



# RESSOURCE

# Océan et changement climatique

Cette ressource est une activité de développement professionnel sur le thème des relations entre l'océan et le climat. Les enseignants réalisent différentes expériences permettant de comprendre l'impact du changement climatique sur l'océan (augmentation du niveau des mers, fonte des glaces, acidification...).

## RÉSUMÉ

Les participants s'interrogent sur les conséquences du changement climatique sur les océans. Ils réalisent, à l'aide d'expériences simples, que la fonte des glaces continentales et la dilatation thermique de l'eau entraînent une augmentation du niveau des mers, mais pas la fonte de la banquise. Ils découvrent en revanche que la fonte de la banquise est responsable d'une amplification et d'une accélération du réchauffement global en raison de l'albédo de la glace, très différent de celui de l'océan.

Les participants mettent également en évidence, par des expériences, la dissolution du  $\text{CO}_2$  dans l'eau, et ses conséquences en termes d'acidification des océans. Ils réalisent les conséquences de cette acidification sur la biodiversité, en particulier les coraux et le phytoplancton.

Deux prolongements sont proposés, l'un sur l'inertie thermique des océans, l'autre sur les courants marins, et leur possible perturbation liée au réchauffement climatique.

**Ces différentes mises en situation offrent également une bonne initiation à l'enseignement des sciences par une démarche d'investigation.**

## Sommaire

- 
- 3 Résumé et matériel nécessaire

---

  - 4 Représentations initiales

---

  - 5 Augmentation du niveau des mers : fonte des glaces

---

  - 8 Augmentation du niveau des mers : dilatation thermique

---

  - 10 Fonte de la banquise et albédo

---

  - 12 Acidification des océans

---

  - 14 Conséquence de l'acidification des océans sur la biodiversité marine

---

  - 17 Autres ateliers possibles après celui-ci

---

  - 17 Documents associés
- 



**Ressource pour la formation**  
Enseignants : 1<sup>er</sup> et 2<sup>nd</sup> degrés  
Durée : 3H + 2H optionnelles

**Disciplines**  
Physique, Chimie, SVT,  
Géographie

**Approche pédagogique**  
Expérimentation  
Démarche d'investigation



### **Conditions générales**

L'OCE encourage l'utilisation, la reproduction et la diffusion du matériel contenu dans ce document. Sauf indication contraire, le matériel peut être copié, téléchargé et imprimé à des fins d'étude privée, de recherche et d'enseignement, ou pour toute utilisation non commerciale, à condition qu'il soit dûment fait mention de l'OCE en tant qu'auteur et que son approbation ne soit en aucun cas implicite.

Toute demande de traduction, d'adaptation, et d'utilisation commerciale ou non commerciale, doit être faite via le formulaire de contact du site de l'OCE ou envoyée à l'adresse [copyright@oce.global](mailto:copyright@oce.global).

L'information relative aux produits développés par l'OCE est disponible sur son site.

### **Date de publication**

Janvier 2019.

### **Photos**

Mathilda Khoo (couverture)

OCE (couverture, page 9 & 11)

Lydie Lescarmontier (page 5 & 7)

Jimmy Chang (page 14)

Dadriaen (page 16)

Tania Van den Berghen (page 17)

### **Graphisme et mise en page**

Mareva Sacoun.





### AUTEURS

David Wilgenbus (OCE), Mathieu Hirtzig (Lamap), Mariana Rocha (OCE).

### TYPE DE RESSOURCE

Ressource pour la formation.

### PUBLIC

Enseignants du 1<sup>er</sup> et 2<sup>nd</sup> degrés.

### DURÉE

3 heures (+2 heure en fonction des prolongements possibles).

### DISCIPLINES

Physique, Chimie, SVT, Géographie.

### MOTS CLÉS

Océan, albédo, banquise, glaciers, niveau des mers, dilatation, acidification, CO<sub>2</sub>, biodiversité, inertie thermique, circulation thermohaline, courants marins, salinité.

### APPROCHE PÉDAGOGIQUE

Expérimentation, démarche d'investigation.

### OBJECTIFS DE CONNAISSANCE

- Augmentation du niveau des mers
- Dilatation thermique
- Rayonnement
- Albédo
- Fonte des glaciers
- Acidification des océans
- Rétroaction positive
- Système complexe
- (prolongement) Circulation thermohaline
- (prolongement) Inertie thermique

### OBJECTIFS DE COMPÉTENCE

- Mettre en place un protocole expérimental
- Comprendre ce qu'est un modèle
- Discuter de la pertinence d'une analogie et de ses limites
- Représenter des résultats sous forme graphique, et les analyser
- Se familiariser avec l'enseignement des sciences par une démarche d'investigation

### MATÉRIEL NÉCESSAIRE

#### GÉNÉRAL

- Vidéo projecteur
- Tableau blanc + feutres effaçables
- Affiches (ou paperboard) + feutres
- Accès à de l'eau
- Tables organisées pour du travail en groupes de 4 personnes

#### POUR L'ENSEMBLE DU GROUPE

- 1 bouilloire
- 2 thermomètres
- 2 lampes identiques (au moins 60W, si possible 100W pas d'ampoules à économie d'énergie: incandescence ou halogène), montées sur un support que l'on peut fixer et incliner vers la table. Note: en cas de météo ensoleillée, les lampes sont facultatives: les expériences se font à l'extérieur, au soleil.
- 2 tissus assez fins, l'un blanc, l'autre noir
- 1 bouteille d'eau de chaux
- 1 bouteille de vinaigre blanc

#### POUR CHAQUE GROUPE (OU COLLECTIVEMENT)

- 1 pH-mètre électronique ou un kit de mesure de pH pour piscine (une dizaine d'euros chacun)
- 3 verres transparents
- Quelques glaçons (à préparer à l'avance !)
- 2 pailles
- 1 grosse seringue en plastique
- 1 petite bouteille ou un petit flacon avec son bouchon (en plastique) + 1 paille transparente + patafix. A préparer à l'avance: percer le bouchon au diamètre de la paille, insérer la paille et rendre le dispositif étanche à l'aide de la patafix.
- 1 récipient de type aquarium, si possible en verre et à fond plat
- Du colorant alimentaire (n'importe quelle couleur)
- Papier essuie-tout
- 1/4 litre de l'eau fraîche (mise au réfrigérateur)
- 3 coquillages ou morceaux de corail mort

## PARTIE 1

# Représentations initiales

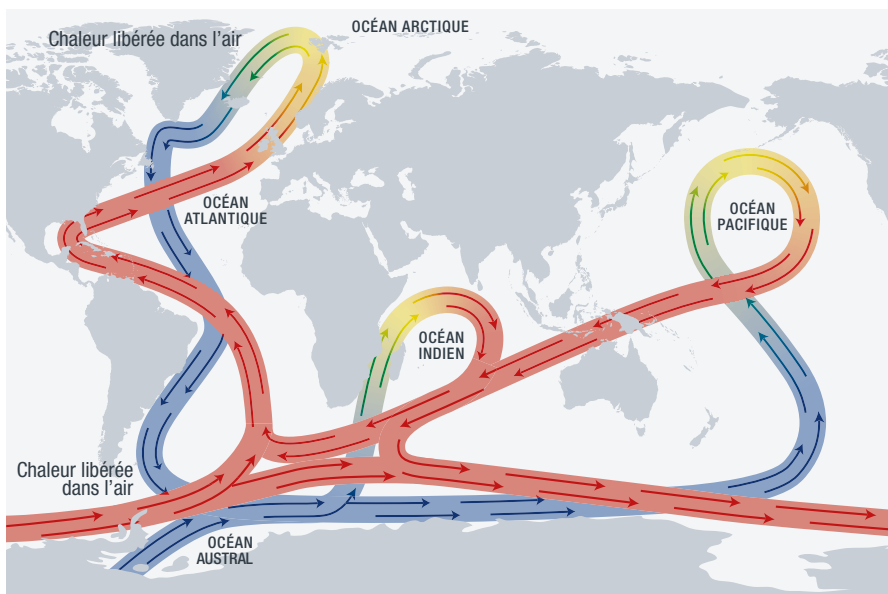
Les enseignants sont répartis en petits groupes (idéalement, 4 personnes par groupe). Le formateur leur demande, collectivement, d'expliquer en quoi océan et climat sont liés. Il note leurs réponses au fur et à mesure au tableau, sans tenter de les corriger pour le moment.

Deux types de réponses apparaissent en général :

**Certaines (minoritaires) font référence au rôle régulateur des océans sur le climat.** Les raisons invoquées sont essentiellement empiriques (par exemple «les climats océaniques sont moins contrastés que les climats continentaux») et plus rarement liées à une tentative d'explication liée à un phénomène physique particulier (courants marins, inertie thermique, cycle de l'eau).

**D'autres (plus nombreuses) font référence aux impacts du changement climatique sur les océans.** Les réponses les plus fréquemment rencontrées sont :

- La fonte de la banquise entraîne une élévation du niveau des mers (ce qui est faux, comme nous le verrons au cours de l'atelier).
- Le changement climatique va faire disparaître le Gulf Stream, entraînant alors un fort refroidissement en Europe (ce qui est également faux : cet aspect est proposé dans un prolongement).
- Le réchauffement entraîne une acidification des océans (formulé comme cela, c'est faux : le réchauffement et l'acidification sont tous deux des conséquences des émissions de CO<sub>2</sub>, mais l'acidification n'est pas causée par le réchauffement).
- Le réchauffement entraînera une augmentation de la fréquence et de l'intensité des cyclones (il y a souvent une confusion entre les cyclones et les tempêtes).
- Le réchauffement climatique entraîne une asphyxie des écosystèmes océaniques (ce qui est faux ; le rôle de «fertilisation» du CO<sub>2</sub> est en général ignoré)
- L'augmentation du niveau des mers entraînera des migrations de population et une baisse des ressources en eau douce (ce qui est vrai).



## PARTIE 2

# Augmentation du niveau des mers : fonte des glaces

---

Le formateur explique que le groupe va se focaliser sur les effets du changement climatique sur l'océan (l'inertie thermique et les courants marins font l'objet d'un autre atelier, spécifique à ces questions), et en particulier l'élévation du niveau des mers (puisque c'est en général ce qui ressort en premier dans les propositions des participants).

Il demande aux participants de préciser leur pensée s'agissant du lien entre la fonte des glaces et cette élévation. La discussion collective permet de faire ressortir une **différence éventuelle entre la fonte des glaces continentales (tout le monde pense qu'elle contribue à l'augmentation du niveau des mers) et la fonte de la banquise (les avis sont plus partagés)**.

Les groupes sont invités à réfléchir (en 5 minutes) à une ou plusieurs expériences permettant de départager ces 2 hypothèses. Chaque groupe désigne un représentant qui vient dessiner et expliquer son protocole au tableau.

Malgré la simplicité de l'expérience à mener (cf. ci-dessous), qui peut sembler triviale, il y a souvent besoin de passer du temps pour améliorer le protocole :

- Certains ne savent pas, par exemple, s'il faut noter le niveau de l'eau avant ou après avoir placé un glaçon dans le verre. La réponse est bien sûr « après » : l'expérience n'a pas pour but de vérifier qu'introduire un glaçon fait monter ou non le niveau de l'eau, mais de savoir si la fonte de ce glaçon va faire monter ou non le niveau de l'eau.
- Certains (plus rarement) proposent une expérience qui mélange plusieurs paramètres. Par exemple, un récipient contenant de l'eau, un glaçon placé dans l'eau, et un glaçon placé hors de l'eau (sur un petit promontoire simulant un continent). Dans ce cas, on ne pourra pas relier une éventuelle élévation du niveau de l'eau à la fonte de la « banquise » ou à la fonte du « glacier ».

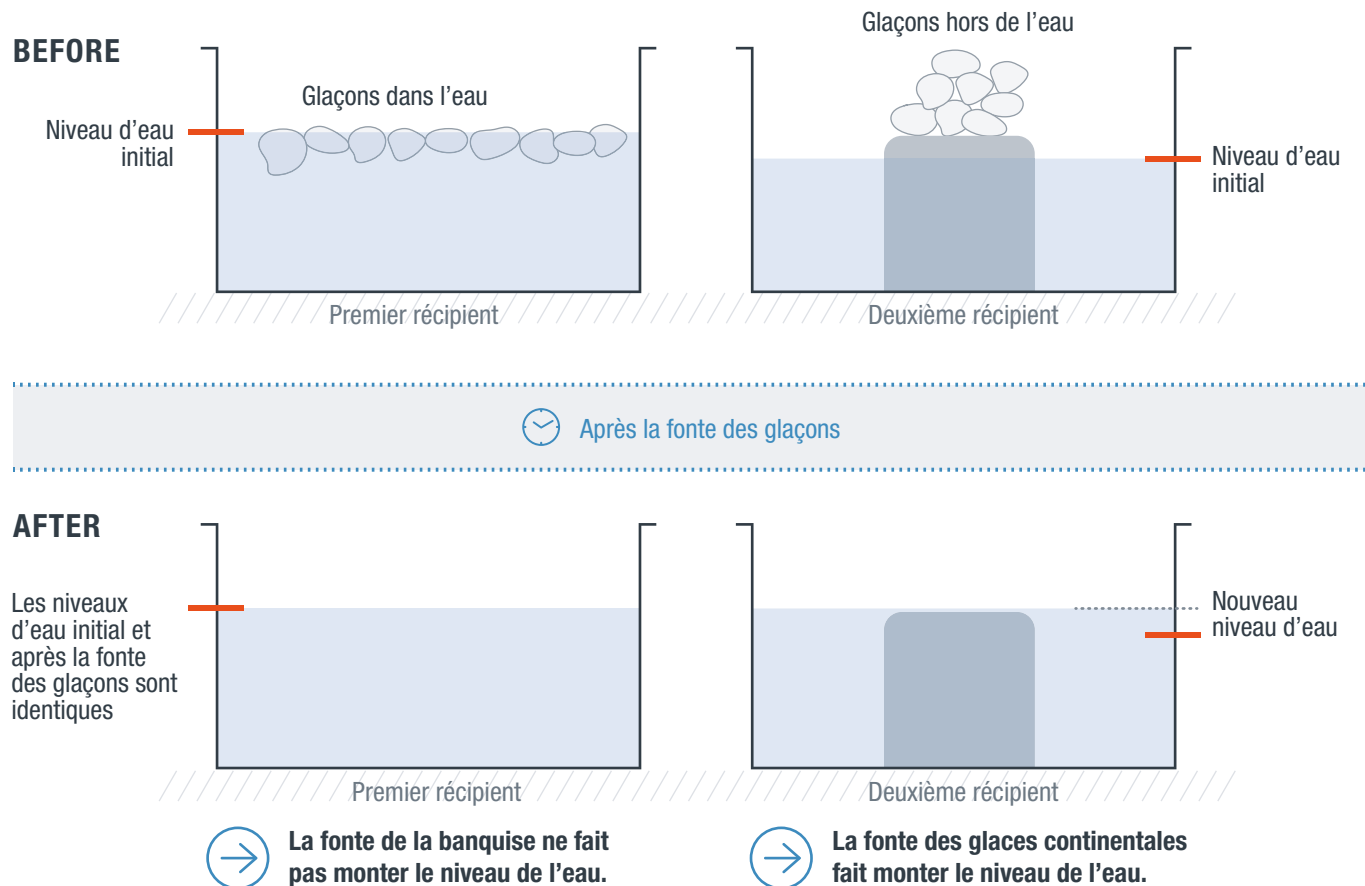


Le protocole qui emporte le consensus est le suivant :

**Dans un premier récipient, par exemple un verre, on place de l'eau ainsi qu'un (ou plusieurs glaçon(s) (attention, il faut qu'il y ait suffisamment d'eau pour que le glaçon flotte et ne soit pas «posé» au fond du récipient)).** Ce glaçon représente la banquise. On note alors le niveau de l'eau, et l'on attend la fonte du glaçon pour voir si le niveau a augmenté, diminué, ou est resté identique.

**Dans un second récipient, on place un objet, posé au fond, qui représente un continent, puis un ou plusieurs glaçons sur cet objet (ils représentent les glaciers continentaux).** On verse de l'eau autour du continent (sans le submerger : les glaçons doivent rester hors de l'eau), on note le niveau d'eau, et l'on attend la fonte des glaçons pour conclure.

ⓘ On peut ajouter du colorant dans l'eau pour mieux la visualiser



La mise en commun permet de montrer que **le niveau de l'eau monte dans un cas (fonte des calottes glaciaires – glaces continentales), mais pas dans l'autre (fonte de la banquise – glaces de mer).**

Le formateur peut expliquer pourquoi la fonte d'un glaçon dans un verre d'eau ne fait pas monter le niveau de l'eau : la partie émergée du glaçon, initialement hors de l'eau, va en fondant contribuer à l'augmentation du niveau de l'eau. La partie immergée va, en fondant, contribuer à la diminution du niveau de l'eau, car pour une même quantité d'eau, c'est-à-dire pour une même

masse, la glace occupe un volume plus important que l'eau liquide. Le formateur fait simplement constater que les 2 phénomènes se compensent exactement. C'est pourquoi le niveau de l'eau reste identique.

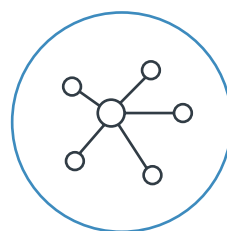
En passant, il est souvent utile de constater que la partie émergée du glaçon est très faible (10% du total). Le fait que la partie immergée corresponde à 90% du volume total est relié au fait que la densité de la glace est d'environ 90% de celle de l'eau.



### PROLONGEMENT 1

Si le formateur l'estime approprié, il peut **démontrer mathématiquement que le volume immergé d'un glaçon** (partie du glaçon en dessous du niveau de l'eau) **correspond au volume total d'eau résultante de la fonte du glaçon** (et donc que le niveau d'eau du verre reste constant suite à la fonte du glaçon).

Cette démonstration très simple, qui tient en quatre ou cinq lignes de calcul, est basée sur deux principes de base: la **conservation de la masse** (la masse du glaçon est égal à la masse du volume d'eau résultant de la fonte du glaçon) et la **poussée d'Archimède** (à l'équilibre, le poids du glaçon est identique en valeur absolue à la poussée d'Archimède, c'est-à-dire au poids du volume d'eau déplacé).



### PROLONGEMENT 2

Pendant l'expérience, le formateur peut passer dans les groupes et **demander aux participants lequel des deux glaçons fondra plus vite: celui dans l'eau (banquise) ou celui hors de l'eau (glace continentale)**. La plupart des enseignants pensent que celui hors de l'eau fondra plus vite (car la température de l'air ambiant est en général plus élevée que celle de l'eau), ce qui est faux: le transfert de chaleur est beaucoup plus efficace dans l'eau que dans l'air, essentiellement car l'eau liquide est bien plus dense que l'air.

Plus les molécules en contact avec la surface du glaçon sont nombreuses, et plus ces contacts sont fréquents, mieux se fera l'échange de chaleur. C'est pour cela que l'échange est plus efficace dans l'eau que dans l'air. C'est pour cela qu'on dit souvent que l'air est un bon isolant thermique.

Le formateur explique aux enseignants que **la banquise fond bien plus vite que les glaciers continentaux pour 2 raisons: d'une part, elle est dans l'eau et non sur terre** (cf. explication ci-dessus), **d'autre part elle n'a que quelques mètres d'épaisseur**, alors que certains les calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique font plusieurs kilomètres d'épaisseur.

## PARTIE 3

# Augmentation du niveau des mers : dilatation thermique

Le formateur explique que la fonte des glaciers continentaux est responsable d'environ 2/3 de l'augmentation du niveau des mers (sur un total d'environ 20 cm depuis la révolution industrielle) et demande aux participants d'expliquer d'où vient le 1/3 restant.

La dilatation thermique de l'eau est souvent la seule explication proposée. Le formateur demande alors aux groupes d'imaginer **une expérience permettant de montrer que l'eau se dilate quand sa température augmente.**

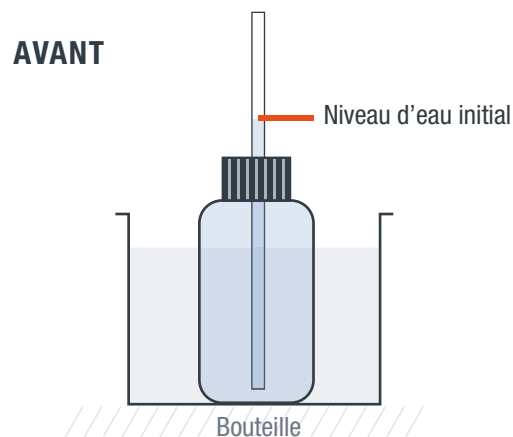
Le protocole suivant vient en général spontanément, car il s'apparente à « fabriquer une sorte de thermomètre » :

- Mettre de l'eau colorée dans un flacon ou une petite bouteille, à ras bord.
- Fermer avec un bouchon étanche (la patafix peut être utile !) traversé par une paille (on aura pris soin de percer les bouchons à l'avance pour gagner du temps).
- Noter le niveau de l'eau dans la paille à l'aide d'un feutre.
- Chauffer le récipient, par exemple en utilisant un grand récipient (saladier) et de l'eau chaude (obtenue au robinet ou via la bouilloire), pour faire un « bain marie ».

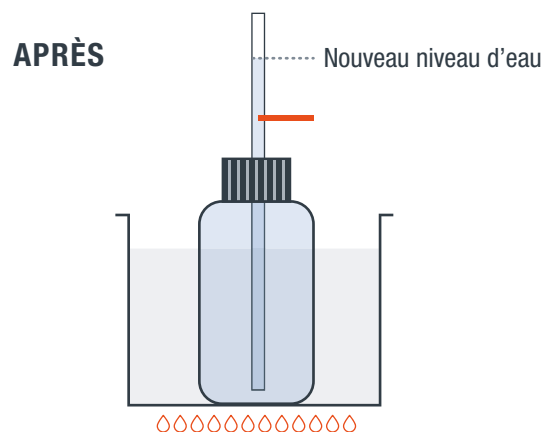
ⓘ L'expérience marche d'autant mieux que le contraste de température avant-après est élevé. Pour cette raison, on peut utiliser de l'eau mise préalablement au réfrigérateur pour remplir les flacons.

Chaque groupe réalise l'expérience (ou une expérience similaire proposée par les participants, dès lors qu'on a le matériel nécessaire et qu'elle répond à la question posée), puis les résultats sont mis en commun.

**Quand on chauffe l'eau (ici, à l'aide d'un bain-marie), le niveau monte dans la paille.**



🕒 Chauffer la bouteille (dans un « bain-marie »)



➔ Lorsqu'elle est chauffée, l'eau monte dans la paille.



En conclusion, le formateur présente un document montrant l'élévation mesurée du niveau des mers depuis la révolution industrielle et explique que, selon les scénarios, cette augmentation pourrait atteindre 50 centimètres à 2 mètres d'ici la fin du siècle. Il peut aussi expliquer qu'au cours des siècles suivants, cette augmentation pourrait atteindre 6 mètres, en raison de la fonte de la calotte arctique (glaciers du Groenland).

Une discussion s'engage sur les conséquences, notamment en termes de déplacement de population, d'érosion des côtes, de diminution des ressources en eau (par salinisation des nappes phréatiques), etc.



### PROLONGEMENT 3

**L'utilisation d'une paille (ou équivalent) est essentielle pour permettre la visualisation de la montée du niveau de l'eau.** Pour illustrer cette idée, le formateur peut présenter un calcul simple. Si on considère que l'augmentation du niveau des mers est de l'ordre de 1 mètre (prévision pour 2100) pour des océans qui ont une profondeur de l'ordre de 1 km, cela correspond à une augmentation de volume de  $1/1000$ , soit 0,1%.

Pour un récipient de volume  $1000\text{ cm}^3$  ( $10\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ ), cette augmentation est de  $1000 \times 1/1000 = 1\text{ cm}^3$ . La surface du récipient est de  $10\text{ cm} \times 10\text{ cm} = 100\text{ cm}^2$ ; cela correspond donc à une hauteur = volume/surface de  $1/100 = 0,01\text{ cm}$ . Ainsi, l'augmentation de hauteur est imperceptible (0,1 mm).

**Utiliser une paille permet de réduire considérablement la surface, et donc d'augmenter la hauteur du niveau de l'eau.** La surface d'une paille de section de  $0,5\text{ cm} \times 0,5\text{ cm}$  vaut  $0,25\text{ cm}^2$ , soit 400 fois moins que la section du récipient ( $100/0,25$ ). La hauteur d'eau observable sur la paille est donc 400 fois plus grande ( $400 \times 0,01 = 4\text{ cm}$ ), bien plus facile à visualiser.

## PARTIE 4

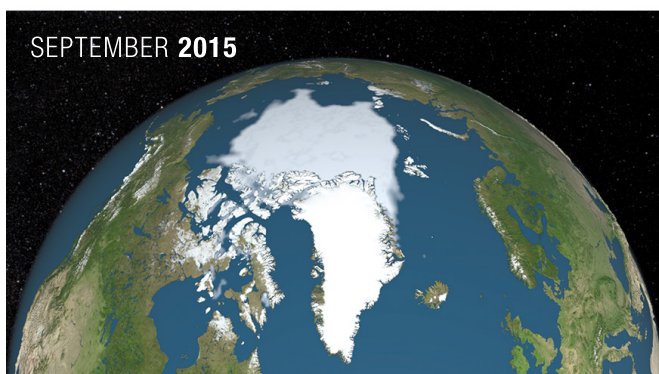
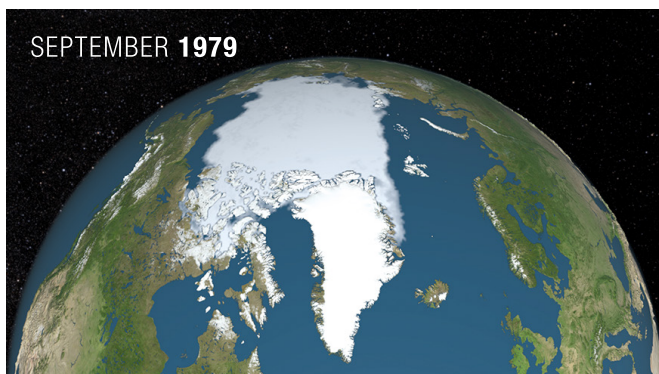
# Fonte de la banquise et albédo

Le formateur revient sur la fonte de la banquise, et questionne le groupe: «**Pourquoi les scientifiques s'inquiètent-ils de la fonte de la banquise, alors que nous avons vu qu'elle ne faisait pas monter le niveau des mers?**».

Deux types de réponse émergent :

- La banquise est un milieu de vie, pour différentes espèces (l'ours polaire, notamment) et aussi pour les hommes (populations Inuits).
- La banquise est blanche, et le blanc «repousse la chaleur».

Le formateur peut alors montrer un document (photo satellite) montrant l'étendue de la banquise, et le fort contraste de couleur entre la glace (blanche) et l'océan arctique (très sombre).



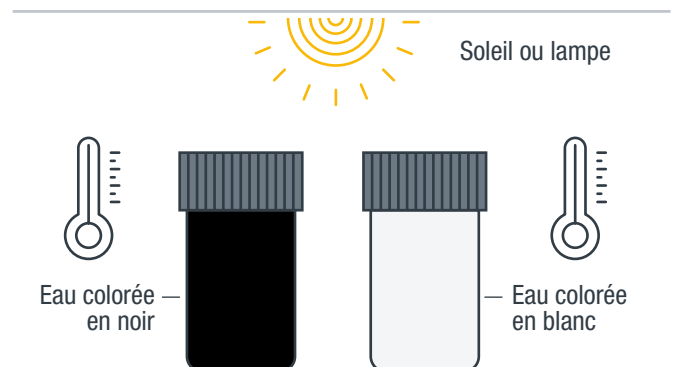
Evolution of the extent of Arctic sea ice NASA 2016

Il demande aux participants d'imaginer une expérience permettant de montrer si la couleur d'un objet joue un rôle dans la façon dont il se réchauffe, quand on l'expose au soleil.

Le protocole expérimental est très simple, mais peut donner lieu à différentes variantes. Par exemple :

**Expérience 1.** Placer des flacons au soleil (ou sous une lampe) contenant de l'eau colorée en blanc ou en noir. Mesurer leur température initialement, puis régulièrement (suivant l'ensoleillement ou la puissance des lampes : de quelques minutes à 1 heure).

⚠ Attention à ne faire varier qu'un seul paramètre (ici, la couleur) ! Les 2 flacons doivent être de même matériau, même forme, exposés au même endroit, et pendant la même durée; le volume d'eau à chauffer doit être identique, etc. En cas d'utilisation de lampes (si le soleil n'est pas au rendez-vous), il faudra 2 dispositifs parfaitement identiques, placés à la même distance des flacons, avec le même angle...



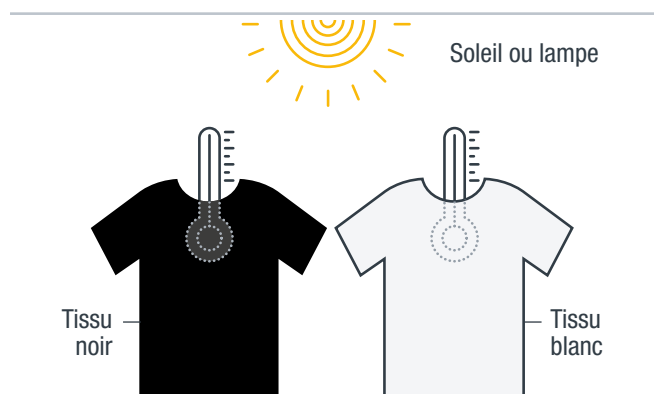
🕒 Mesurer la température des 2 solutions avant et après un intervalle de temps

➔ La température de l'eau colorée en noir augmente plus: **les objets sombres absorbent davantage de chaleur.**



**Expérience 2.** Placer 2 tissus, l'un blanc, l'autre noir, au soleil, et mesurer leur température.

ⓘ De même que précédemment, on prendra garde à ne faire varier qu'un seul paramètre, la couleur des tissus (qui doivent être de même matériau et même épaisseur).



🕒 Mesurer la température des deux tissus avant et après un intervalle de temps

➔ La température augmente plus pour le tissu noir : **les objets sombres absorbent davantage de chaleur**

Une fois que les résultats des différents groupes ont été comparés, le formateur replace ce résultat dans son contexte initial :

➔ **La banquise, grande surface blanche, renvoie 80% du rayonnement qu'elle reçoit vers l'espace (on dit que son albédo est de 80%).** Cette énergie, renvoyée vers l'espace, n'est donc pas absorbée par la Terre. Elle a un effet « refroidissant ».

➔ Au contraire, **l'océan arctique, beaucoup plus sombre, à un albédo de 10%.** La disparition de la banquise augmente donc fortement la quantité d'énergie absorbée par la surface terrestre (ici, l'océan).

Cette expérience nous permet d'aborder la notion de « rétroaction positive » (on dit aussi « feedback » ou « cercle vicieux » en langage commun). Plus les océans se réchauffent, et plus la banquise fond. Cela diminue l'albédo, ce qui augmente alors le réchauffement, qui lui-même entraîne une fonte de la banquise et une diminution de l'albédo, etc.

C'est une des raisons de l'accélération du réchauffement global depuis ½ siècle. Cette accélération peut être visualisée par une vidéo de la NASA retraçant l'évolution de la température atmosphérique depuis 1 siècle (incluse dans le diaporama fourni en annexe).

**Finalement, on en conclue que la fonte de la banquise a un effet global sur l'ensemble du climat mondial: elle accélère et amplifie le réchauffement climatique.**

Cette conclusion aide à comprendre en quoi **la Terre est un système complexe**, où les différents composants (atmosphère, océan, cryosphère) sont en interaction.

## PARTIE 5

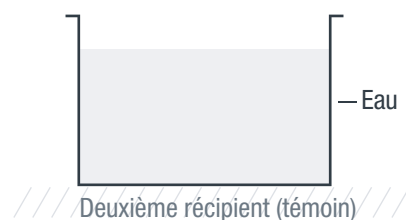
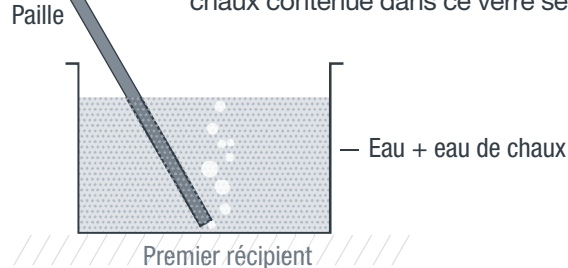
# Acidification des océans

Le formateur revient sur une des hypothèses formulées en introduction : le changement climatique contribue à l'acidification des océans.

La discussion collective permet de faire ressortir le rôle du  $\text{CO}_2$ . Le groupe met en place un protocole permettant de montrer :

1. Que le  $\text{CO}_2$  se dissout effectivement dans l'eau.
2. Que cette dissolution entraîne une baisse du pH de l'eau.

**Expérience 1.** Les participants savent en général comment mettre en évidence la présence de  $\text{CO}_2$  à l'aide d'eau de chaux. Ils réalisent donc, au sein de chaque groupe, une expérience simple consistant à remplir un verre d'eau, et ajouter un peu d'eau de chaux. Faire la même chose dans un second verre (qui sert de témoin). Dans le premier, souffler à l'aide d'une paille (l'air expiré est riche en  $\text{CO}_2$ ). On constate alors que l'eau de chaux contenue dans ce verre se trouble.



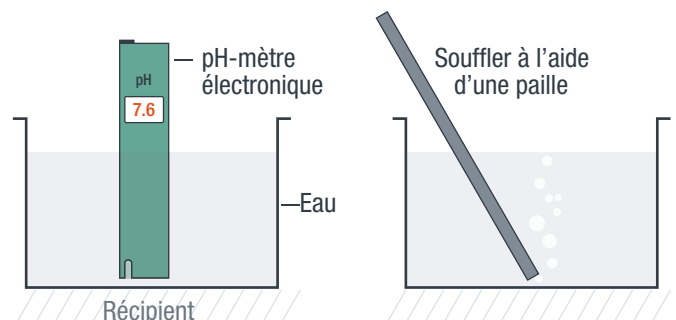
🕒 Souffler à l'aide d'une paille pendant plusieurs minutes

➔ La première solution se trouble du fait de l'importante quantité de  $\text{CO}_2$  présente dans l'air expiré.

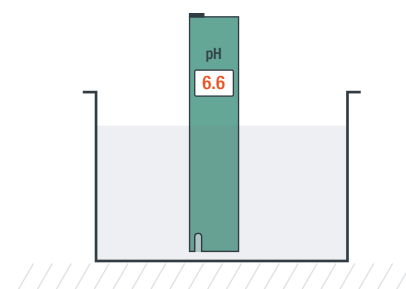
**Expérience 2.** La seconde expérience nécessite un matériel spécifique : un pH-mètre électronique. Il peut être remplacé par un kit de mesure de pH pour piscine.

⚠ Attention ! Le papier pH n'est pas pertinent pour cette expérience (les différences de pH sont trop faibles pour être visibles sous formes de nuances de couleur).

Commencer par remplir un verre d'eau et mesurer le pH de l'eau avec un pH-mètre électronique (la valeur doit être proche de 7.6). Ensuite, souffler dans le verre à l'aide d'une paille. Après avoir soufflé pendant 2 à 3 minutes, le pH est descendu à 6,6. Si plusieurs personnes soufflent en même temps, le pH peut descendre jusqu'à 6.



🕒 Mesurer le pH après avoir soufflé



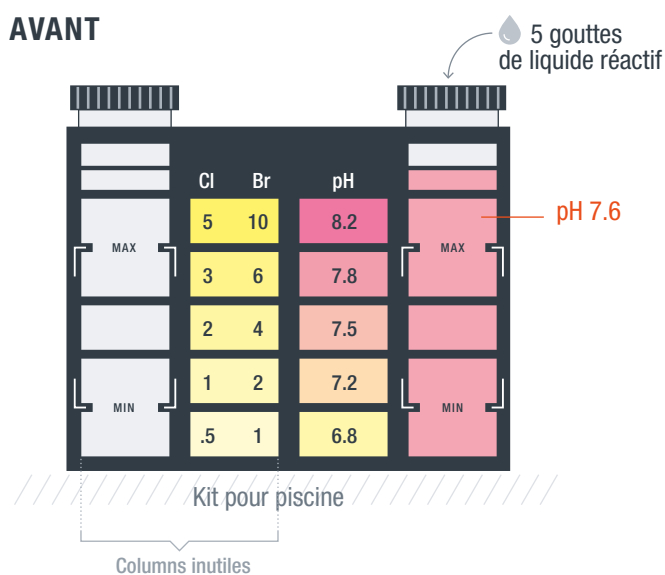
➔ Le pH descend de 7.6 à 6.6 à cause du  $\text{CO}_2$  présent dans l'air expiré.

Si un pH-mètre électronique n'est pas disponible, un kit de mesure pour piscines peut être utilisé. Son utilisation est très simple :

Mettre l'eau dans la colonne de droite (la colonne de gauche est utilisée pour mesurer la concentration en chlore, ce qui n'est pas intéressant ici), et ajouter 5 gouttes de liquide de réaction. Mélanger et lire le pH en comparant la couleur de la solution avec les couleurs de référence : le pH devrait être d'environ 7.6. Ensuite, répéter l'opération après avoir soufflé dans l'eau à l'aide d'une paille pendant quelques minutes.

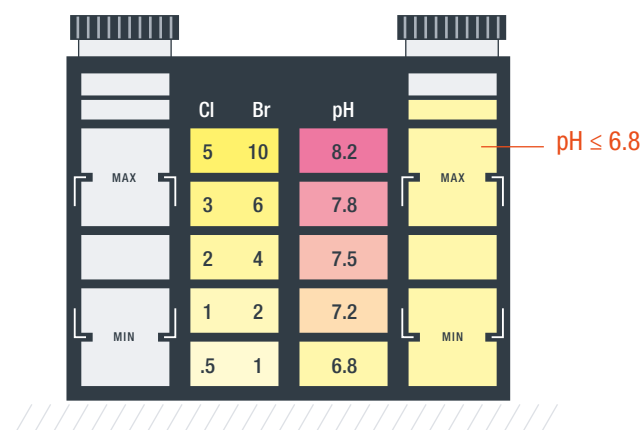
La couleur finale changera en fonction de la diminution du pH de l'eau.

## AVANT



Souffler dans l'eau à l'aide d'une paille pendant plusieurs minutes

## APRÈS



Le pH descend de 7.6 à 6.8 ou moins à cause du CO<sub>2</sub> présent dans l'air expiré.

ⓘ Certains participants peuvent émettre une objection : rien ne prouve que la diminution du pH soit due au CO<sub>2</sub>. Elle pourrait être simplement causée par le fait d'avoir « fait des bulles ». Dans ce cas, on utilise une grosse seringue en plastique (ou une pompe à vélo) pour injecter de l'air non enrichi en CO<sub>2</sub>. On constate que le pH ne change pas. L'acidification observée précédemment a donc bien été causée par le CO<sub>2</sub>.

Si les participants sont à l'aise en chimie, le formateur peut leur faire expliciter la réaction. Le formateur veille à ce que les participants comprennent bien que **l'acidification des océans n'est pas une conséquence du réchauffement global** (ça n'est pas parce que l'eau est plus chaude qu'elle est plus acide). Les 2 phénomènes sont indépendants, mais ils sont tous deux causés par les émissions de CO<sub>2</sub>.

On peut donc conclure que **les émissions de CO<sub>2</sub> ont 2 conséquences distinctes (et, toutes deux, très problématiques) : le réchauffement** (de l'atmosphère et des océans, via l'effet de serre) **et l'acidification des océans** (via le phénomène de dissolution étudié ici).

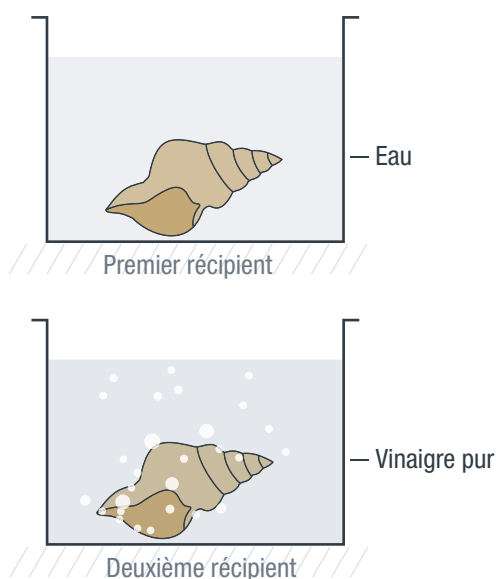
## PARTIE 6

# Conséquence de l'acidification des océans sur la biodiversité marine

Le protocole est très simple.

- Chaque groupe utilise 2 récipients (des verres transparents par exemple).
- Dans chaque récipient se trouve un morceau de corail ou un coquillage (éviter les coquillages contenant beaucoup de nacre, car la nacre résiste bien à l'acide !).
- Dans le premier récipient, on verse de l'eau, dans le second du vinaigre blanc.

On observe immédiatement que des bulles se forment dans le deuxième récipient, contenant du vinaigre pur (quelques bulles sont parfois visibles aussi sur le second récipient). En revanche, aucune bulle n'apparaît dans le premier récipient. **Le coquillage se fait « ronger » par l'acide. Si on laisse le dispositif pendant 1 à 2 jours, le coquillage disparaît entièrement.** On illustre ainsi un des deux effets de l'acidification des océans sur les coquillages : sa progressive dissolution.



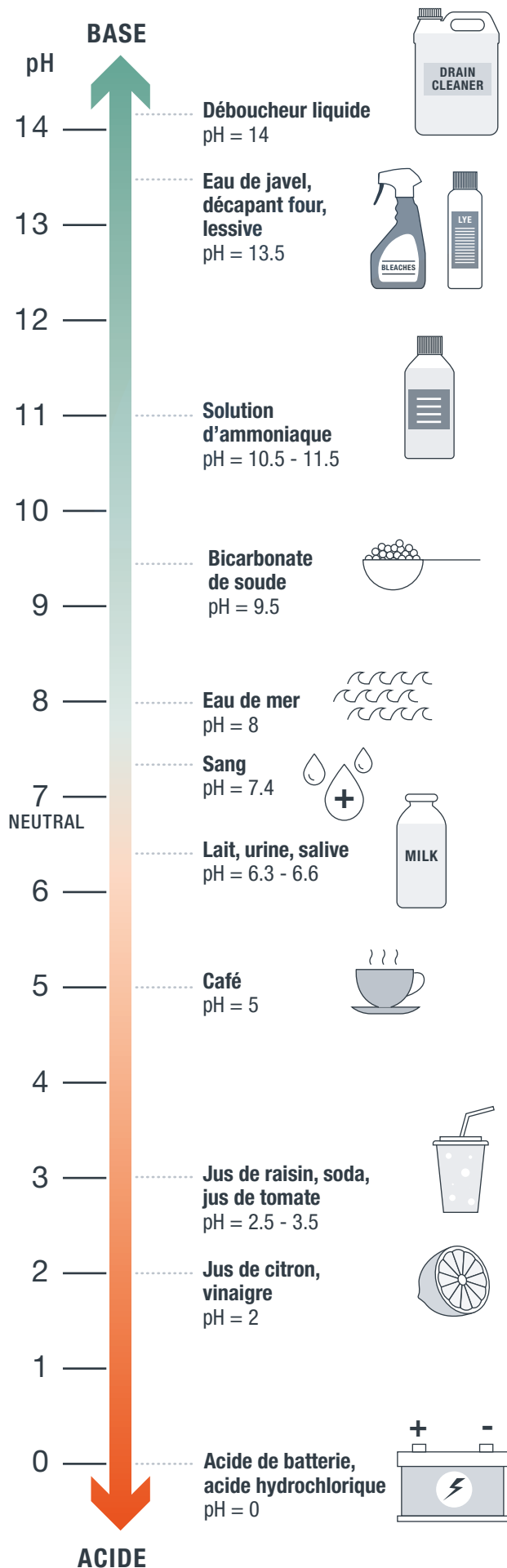
➔ Des bulles se forment dans le deuxième récipient : **le coquillage se fait « ronger » par l'acide.**



Il conviendra néanmoins de nuancer cette expérience : pour pouvoir montrer de façon visible et rapide (quelques minutes à quelques heures) l'effet de l'acidité sur ces organismes, il faut utiliser une solution très acide (ici, le vinaigre, dont le pH est entre 2 et 3), bien plus acide que ne le sont les océans (pH 8.2, devenu 8.1 depuis la révolution industrielle). **Cette expérience montre donc un effet très exagéré à des fins pédagogiques.**

Le formateur montre alors une vidéo : expérience de laboratoire montrant l'effet de l'acidification des océans sur certains organismes vivants (ptéropodes). Il explique que tous les organismes marins ne sont pas touchés par cette acidification, mais que c'est le cas en particulier pour les coraux, les coquillages et mollusques, dont le squelette calcaire est particulièrement fragile.

Le groupe peut évoquer rapidement les conséquences en cascade sur la biodiversité, conséquences qui peuvent nécessiter un atelier spécifique pour être traitées en détail.



## ÉCLAIRAGE SCIENTIFIQUE L'ACIDIFICATION DES OCÉANS

Si les participants n'ont pas de connaissances de base sur la notion d'acidité et sa mesure par le pH, le formateur peut passer quelques minutes à expliquer quelques notions élémentaires, en prenant soin à s'abstenir de tout formalisme (attention: l'origine de cette acidification et ses conséquences ne doivent pas être dévoilés tout de suite, mais plus tard, à la fin de l'atelier).

Un acide est une substance qui, dissoute dans l'eau, augmente la quantité d'ions  $H^+$ . Ces ions, très réactifs, entrent en jeu dans de nombreuses réactions chimiques (par exemple, une solution acide peut dissoudre certains composés chimiques).

Le pH est une unité qui mesure la concentration d'ions  $H^+$ . C'est une échelle logarithmique « inversée »: une solution à pH 6 est 10 fois plus acide qu'une solution à pH 7, elle-même 10 fois plus acide qu'une solution à pH 8, etc.

**Une solution est dite acide si son pH est inférieur à 7, neutre pour un pH égal à 7, et basique (ou alcaline) au-delà.** La figure ci-contre montre quelques exemples de solutions.

Quand le  $\text{CO}_2$  se dissout dans l'eau des océans, il réagit avec les molécules d'eau  $\text{H}_2\text{O}$  pour former l'acide carbonique  $\text{H}_2\text{CO}_3$  :



Il s'agit d'une réaction réversible, mais si la quantité de  $\text{CO}_2$  est trop importante, elle se fait surtout dans le sens de la production de l'acide carbonique.

La réaction qui suit naturellement est une réaction d'acide-base, avec la dissociation de l'acide carbonique en ions  $\text{H}^+$  et ions bicarbonate  $\text{HCO}_3^-$  :



Progressivement, cette réaction contribue à l'acidification des océans (due à l'augmentation de la concentration d'ions  $\text{H}^+$  et conséquente diminution du pH).

Les organismes marins possédant des exosquelettes ou des coquilles utilisent du carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) pour les construire. Le carbonate de calcium est formé à partir de la combinaison d'ions calcium et carbonate :



En présence d'un excès d'ions  $\text{H}^+$  (dans le cas d'un océan plus acide), les ions  $\text{CO}_3^{2-}$  vont s'associer préférentiellement aux ions  $\text{H}^+$  plutôt qu'aux ions  $\text{Ca}^{2+}$ , empêchant la dernière réaction décrite d'avoir lieu et donc rendant très difficile l'édification des coquilles ou squelettes calcaires des organismes marins.

De plus, si la concentration d'ions  $\text{H}^+$  est tellement élevée qu'ils ne trouvent plus d'autres ions avec lesquels se lier, ils pourront même provoquer la séparation des molécules de  $\text{CaCO}_3$  déjà existantes dans les coquillages et les exosquelettes de ses organismes, contribuant ainsi à leur destruction progressive. On dit que les coquilles ont été « dissoutes » dans la solution acide.

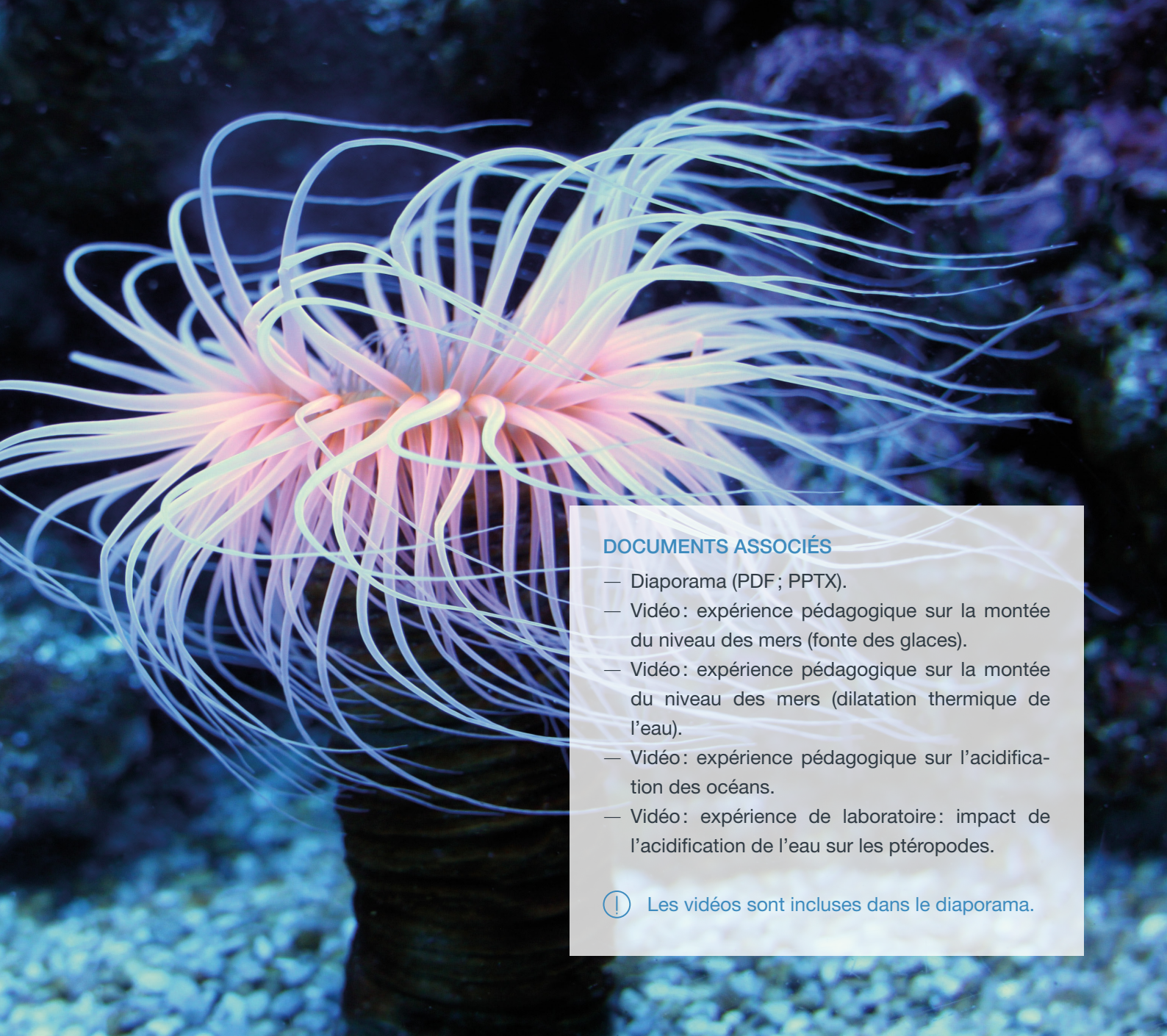
**L'absorption de  $\text{CO}_2$  par les océans a, ainsi, un double impact négatif sur les organismes marins: elle rend plus difficile la formation de nouvelle coquilles et exosquelettes et elle peut détruire ceux déjà existants.**

**Depuis la révolution industrielle, l'acidité des océans a augmenté de 30% (le pH est passé de 8,2 à 8,1 avec une accélération notable ces dernières années.**



Ce pH océanique devrait continuer de baisser de 0,3 à 0,4 unités d'ici 2100. **En conséquence, de nombreuses espèces (dont les coraux) sont menacées, avec un impact direct et massif sur la biodiversité marine, mais aussi sur l'économie et la sécurité alimentaire humaine.**

Le coût global de cette acidification pourrait représenter 1 000 milliards de dollars par an d'ici la fin du siècle.



#### DOCUMENTS ASSOCIÉS

- Diaporama (PDF ; PPTX).
- Vidéo: expérience pédagogique sur la montée du niveau des mers (fonte des glaces).
- Vidéo: expérience pédagogique sur la montée du niveau des mers (dilatation thermique de l'eau).
- Vidéo: expérience pédagogique sur l'acidification des océans.
- Vidéo: expérience de laboratoire: impact de l'acidification de l'eau sur les ptéropodes.

! Les vidéos sont incluses dans le diaporama.

## Autres ateliers possibles après celui-ci

Cet atelier sur l'océan et le climat peut constituer un préalable intéressant à d'autres ateliers :

→ Un atelier permettant d'approfondir **les effets du changement climatique sur la biodiversité marine**: notions de réseaux trophiques, fragilité des équilibres, focus sur quelques écosystèmes (récifs coralliens, mangroves, milieu polaire...).

→ Un atelier permettant d'approfondir **les interactions entre océan et atmosphère**, en particulier sur l'inertie thermique des océans et sur les courants marins.

→ Un atelier orienté sur les solutions (adaptation/atténuation).



«Les Parties coopèrent en prenant [...] des mesures pour améliorer l'éducation» affirme l'article 12 de l'Accord de Paris, tandis que 113 Académies des sciences recommandent, dans leur récente déclaration sur le changement climatique et l'éducation: «*éduquer les générations présentes et futures aux changements climatiques et leur apprendre à agir avec un esprit critique et un cœur plein d'espoir est essentiel pour l'avenir de l'humanité. L'éducation scientifique doit relever ce défi [...]*».

En réponse à ces appels urgents, les climatologues et éducateurs se mobilisent pour créer un **Office for Climate Education**. Les enseignants, et tout particulièrement ceux des écoles primaires et secondaires, sont les acteurs clés pour mettre en œuvre ces recommandations. L'Office produit à leur

intention une variété de ressources basées sur les pédagogies actives. L'Office accompagne sur la période 2018-2022 la publication par le GIEC des «Rapports d'évaluation» et des «Résumés à l'intention des décideurs» par des «Rapports et ressources pour les enseignants», qui mettent l'accent sur les problématiques d'adaptation et d'atténuation. Il porte une attention particulière aux pays en développement.

L'Office for Climate Education travaille en étroite collaboration avec les éducateurs et les experts des sciences du climat comme des sciences sociales. Il s'appuie sur un secrétariat exécutif, installé à Paris, et coordonne l'action d'un vaste réseau de partenaires locaux et régionaux, comptant d'ores et déjà une quarantaine de pays. Les ressources sont conçues globalement, puis adaptées aux différents

contextes locaux et testées dans les classes. L'Office participe également à la diffusion des ressources existantes produites dans le même esprit.

L'Office for Climate Education a démarré son activité en 2018 grâce à des soutiens publics et privés provenant de partenaires français et allemands. Il amplifiera ses actions en fonction des ressources qu'il pourra mobiliser, et développera des collaborations, en particulier avec le GIEC et l'IAP – l'assemblée des Académies des sciences du monde entier.

<http://oce.global>  
[contact@oce.global](mailto:contact@oce.global)  
Sorbonne Université, Case 100  
Campus Pierre et Marie Curie  
4, place Jussieu  
75005 Paris – France

