

Océan et climat : courants et inertie thermique

Une séquence du projet *L'océan, ma planète... et moi !*

Résumé

Les élèves s'interrogent sur l'origine et l'entretien des courants océaniques et réalisent, par une expérience, que l'eau chaude est moins dense que l'eau froide. Ils expérimentent ensuite et réalisent que l'eau salée est plus dense que l'eau douce. Cette différence de salinité peut alimenter des courants marins, comme le Gulf Stream. Enfin, à l'aide d'une expérience montrant l'inertie thermique de l'eau et d'une étude documentaire, ils mettent en évidence le rôle des océans dans la régulation des climats.

Séance 3 – Les courants thermiques

Résumé	Les élèves s'interrogent sur l'origine et l'entretien des courants océaniques et réalisent, par une expérience, que l'eau chaude est moins dense que l'eau froide.
Notions	<ul style="list-style-type: none">• L'eau, comme tous les éléments, se dilate quand on la chauffe :<ul style="list-style-type: none">– les différences de température entre la surface et le fond ou entre plusieurs zones géographiques peuvent créer des courants océaniques ;– le réchauffement planétaire perturbe les courants marins.
Modalités d'investigation	Modélisation
Matériel	<ul style="list-style-type: none">• Pour chaque groupe :<ul style="list-style-type: none">– un bac transparent,– un petit flacon,– de l'eau froide (mise au réfrigérateur),– de l'eau tiède (température ambiante),– de l'eau chaude ou une bouilloire,– du colorant alimentaire rouge et bleu.• Pour chaque élève :<ul style="list-style-type: none">– une photocopie de la Fiche 3 (d'abord la première partie puis, en fin de séance, la seconde partie).
Lexique	courant thermique, densité, débit
Durée	1 heure

Question initiale

L'enseignant demande aux élèves ce qu'ils connaissent comme grands courants océaniques. Certains peuvent citer le Gulf Stream, mais d'autres peuvent citer des courants plus « exotiques », comme le Courant est-australien (CEA), célèbre depuis la sortie du film d'animation *Le Monde de Néo...*

Il distribue à chaque élève la première moitié de la Fiche 3. Ce document montre l'organisation des grands courants océaniques de la planète (l'ensemble de ces courants est appelé « circulation thermohaline », dont l'étymologie, donnée en fin de séance suivante, n'a pas à être spécifiée pour le moment, afin de ne pas court-circuiter la réflexion des élèves).

Pour une meilleure visibilité, on peut demander aux élèves de colorier en rouge les courants de surface et en bleu les courants profonds. L'enseignant demande aux élèves de s'intéresser plus particulièrement au Gulf Stream, ce courant qui forme une boucle dans l'Atlantique Nord. Il leur fait remarquer que l'eau, en arrivant vers l'Islande, plonge dans les profondeurs, puis repart vers le sud en longeant la côte est-américaine. Pour certains élèves, ceci est déjà en soi une surprise, car ils s'imaginent que les courants chauds sont autour de l'équateur et les courants froids autour des pôles uniquement.

La question est : *pourquoi le Gulf Stream plonge-t-il en arrivant près de l'Islande ?* ou, dit autrement : *comment peut-on faire couler de l'eau ?*

Recherche (expérimentation)

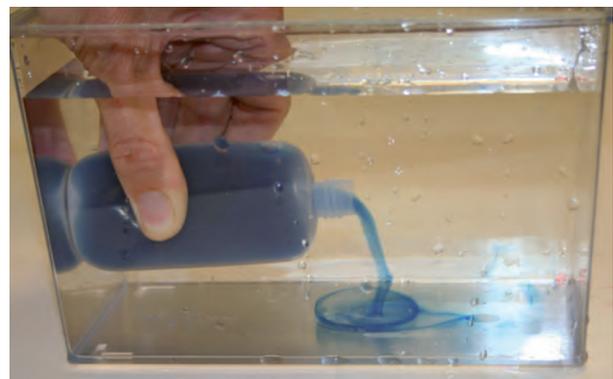
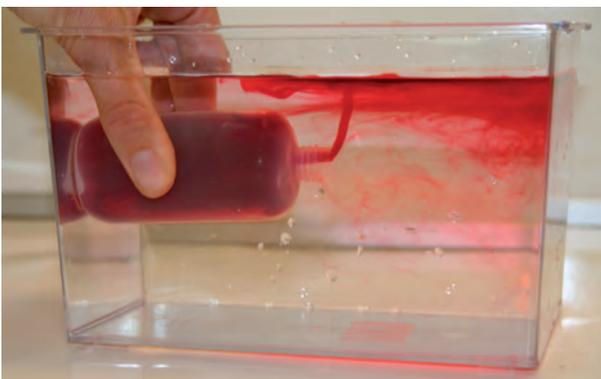
Les élèves peuvent proposer plusieurs explications (température, salinité, etc.). Celle qui vient le plus facilement est en général la température (cette proposition est encouragée ici par le fait que le courant

vient de l'équateur et se dirige vers le pôle Nord). La proposition des élèves est par exemple : *quand on mélange de l'eau chaude et de l'eau froide, l'eau froide « coule » et l'eau chaude « flotte »*. Ou : *l'eau froide est plus « lourde » que l'eau chaude*.

La classe discute collectivement d'une ou plusieurs expériences qui permettraient de vérifier ces hypothèses.

Une expérience simple, et très efficace, consiste par exemple à prendre un bac d'eau à température ambiante (eau tiède). Dans ce bac, on va plonger un petit flacon contenant de l'eau chaude que l'on aura colorée (en rouge par exemple). Lorsque l'on débouche le flacon, l'eau chaude monte en surface. La même expérience peut être réalisée en versant de l'eau froide (colorée en bleu par exemple) dans de l'eau tiède.

Avant de réaliser l'expérience, prendre le temps de bien la décrire pour toute la classe et demander aux élèves d'anticiper le résultat. Certains auront peut-être une idée différente de l'hypothèse dominante... L'expérience (ou une autre du même type proposée par les élèves) est réalisée par chaque groupe.



À gauche, de l'eau chaude (colorée en rouge) se déverse dans de l'eau tiède et monte à la surface.
À droite, même expérience mais avec de l'eau froide (colorée en bleu) qui plonge vers le fond.

Note pédagogique

- Attention : pour éviter les brûlures mais aussi pour ne pas faire fondre le flacon, s'il est en plastique, il importe de ne pas trop chauffer l'eau. L'expérience n'a d'ailleurs pas besoin d'eau très chaude pour fonctionner. Une eau à 40 °C suffit largement. Pour l'eau froide, il est préférable de l'avoir placée au réfrigérateur.
- Le flacon doit être positionné de façon à ce que sa sortie soit horizontale, afin de ne pas « orienter » le jet d'eau froide ou d'eau chaude à sa sortie.
- Au début de l'expérience, il faut remplir le flacon à ras bord afin d'éviter les bulles et le boucher avec le doigt. Pour éviter tout problème (créer un courant artificiel, par exemple), il faut soit laisser l'eau sortir toute seule du flacon, soit appuyer très légèrement dessus pour la faire sortir tout doucement.

Mise en commun et conclusion

L'expérience réalisée par les élèves, pourtant très simple, est une vraie surprise pour eux : on peut faire couler ou flotter de l'eau !

S'appuyant sur ce que les élèves savent au sujet de la flottabilité, on interprète l'expérience par le fait que l'eau froide est plus dense que l'eau chaude (à masse égale, son volume est plus faible), c'est pourquoi elle coule. Cela peut être vérifié expérimentalement si la classe dispose d'une balance précise (peser un même volume d'eau chaude et d'eau froide et constater que l'eau chaude est moins lourde, c'est-à-dire moins dense).

La classe en déduit que les écarts de température peuvent être à l'origine de certains courants océaniques. Cette conclusion est notée dans les cahiers d'expériences.

Cependant, nous allons maintenant voir que le cas du Gulf Stream n'est pas si simple. L'enseignant distribue en effet la seconde partie de la Fiche 3, qui pose le problème: la différence de température ne peut pas expliquer pourquoi le Gulf Stream s'enfonce en arrivant près du pôle puisque, le courant étant plus chaud que l'eau environnante, il devrait rester en surface.

À ce stade, il s'agit simplement de recueillir les hypothèses des élèves: elles seront explorées à la séance suivante.

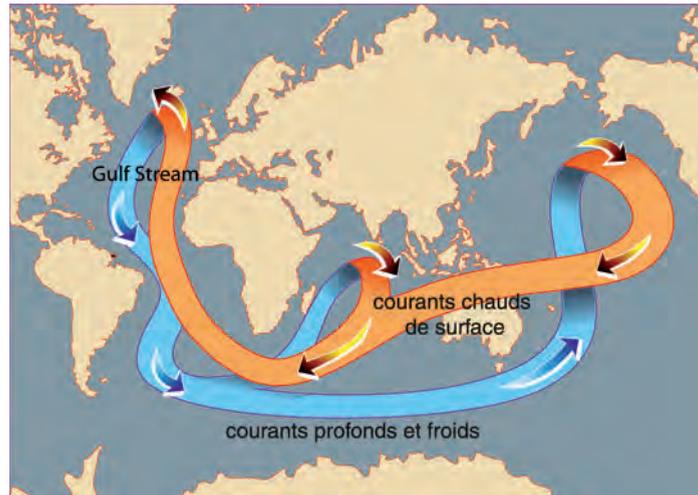
Prolongement

Une autre expérience est possible pour modéliser les courants de température. Plus spectaculaire, elle est néanmoins plus difficile à concevoir: il est peu probable qu'elle soit proposée par les élèves... mais elle peut l'être par l'enseignant en prolongement! Il s'agit de faire communiquer deux bouteilles, l'une contenant de l'eau chaude (colorée en rouge) et l'autre contenant de l'eau froide (colorée en bleu). La communication se fait à l'aide de deux pailles, comme sur la photo ci-dessous (on rend étanche le dispositif à l'aide d'un pistolet à colle). Initialement, la circulation est bloquée par des pinces à linge placées sur les pailles. Quand on retire les pinces, l'expérience démarre...



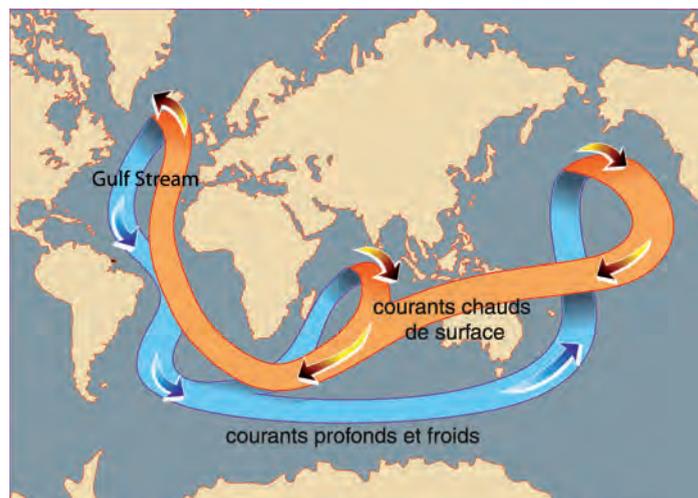
Au bout d'une dizaine de minutes, le résultat est assez parlant: l'eau froide (bleue) et l'eau chaude (rouge) ont circulé entre les deux bouteilles. L'eau froide, plus dense, circule dans la paille du bas, et l'eau chaude, moins dense, circule dans la paille du haut.

FICHE 3 Les grands courants océaniques



Le Gulf Stream est un courant chaud qui vient de l'équateur et se dirige vers le pôle Nord. Alors que son débit est de 140 milliards de litres par seconde, environ 1/10^e de cette masse d'eau plonge vers les profondeurs en arrivant au large de l'Islande.

Pourtant, le Gulf Stream, en Islande, est toujours plus chaud que les eaux environnantes. Pourquoi, dans ce cas, s'enfonce-t-il dans les profondeurs ?



Le Gulf Stream est un courant chaud qui vient de l'équateur et se dirige vers le pôle Nord. Alors que son débit est de 140 milliards de litres par seconde, environ 1/10^e de cette masse d'eau plonge vers les profondeurs en arrivant au large de l'Islande.

Pourtant, le Gulf Stream, en Islande, est toujours plus chaud que les eaux environnantes. Pourquoi, dans ce cas, s'enfonce-t-il dans les profondeurs ?

Séance 4 – Les courants de salinité

Résumé	Les élèves expérimentent et réalisent que l'eau salée est plus dense que l'eau douce. Cette différence de salinité peut alimenter des courants marins, comme le Gulf Stream.
Notions	<ul style="list-style-type: none">• L'eau salée est plus dense que l'eau douce. Cette différence de salinité entretient des courants marins, comme le Gulf Stream.• Depuis plus d'un siècle, la Terre se réchauffe.• La banquise arctique fond.• La banquise est faite d'eau douce :<ul style="list-style-type: none">– autour de la banquise, l'eau de l'océan Arctique est plus salée que la moyenne,– cette différence de salinité entretient des courants marins, comme le Gulf Stream.• La fonte de la banquise perturbe les courants de salinité.• Le réchauffement planétaire perturbe les courants marins.
Modalités d'investigation	Expérimentation
Matériel	<ul style="list-style-type: none">• Pour chaque groupe :<ul style="list-style-type: none">– un bac transparent,– un petit flacon,– de l'eau,– du sel,– du colorant alimentaire.• Pour chaque élève :<ul style="list-style-type: none">– une photocopie de la Fiche 4.
Lexique	Courant de salinité, saumure, thermohaline
Durée	1 heure

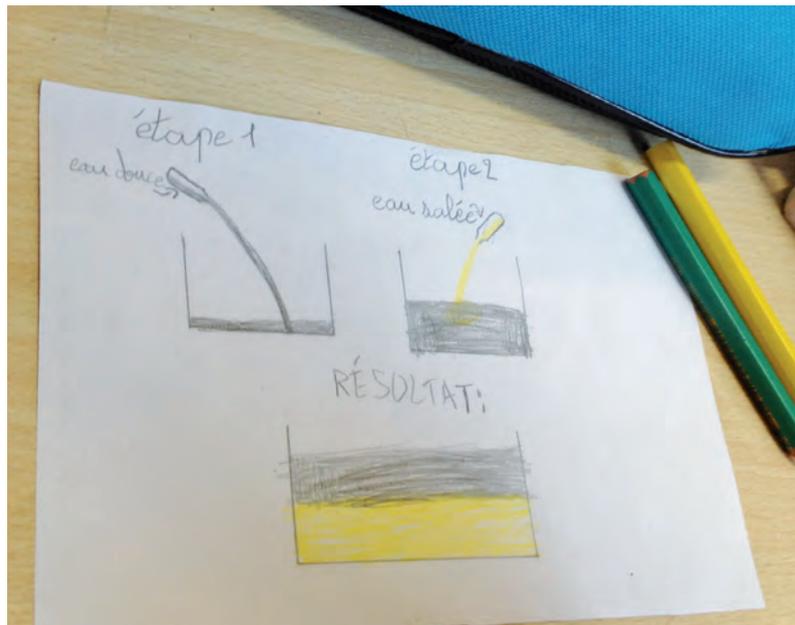
Question initiale

L'enseignant revient sur les conclusions de la séance précédente : des différences de température peuvent créer des courants marins... mais il doit y avoir une autre explication dans le cas du Gulf Stream.

L'enseignant demande quelle peut être la différence, outre la température, entre l'eau venant de l'équateur et celle présente au large de l'Islande. Si les élèves n'ont pas d'idée, il peut les guider progressivement, en faisant remarquer que, près du pôle, il y a la banquise... et que cette banquise est principalement faite d'eau douce. Où se retrouve le sel ? Réponse : dans l'eau environnante. En conséquence, près de la banquise, l'eau de la mer est plus salée.

Recherche (expérimentation)

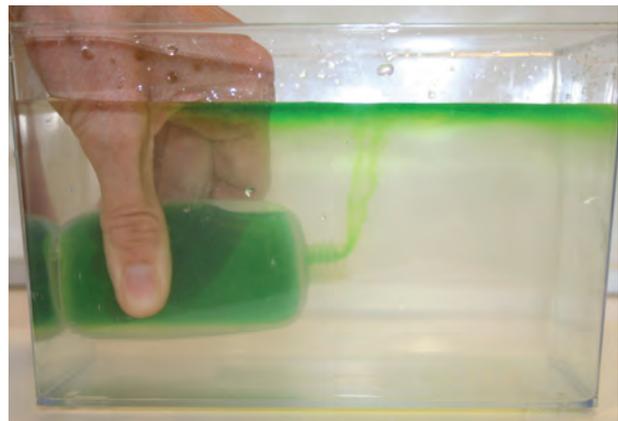
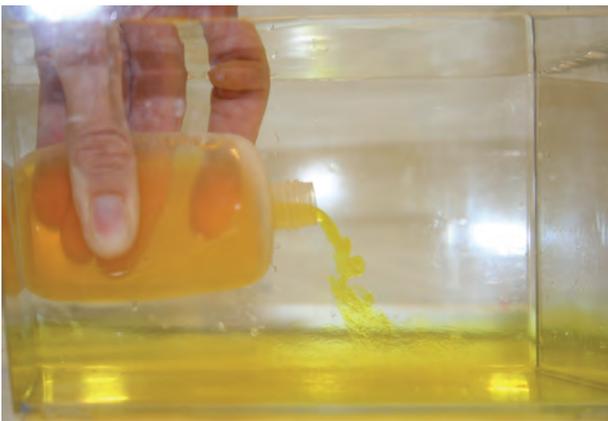
L'enseignant demande alors à la classe quelle expérience pourrait montrer si l'eau salée est plus ou moins dense que l'eau douce (ou l'eau moins salée). Sans difficulté, les élèves imaginent un dispositif proche de celui de la séance précédente.



Classe de CP/CM2 de Marion Fouret (Le Kremlin-Bicêtre)

Dans un bac d'eau douce, on verse de l'eau salée qu'on aura colorée au préalable. Ou, réciproquement, dans un bac d'eau salée, on verse de l'eau douce.

Les expériences sont réalisées par les différents groupes.



À gauche, on verse de l'eau salée (ici, colorée en jaune) dans l'eau douce: elle coule. À droite, on verse de l'eau douce (colorée en vert) dans l'eau salée: elle monte à la surface.

Note scientifique

- Plus l'écart de salinité est important, plus l'expérience est probante. C'est pourquoi ici on a pris, d'un côté de l'eau douce, de l'autre de l'eau riche en sel. Trois ou quatre cuillères à soupe de sel par litre d'eau permettent d'obtenir une salinité proche de celle de l'eau de mer.

Mise en commun

Cette expérience montre que les différences de salinité peuvent créer des courants océaniques, en raison de leur différence de densité. Ces courants s'appellent des « courants de salinité ».

On peut prolonger la séance en montrant, par une expérience simple, que l'eau salée est bien plus dense que l'eau non salée. Il suffit pour cela de disposer d'une balance de précision: pour un même volume, l'eau salée est en effet plus lourde que l'eau douce.

Étude documentaire

L'enseignant distribue la Fiche 4 à chaque élève. Après un temps de lecture individuel, il organise une mise en commun.

Cette fiche documentaire confirme l'existence des courants de salinité, et la raison pour laquelle ils sont en œuvre près de la banquise.

Le document montre également que les grands courants océaniques s'organisent en une circulation globale qualifiée de thermohaline (du grec *thermos*, la chaleur, et *halos*, le sel).

Conclusion

L'eau salée est plus dense que l'eau non salée. Les différences de salinité sont à l'origine de certains courants océaniques. Le changement climatique, en faisant fondre la banquise et en réchauffant les océans, perturbent les grands courants océaniques comme le Gulf Stream.

FICHE 4

La circulation thermohaline : température et salinité

Sur Terre, les océans sont animés en permanence de grands courants. On appelle cette circulation permanente la « circulation thermohaline ». En grec, *thermos* signifie la température, et *halos* le sel. Ces courants peuvent donc être créés et entretenus soit par des différences de température, soit par des différences de salinité.

Le Gulf Stream fait partie de cette grande circulation générale, et brasse l'océan Atlantique Nord.

À l'équateur, l'océan est plus chaud qu'aux pôles, car davantage chauffé par le Soleil. Le Gulf Stream, poussé par les vents, part de l'équateur et l'eau chaude voyage en surface vers le pôle Nord. Arrivant près de la banquise, cette eau se refroidit et se charge en sel*. Elle devient alors plus dense et s'enfonce vers les profondeurs où elle repart vers l'équateur.

Le changement climatique va perturber la circulation thermohaline, pour deux raisons. D'une part, les régions polaires se réchauffent plus que les régions équatoriales : les différences de température vont donc diminuer, ce qui va perturber les courants thermiques. D'autre part, la fonte de la banquise va diminuer la salinité de la mer Arctique, et perturber ainsi le Gulf Stream.

*** Pourquoi l'eau est-elle plus salée aux environs des cercles arctiques ?**

En hiver, lorsque la température de l'eau de mer atteint $-1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, celle-ci commence à geler. Une fine pellicule de glace se forme à sa surface, emprisonnant cristaux de glace et gouttelettes de saumure (eau saturée en sel). Progressivement, alors que cette pellicule de glace devient une banquise de 2 mètres d'épaisseur, les gouttelettes de saumure coulent à travers la glace et sont rejetées à la mer. Voilà pourquoi la banquise est douce et l'océan Arctique très salé !

Séance 5 – L’inertie thermique des océans

Résumé	À l’aide d’une expérience montrant l’inertie thermique de l’eau et d’une étude documentaire, les élèves mettent en évidence le rôle des océans dans la régulation des climats.
Notions	<ul style="list-style-type: none">• Les océans jouent un rôle de régulation des climats.• Les océans adoucissent le climat près des côtes, en favorisant des hivers moins froids et des étés moins chauds.
Modalités d’investigation	Étude documentaire, expérimentation
Matériel	<ul style="list-style-type: none">• Pour chaque binôme :<ul style="list-style-type: none">– 1 photocopie de la Fiche 5.• Pour toute la classe :<ul style="list-style-type: none">– trois saladiers,– trois thermomètres,– de l’eau, de la terre, du sable, de la semoule...
Lexique	Inertie thermique, climat océanique, climat continental, amplitude thermique, latitude
Durée	2 heures (en plusieurs fois)

Cette séance cible principalement les classes de collège, plus habituées à l’interprétation de graphes complexes. De plus, il vaut mieux démarrer cette séance en début de journée, et la finir en fin de journée car la seconde expérimentation nécessite plusieurs heures de chauffage (ou de refroidissement).

Question initiale

La classe rappelle les conclusions de la précédente séance : *Les différences de température et de salinité gouvernent l’existence de grands courants marins à la surface du globe.*

L’enseignant annonce que, désormais, on va étudier l’influence des océans sur les climats. *On parle parfois de climat océanique : qu’est-ce que cela signifie ? Comment les océans peuvent-ils avoir une influence sur le climat d’une région ?*

Recherche (étude documentaire)

Après avoir rassemblé au tableau les diverses hypothèses, l’enseignant distribue la Fiche 5. Les élèves étudient, par binômes, les variations annuelles de température sur une paire de villes situées à des latitudes similaires. Cependant, chaque paire propose une ville côtière et une ville « continentale », quelques centaines de kilomètres à l’intérieur des terres.

Avant de laisser les élèves travailler en autonomie, s’assurer que la consigne est bien comprise, notamment les termes « latitude » et « amplitude thermique ».

Mise en commun

Les premières conclusions vont peut-être se contenter d’un descriptif général de ces courbes de température : plus chaudes en été qu’en hiver, et plus chaudes aux basses latitudes qu’aux hautes latitudes. L’enseignant peut alors orienter l’analyse sur des détails plus fins : en particulier, l’amplitude des températures entre hiver et été est moins grande près des côtes qu’au cœur des terres. Autrement

dit, le climat de type « océanique » présente des hivers plus doux et des étés moins chauds que le climat dit « continental ».

Note scientifique

- La présence de l'océan influence la température de l'air, mais également son humidité : près des côtes, les précipitations seront souvent plus importantes, et les vents également.
- Un effet supplémentaire sera décrit dans la séance « L'observation des océans » (séquence 3, page 172). Le Gulf Stream est un courant chaud qui adoucit le climat de l'Europe de l'Ouest. En comparaison, à des latitudes égales, le Canada et les États-Unis subissent l'influence des courants froids issus du Groenland, et connaissent des hivers bien plus rigoureux.

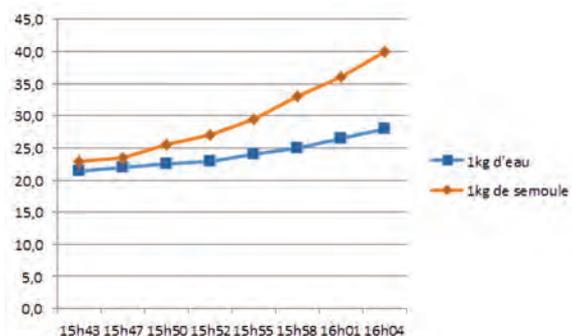
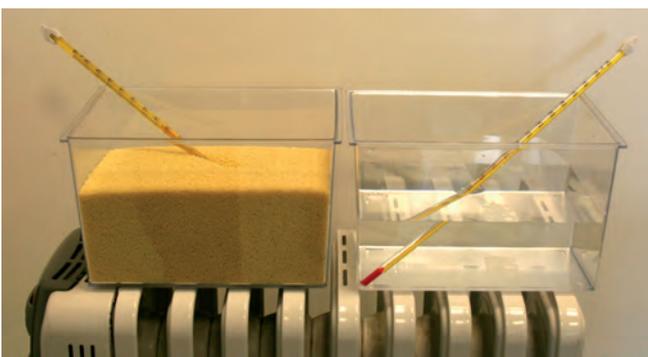
Recherche (expérimentation)

L'enseignant amorce alors une seconde discussion sur l'origine de cette régulation des températures par les océans. Si les élèves n'ont pas d'idée, il peut les guider en leur demandant : *est-ce que l'eau et la terre se réchauffent ou se refroidissent de la même façon ?*

Note scientifique

- Plusieurs facteurs peuvent entrer en ligne de compte : la capacité thermique du matériau (la façon dont il se réchauffe en recevant de l'énergie), également appelée « inertie thermique », l'albédo (la façon dont il réfléchit ou absorbe la lumière), qui dépend elle-même de la couleur, de l'état de la surface, etc. Ce qui nous intéresse ici, c'est l'inertie thermique (l'albédo est étudié plus loin, page 80).
- Pour cette raison, il faut éviter d'utiliser une source lumineuse (spot, soleil) pour réchauffer le matériau.

La classe réfléchit collectivement à un protocole expérimental permettant de voir si l'eau se réchauffe de la même façon que la terre, sous l'effet d'une source de chaleur. Le plus simple est de placer ces matériaux dans un récipient posé sur un radiateur. L'enseignant doit s'assurer qu'un seul paramètre change au cours de l'expérience : par exemple, il faudra utiliser des récipients identiques (saladier, boîte en plastique...), des masses égales (1 kg par exemple) de terre, d'eau, de sable, de semoule, etc. La température sera relevée toutes les 5 ou 10 minutes, pendant au moins 1/2 heure.



Posée à même un radiateur bien chaud, il suffit d'une demi-heure pour que la semoule (à gauche) gagne 17 °C. Dans le même laps de temps, la même quantité d'eau (1 kg) n'aura gagné que 6 °C.

Notes scientifiques

- Dans notre exemple, nous avons utilisé de la semoule (sèche) et de l'eau, en masses égales (1 kg), posées sur un radiateur sur thermostat 6. Ceci explique pourquoi

l'expérience a été si rapide (une demi-heure). Avec un thermostat plus raisonnable, l'expérience durera plus longtemps, mais avec des résultats similaires.

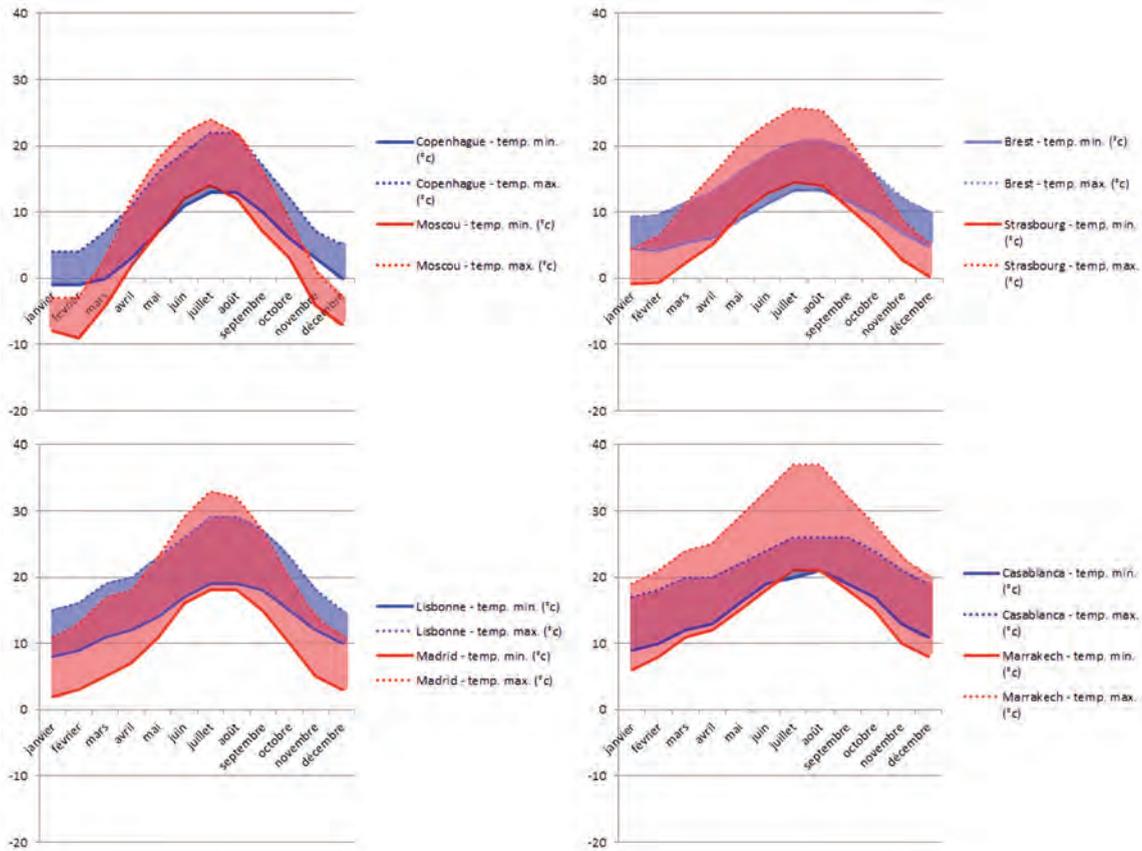
- L'interprétation de cette expérience est simple: en un temps donné, l'eau se réchauffe moins que la semoule. De même, en un temps donné (quelques mois), l'océan se réchauffe moins que le continent, c'est pourquoi il fait moins chaud en été.
- On peut décider de prolonger cette expérience jusqu'à atteindre l'équilibre thermique: la température va se stabiliser pour les deux bacs, à la même valeur. La conclusion porte alors non pas sur l'ampleur du réchauffement (qui est la même), mais sur sa vitesse (qui est plus lente pour l'eau que pour la semoule).

On peut faire une autre expérience similaire: au lieu de placer l'eau et le sable/la terre/la semoule sur un radiateur, on les place au réfrigérateur (au même étage si possible pour avoir la même température) et on mesure à quelle vitesse ces matériaux se refroidissent. Là aussi, on verra que l'eau se refroidit plus lentement. On parle ici d'«inertie thermique» des océans. Ils sont moins sensibles aux variations de chaleur et permettent donc aux régions côtières de bénéficier d'un environnement thermique plus stable.

Mise en commun et conclusion

Les élèves débattent d'une conclusion commune qu'ils recopient dans leur cahier d'expériences. *Les climats océaniques sont plus doux que les climats continentaux grâce à l'inertie thermique des océans: l'eau est moins sensible aux variations de température que la terre. L'océan est un important régulateur du climat.*

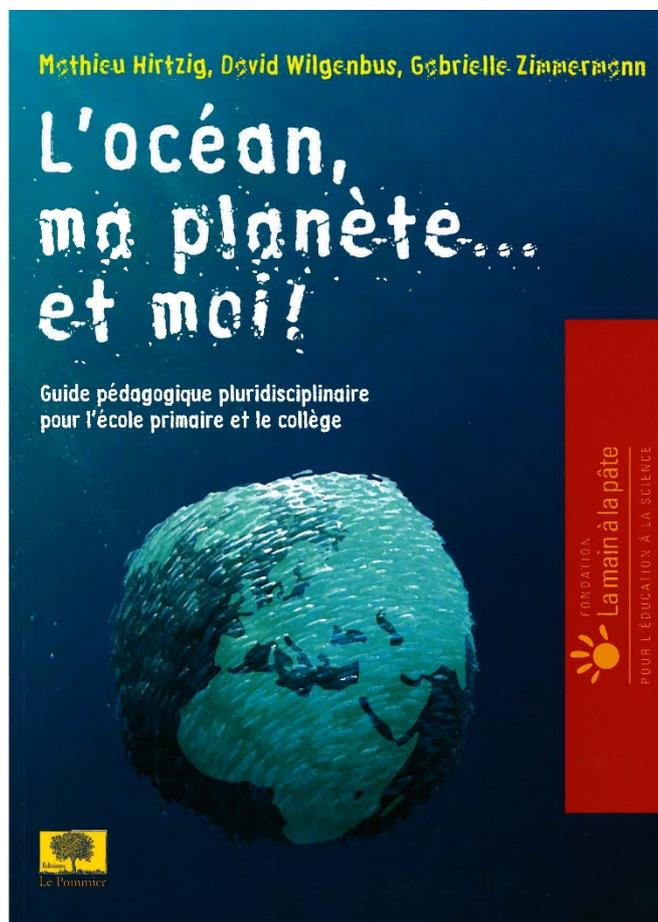
FICHE 5 Influence des océans sur les climats



Consigne :

- Repère ces villes sur un planisphère. À quelle distance de la mer se trouvent-elles ?
- Choisis un graphique qui permet de comparer l'amplitude des températures au cours de l'année dans deux villes de même latitude.
- Quelles sont les ressemblances et les différences entre les courbes de température de ces deux villes ? pourquoi, à ton avis ?

Cette ressource est issue du projet thématique *L'océan, ma planète... et moi !*, paru aux Éditions Le Pommier.



Un projet d'éducation au développement durable (CM1, CM2, 6^{ème}, 5^{ème})
La menace croissante du changement climatique, la pression accrue sur la biodiversité, la raréfaction des ressources, l'augmentation des échanges... autant de raisons de revoir notre perception de l'océan, et de prendre conscience de son importance et de sa fragilité. Dans cette perspective, la Fondation *La main à la pâte* lance un ambitieux projet d'éducation au développement durable, destiné aux écoles primaires et aux collèges : « L'Océan, ma planète... et moi ! » permet aux élèves de comprendre l'interdépendance des écosystèmes marins et terrestres, ainsi que le rôle central des océans dans la régulation des climats. Les élèves prennent également conscience de l'importance de l'océan dans le développement des sociétés humaines et réalisent l'impact des activités humaines et la fragilité de ce milieu. Ils découvrent enfin les métiers de la mer et les outils d'observation des océans, notamment satellitaires.

Un projet clés en main
Ce guide pédagogique comporte :

- Un module d'activités de classe
 - Des séances clés en main regroupées en 3 grandes séquences (L'océan et le climat ; L'océan, milieu de vie ; L'océan et l'homme)
 - Une conception modulable permettant à chaque classe de se construire son propre parcours, du plus court au plus long, du plus disciplinaire au plus transversal ;
- Des éclairages pédagogiques et scientifiques pour guider l'enseignant dans la mise en œuvre du projet ;
- Des fiches documentaires à photocopier.

Un site Internet (www.ocean-ma-planete-et-moi.fr) propose de nombreuses ressources documentaires complémentaires.

Les auteurs
Mathieu Hirtzig est astrophysicien et médiateur scientifique à la Fondation *La main à la pâte*.
David Wilgenbus est astrophysicien, formateur et responsable des ressources pédagogiques au sein de la Fondation *La main à la pâte*.
Gabrielle Zimmermann est biologiste, formatrice et médiatrice scientifique à la Fondation *La main à la pâte*.

FONDATION
La main à la pâte
POUR L'ÉDUCATION À LA SCIENCE

Lancée en 1996 par Georges Charpak, prix Nobel de physique, avec le soutien de l'Académie des sciences et du ministère de l'Éducation nationale, *La main à la pâte* vise à promouvoir à l'école primaire un enseignement de science et de technologie de qualité <http://www.fondation-lamap.org>.

Avec le soutien de :

74650931
19 €
9 782746 509313 Diffusion Belin

Retrouvez l'intégralité de ce projet sur : <https://www.fondation-lamap.org/projets-thematiques>.

Fondation *La main à la pâte*

43 rue de Rennes
75006 Paris
01 85 08 71 79
contact@fondation-lamap.org

Site : www.fondation-lamap.org

FONDATION
La main à la pâte
POUR L'ÉDUCATION À LA SCIENCE