le CO<sub>2</sub> en matière organique constitutive des êtres vivants. Mais le plancton végétal respire... et libère alors un peu de CO<sub>2</sub>. Le plancton végétal est mangé. Le carbone du plancton végétal se retrouve ainsi stocké dans les organismes marins de la chaîne alimentaire. Ces organismes produisent des déchets et meurent. Cadavres et déjections tombent au fond, entraînant le carbone consommé. Ce carbone organique tombé au fond circulera avec les courants marins pour des centaines d'années. Seul 1 pour mille de ce carbone organique sera enfoui dans le fond des océans pour des millions d'années.

Et si nous faisons le bilan ? Le carbone du CO<sub>2</sub> capté par l'océan est absorbé de trois façons :

- Il est dissout
- Il est utilisé pour fabriquer les coquilles calcaires
- Il est utilisé par la photosynthèse pour fabriquer la matière organique

La majorité de ce CO<sub>2</sub> est piégé dans l'océan pendant plus de 500 ans. Il retournera ensuite dans l'atmosphère. Les émissions de CO<sub>2</sub> continuent de croître. Jusqu'où l'océan pourra-t-il absorber cet excédent ?

### Textes des commentaires sonores sur les carottes marines

#### Carotte 1

- 1) Bienvenue sur les rives de la mer Rouge. Séparé de l'océan Indien par le détroit peu profond de Bab el Mandeb, ce grand bassin naturel s'est retrouvé, au cours de l'histoire, plus ou moins isolé en fonction des variations climatiques. Pendant les périodes glaciaires, le niveau de la mer a baissé. Durant les épisodes interglaciaires, il est monté. Sachant que les sédiments déposés au fond de la mer reflètent ces variations, les scientifiques étudient des prélèvements, appelés carottes, dont voici un échantillon. Commençons par sa partie la plus ancienne. Nous venons de faire un bond de 25 000 ans dans le passé. Le sédiment est assez homogène, c'est de la boue. Elle contient de l'argile, des fossiles de plancton végétal et animal, ainsi que des particules en provenance des continents et transportées par les vents et les fleuves. À cette époque, durant laquelle les calottes glaciaires se développent, le niveau de la mer Rouge est beaucoup plus bas qu'il ne l'est aujourd'hui. Mais ses échanges avec l'océan Indien restent suffisants pour que la vie planctonique y soit abondante.
- 2) Cette couche de l'échantillon correspond à la période comprise entre moins 24 000 et moins 12 000 ans. Les sédiments sont complètement différents. Il s'agit de croûtes et de gravillons calcaires, pauvres en fossiles, caractéristiques d'un changement climatique important. Que s'est-il passé ? Les paléoclimatologues expliquent que durant cette période, la terre a subi un fort refroidissement correspondant à la dernière période glaciaire. Brrr !!...Il y a 18000 ans, le volume de glace des calottes polaires est à son maximum et le niveau global de l'océan est au plus bas, plus de 100 mètres au dessous de son niveau actuel. La Mer Rouge, partiellement isolée de l'Océan Indien, est soumise à un climat très sec. Son eau devient peu profonde, hyper salée et ses propriétés physico-chimiques se modifient. Les organismes planctoniques calcaires, comme les foraminifères, ne peuvent survivre dans de telles conditions. Le calcaire présent dans l'eau n'est donc plus utilisé par ces organismes biologiques. Il subit une précipitation d'origine chimique et forme des croûtes et des gravillons. C'est fou ce que l'on peut apprendre en regardant une tranche de carotte.
- 3) Changement d'époque, et nouveau changement climatique. Ce niveau sombre est riche en sédiments organiques d'origine animale et végétale. La preuve que les échanges entre la Mer Rouge et l'Océan Indien se sont rétablis. Quand on dégivre un réfrigérateur, que se passe-t-il ? La glace du freezer fond et vous vous retrouvez avec plein d'eau dans le bac à légumes. C'est à peu près ce qui se produit au cours de cette période. Après 10 000 ans de froid intense, une déglaciation commence. Aux pôles, les calottes de glace fondent partiellement et le niveau de la mer remonte peu à peu. Le climat de la Mer Rouge devient plus humide, les eaux profondes s'appauvrissent en oxygène, ce qui permet de conserver la matière organique.
- 4) Cela fait maintenant 2 000 ans que le dégel se poursuit. Globalement, le climat sur la Terre s'est bien radouci. Sur notre échantillon de carotte de la Mer Rouge, nous sommes arrivés au sédiment le plus récent, un jeune témoin d'environ 10 000 ans au profil bien particulier. Il s'agit d'une boue argileuse riche en fossiles de plancton végétal et animal, ainsi que de débris en provenance de continents plus ou moins éloignés, et transportés par les vents et les fleuves. Autant d'éléments qui devraient vous permettre d'imaginer l'ambiance de son époque ! Vous avez tout compris, ça grouille de partout. La mer Rouge, de moins en moins isolée, voit ses échanges avec l'Océan Indien augmenter peu à peu avant de se stabiliser. Les eaux se réoxygènent progressivement et la vie

planctonique prolifère : coccolithophores, dinoflagellés, foraminifères, ptéropodes...Ce ne sont pas les spécimens qui manquent. Et la sédimentation que vous voyez ici est très proche de la sédimentation actuelle de la Mer Rouge.

### Carotte 2

- 1) Imaginez que le bouton sur lequel vous venez d'appuyer soit celui d'un ascenseur, situé dans le passage des Amirantes, au nord de l'océan Indien, et qui descend...descend...descend...Ça y est, vous avez touché le fond, à près de 3 600 mètres de la surface. Creusez encore un peu, et vous en saurez beaucoup plus sur les variations d'un ancien courant marin d'eaux profondes, issu de la mer de Weddel en Antarctique et qui remontait vers le Nord Ouest...Les sédiments de cette première moitié de section de carotte ont un âge compris entre 52 et 44 millions d'années. Vous venez de toucher le gros lot, car il est exceptionnel de pouvoir contempler des vases calcaires aussi anciennes. Que voyons-nous ? Ici, des fossiles de plancton végétal tels que les coccolithophores, et de plancton animal comme les foraminifères... Là, de fins débris d'origine continentale transportés par les vents et les fleuves...Aucun doute possible : Il s'agit d'un dépôt marin caractéristique d'un climat chaud et d'une mer riche en organismes planctoniques.
  
- 2) Qu'est-ce que c'est que cette histoire ? Entre la zone précédente et ce point-ci, les experts affirment qu'il manque 40 millions d'années ? Et bien oui, ce sont des choses qui arrivent. Les courants marins étaient tellement puissants qu'ils ont balayé tous les sédiments qui s'étaient déposés au cours de cette période ; si des sédiments s'étaient déposés, ce qui reste à vérifier.  
Ce qui est sûr, c'est qu'il y a environ 55 millions d'années, l'Australie commence à se séparer du continent Antarctique, suivie 10 millions d'années plus tard par l'Amérique du Sud. Ces mouvements de plaques tectoniques ont un impact sur le climat. Un fort courant marin, appelé Circum-Antarctique, se met peu à peu en place et isole l'Antarctique sur lequel s'installe progressivement une calotte glaciaire. La circulation océanique globale se transforme. Le climat mondial se modifie de façon importante et préfigure le climat actuel.  
Vous voyez cette drôle de concrétion noirâtre ? C'est un nodule issu de la précipitation de métaux comme le fer et le manganèse. Sa présence ici est parfaitement logique : on sait que la formation de nodules métalliques est favorisée par les courants de fond, qui empêchent la sédimentation et apportent des eaux riches en oxygène dissous.
  
- 3) Quand les courants profonds faiblissent, les sédiments se déposent à nouveau. C'est ce qui s'est produit entre environ 2,4 millions d'années et 700 mille ans. À votre gauche, vous pouvez voir une magnifique boue sableuse à coccolithes et devant vous, un sable riche en foraminifères. Ces dépôts nous apportent deux informations très importantes sur les courants profonds au cours de cette période : bien que leurs forces diminuent, ils sont encore suffisamment puissants pour emporter les particules sédimentaires les plus fines. Un tri s'effectue, et seuls les éléments les plus grossiers se déposent au fond. Ce qui explique la concentration plus importante de foraminifères, de taille millimétrique et presque visibles à l'œil nu, que de coccolithophores, qui sont beaucoup plus petits.  
Et oui, la morale de cette tranche de carotte, c'est que ce sont toujours les plus lourds qui se font remarquer... Et les plus fins qui vont loin !