



# CLASSE ZERO EMISSION

---

EXPÉRIENCES SUR  
LES CHANGEMENTS  
CLIMATIQUES





Le dossier "Expériences sur les changements climatiques" a été réalisé par l'International Polar Foundation.

La reproduction de cet ouvrage, de façon partielle ou intégrale, n'est pas autorisée, sauf en cas d'autorisation préalable de l'Editeur.

---

Editeur responsable :  
International Polar Foundation,  
Rue des Deux Gares, 120A,  
1070 Bruxelles.

## AVANT-PROPOS

Ce livre d'expériences est destiné aux élèves du 3<sup>e</sup> degré du secondaire. A travers ce carnet, vous pouvez, grâce à des expériences, travailler avec vos élèves sur les changements climatiques et sur le rôle joué par les régions polaires dans l'histoire du climat.

Etant donné le caractère transversal des questions concernant les changements climatiques, les expériences décrites ici sont pluridisciplinaires (chimie, physique, biologie, géographie, et mathématiques). Par ailleurs, ces expériences donnent la possibilité aux élèves d'acquérir certaines compétences et savoirs.

Ces expériences ont été testées dans l'espace Classe Zéro Emission, où l'International Polar Foundation (IPF) organise des ateliers gratuits pour les élèves de 10 à 18 ans et pour les étudiants en agrégation, ainsi que des sessions de formation à destination des enseignants.

Les expériences sont basées sur 5 thèmes (voir le tableau ci-dessous), qui sont interconnectés (voir schéma ci-dessous). Chaque thème abordé est introduit par des informations de base, suivis par une fiche de description, une fiche de travail, et les réponses à cette fiche de travail.

THÈME	EXPÉRIENCE	OBJECTIFS
ELÉVATION DU NIVEAU DE LA MER	QUAND LA GLACE FOND	VÉRIFIER SI LA GLACE TERRESTRE, DE MER OU LES DEUX CONTRIBUENT À L'ÉLÉVATION DU NIVEAU DE LA MER.
	QUAND L'EAU SE RÉCHAUFFE	DÉTERMINER SI LE RÉCHAUFFEMENT DE L'EAU CONTRIBUE À L'ÉLÉVATION DU NIVEAU DE LA MER.
ALBÉDO	ALBÉDO ET TEMPÉRATURE	MESURER L'ALBÉDO DE DIFFÉRENTS SUBSTRATS DE MANIÈRE INDIRECTE.
	ALBÉDO ET LUMIÈRE	MESURER L'ALBÉDO DE DIFFÉRENTS SUBSTRATS DE MANIÈRE DIRECTE.
CIRCULATION THERMOHALINE	DIFFÉRENCES DE DENSITÉ	ÉVALUER L'EFFET DE LA TEMPÉRATURE ET DE LA SALINITÉ SUR LA DENSITÉ DE L'EAU.
	MOUVEMENT DES MASSES D'EAU	OBSERVER LES MOUVEMENTS DES MASSES D'EAU EN FONCTION DE LEUR DENSITÉ.
ACIDIFICATION DE L'OcéAN	ACIDIFICATION DE L'EAU	DÉTERMINER L'INFLUENCE DU CO <sub>2</sub> ABSORBÉ PAR L'EAU DE MER SUR LE PH DE CETTE EAU. DÉTERMINER SI LE PROCESSUS D'ACIDIFICATION EST PLUS IMPORTANT AUX PÔLES.
	LE SORT DES COQUILLAGES	ÉTUDIER L'INFLUENCE DE L'ACIDIFICATION DE L'EAU SUR LES ORGANISMES CALCAIRES.
PALÉOCLIMATOLOGIE	LES TRACES DU PASSÉ	ESTIMER LA TEMPÉRATURE DANS LE PASSÉ, GRÂCE À L'ANALYSE D'ESPÈCES DE DIATOMÉES VENANT D'UNE CAROTTE DE SÉDIMENTS.



Vous pouvez trouver des informations complémentaires (dossiers pédagogiques et animations flash) sur le site éducatif de l'International Polar Foundation, [www.educapoles.org](http://www.educapoles.org)

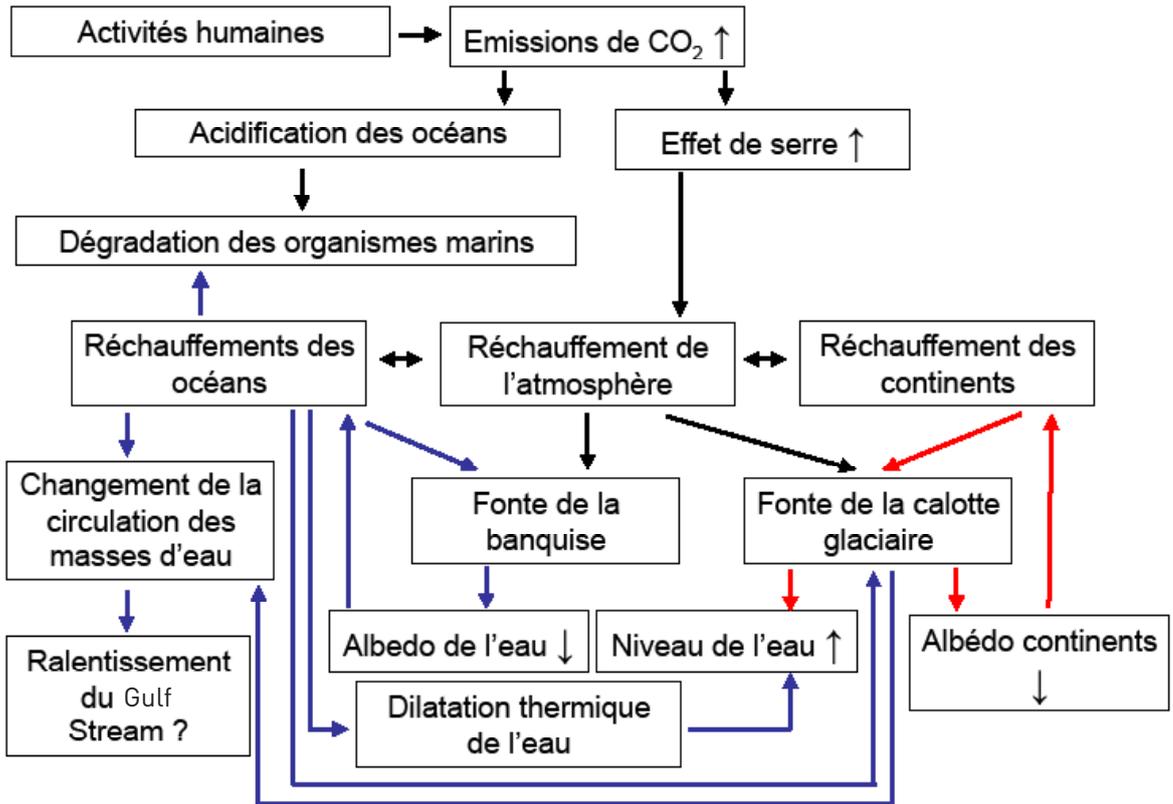
- Dossier pédagogique – Changement climatique (1/2) : qu'est-ce que c'est ?
- Dossier pédagogique – Changement climatique (2/2) : conséquences
- Animation flash – L'homme, victime et responsable du changement climatique actuel
- Animation flash – Les régions polaires, premières zones touchées par les changements climatiques.

En outre, vous trouverez également sur Educapoles des liens vers d'autres sites où trouver des informations supplémentaires.

Bon travail !

# CHANGEMENT CLIMATIQUE ACTUEL :

## LIENS ENTRE LES DIFFÉRENTS FACTEURS





# TABLE DES MATIÈRES

<b>Thème 1 : Elévation du niveau de la mer</b>	
INFORMATIONS GÉNÉRALES	06
EXPÉRIENCE 1 : QUAND LA GLACE FOND	08
EXPÉRIENCE 2 : QUAND L'EAU SE RÉCHAUFFE	12
<b>Thème 2 : Albédo</b>	
INFORMATIONS GÉNÉRALES	16
EXPÉRIENCE 1 : ALBÉDO ET TEMPÉRATURE	18
EXPÉRIENCE 2 : ALBÉDO ET LUMIÈRE	22
<b>Thème 3 : Circulation thermohaline</b>	
INFORMATIONS GÉNÉRALES	29
EXPÉRIENCE 1 : DIFFÉRENCES DE DENSITÉ	31
EXPÉRIENCE 2 : MOUVEMENTS DES MASSES D'EAU	35
<b>Thème 4 : Acidification de l'océan</b>	
INFORMATIONS GÉNÉRALES	39
EXPÉRIENCE 1 : ACIDIFICATION DE L'EAU	41
EXPÉRIENCE 2 : LE SORT DES COQUILLAGES	46
<b>Thème 5 : Paléoclimatologie</b>	
INFORMATIONS GÉNÉRALES	50
EXPÉRIENCE : LES TRACES DU PASSÉ	52

# THÈME 1

## ELÉVATION DU NIVEAU DE LA MER

### INFORMATIONS GÉNÉRALES

On entend souvent parler d'élévation du niveau des mers en relation avec l'intensification de l'effet de serre. Les mesures prises à différents endroits sur Terre nous disent que le niveau de la mer a augmenté de 10 à 20 cm pendant le 20<sup>e</sup> Siècle et les chercheurs estiment que la hausse du niveau de la mer va augmenter durant le 21<sup>e</sup> Siècle.

Les deux processus majeurs contribuant à cette élévation du niveau de la mer sont décrits dans les expériences.

Au préalable, il est important de distinguer deux types de glace : la calotte glaciaire (glace sur la terre) et la banquise (glace de mer) et d'expliquer le phénomène d'expansion thermique.

#### Calotte glaciaire

Cette glace est formée par l'accumulation de la neige tombant sur les continents, sur plusieurs milliers d'années (figure 1.1A). Cette neige se transforme en glace sous l'effet de son propre poids. Les ice-shelves et les glaciers sont des exemples de cette glace terrestre se trouvant au niveau, respectivement, de la côte et des montagnes. Les icebergs, quant à eux, sont des morceaux de glace terrestre qui se sont détachés de la calotte et flottent sur l'océan.

La majorité de la calotte glaciaire se trouve sur l'Antarctique et le Groenland. Ces deux étendues vastes (plus de 50000 km<sup>2</sup>) sont appelées Inlandsis. L'épaisseur de la calotte glaciaire au niveau de ces deux Inlandsis atteint une épaisseur de l'ordre de 2 à 4 kilomètres.

#### Banquise

La banquise est de la glace formée à partir de l'eau de mer qui gèle (figure 1.1B). Son épaisseur peut atteindre quelques mètres.



→ Figure 1.1A :  
La calotte glaciaire (© International Polar Foundation – René Robert).

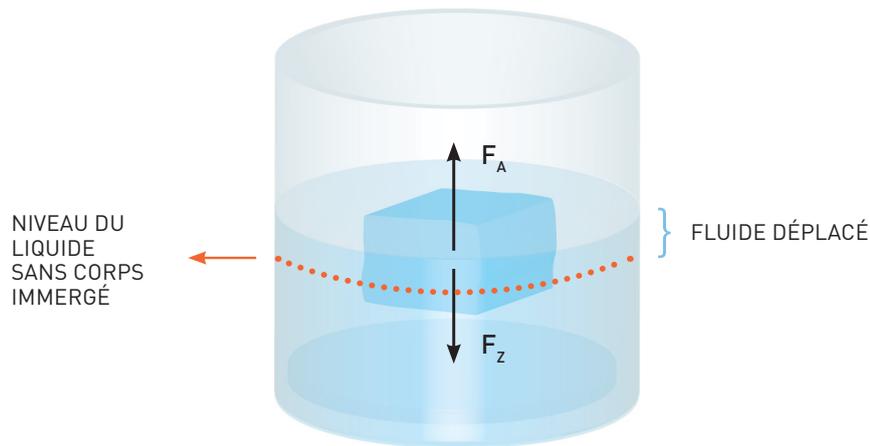


→ Figure 1.1B :  
La banquise (© International Polar Foundation – Alain Hubert).

## LOI D'ARCHIMÈDE

Tout corps plongé dans un fluide est soumis à une force appelée la poussée d'Archimède ( $F_A$ ). La poussée d'Archimède est verticale, dirigée vers le haut et est égale au poids du fluide déplacé (figure 1.2).

Figure 1.2  
Illustration de la  
loi d'Archimède



Un corps flottera si la poussée d'Archimède (= poids du liquide déplacé ( $F_A = m_{ld} \cdot g$ )) est égale à son poids ( $F_z = m_{corps} \cdot g$ ) :

Où :

$m_{ld}$  = masse du liquide déplacé  
 $m_{corps}$  = masse du corps  
 $g$  = accélération de la pesanteur

$$\begin{aligned} \rightarrow F_A &= F_z \\ \rightarrow m_{ld} \cdot g &= m_{corps} \cdot g \\ \rightarrow m_{ld} &= m_{corps} \end{aligned}$$

## DILATATION THERMIQUE

Ce phénomène correspond à la dilatation des matériaux à haute température. Cela est dû au fait que les molécules vibrent davantage à des températures élevées et donc prennent plus de place. Cette variation de volume s'exprime de la façon suivante :

$$\rightarrow \Delta V = \alpha \cdot \Delta T \cdot V$$

Où :

$V$  = le volume du matériau  
 $\Delta V$  = la variation de volume  
 $\Delta T$  = la variation de température  
 $\alpha$  = le coefficient de dilatation thermique

# EXPÉRIENCE 1.1

## QUAND LA GLACE FOND

### FICHE DE DESCRIPTION

#### OBJECTIF

Déterminer l'influence de la fonte de la banquise et de la fonte de la calotte glaciaire sur le niveau de la mer.

#### MATÉRIEL

- 2 récipients transparents
- Eau
- 8 glaçons
- Papier collant
- Cailloux
- Un carton « calotte glaciaire », un autre « banquise »

#### AU TRAVAIL !

De quel(s) type(s) de glace la fonte provoque-t-elle une hausse du niveau de la mer ? La calotte glaciaire, la banquise, ou les deux ? Formulez votre hypothèse et indiquez-la dans la fiche de travail. Faites cela avant de commencer l'expérience !

##### Récipient 1

- Placer les cailloux en tas, à une extrémité du récipient.
- Mettre 4 glaçons sur les cailloux.
- Verser de l'eau en s'assurant que les glaçons sur les cailloux soient totalement hors de l'eau.
- Marquer le niveau de l'eau avec du papier collant (soyez précis !).
- Que représente la glace dans ce récipient ? La calotte glaciaire ou la banquise ? Placer le carton correspondant devant le récipient.

##### Récipient 2

- Placer les cailloux en tas, à une extrémité du récipient.
- Mettre 4 glaçons dans le fond du récipient, pas sur les cailloux.
- Verser de l'eau en s'assurant que les glaçons flottent.
- Marquer le niveau de l'eau avec du papier collant (soyez précis !)
- Que représente la glace dans ce récipient ? La calotte glaciaire ou la banquise ? Placer le carton correspondant devant le récipient.

Attendez maintenant que les glaçons fondent... Entretemps, réalisez la 2<sup>e</sup> partie de l'expérience. Une fois les glaçons fondus, remplissez la fiche de travail. Analysez vos résultats et conclusions sur la fiche de travail. Préparez-vous à expliquer vos résultats devant la classe.



# EXPÉRIENCE 1.1

## QUAND LA GLACE FOND

### FICHE DE TRAVAIL

#### HYPOTHÈSE

---

---

#### OBSERVATIONS

Que s'est-il passé avec le niveau de l'eau dans les deux récipients ?

---

---

#### ANALYSE

Que pouvez-vous en conclure quant à l'impact de la fonte de la glace sur le niveau de la mer ? Quelle glace participe à la hausse du niveau de la mer lorsqu'elle fond ?

---

---

Comment expliquer cette différence ?

Pensez à Archimède. Dans le cas de la banquise, à quoi est égal le poids du volume d'eau déplacé par la glace qui flotte ?

---

---

Expliquez cela sous la forme d'un bilan de forces, à exprimer ci-dessous.

Que se passe-t-il quand la banquise fond ?

---

---



## CONCLUSIONS

Votre hypothèse était-elle correcte ? Si ce n'était pas le cas, reformulez-la.

---

---

## APPLICATIONS

Pouvez-vous estimer la hausse du niveau des mers que provoquerait la fonte complète de l'inlandsis groenlandais et antarctique sachant que :

- La masse de l'inlandsis groenlandais est de  $25,6 \cdot 10^{17}$  kg
- La masse de l'inlandsis antarctique est de  $22,9 \cdot 10^{18}$  kg
- La superficie totale des océans est de  $361 \cdot 10^6$  km<sup>2</sup> (= S)
- La masse volumique de l'eau est de 1000 kg / m<sup>3</sup>
- L'élévation du niveau des mers ( $\Delta H$ ) peut s'exprimer en fonction de la variation de volume de l'océan ( $\Delta V$ ) de la manière suivante, puisque la superficie des océans (S) est constante :  
 $\Delta H = \Delta V / S$

---

---

---

En commun avec les élèves ayant travaillé sur la deuxième partie de l'expérience sur l'élévation du niveau de la mer, pouvez-vous citer les deux causes principales de l'élévation du niveau des mers.

---

---

Qui sera le plus affecté par la hausse du niveau des mers sur la Terre ? Donnez deux exemples.

---

---

# EXPÉRIENCE 1.1

## QUAND LA GLACE FOND

### FICHE DE TRAVAIL – RÉPONSES

#### HYPOTHÈSE

La fonte de la calotte glaciaire provoquera une hausse du niveau de la mer. La fonte de la banquise ne changera pas le niveau de la mer.

#### OBSERVATIONS

Le niveau de l'eau a augmenté dans le récipient dans lequel les glaçons étaient SUR les cailloux, pas dans le récipient dans lequel les glaçons flottaient dans l'eau.

#### ANALYSE

La fonte de la calotte glaciaire provoquera une hausse du niveau de la mer. La fonte de la banquise, quant à elle, ne changera pas le niveau de la mer.

Dans le cas de la banquise, le poids du volume déplacé est égal au poids des morceaux de glace de mer ( $F_z$ ).

$$F_A = F_z$$

Quand la banquise fond, le volume d'eau déplacé est remplacé par de l'eau. Ainsi, le volume de l'eau ne changera pas.

#### APPLICATIONS

$$\Delta H = \Delta V / S$$

Fonte de l'inlandsis groenlandais :

$$\Delta V = 25,6 \cdot 10^{17} \text{ kg} / 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta V = 25,6 \cdot 10^{14} \text{ m}^3$$

$$\Delta H = 25,6 \cdot 10^{14} \text{ m}^3 / 361 \cdot 10^{12} \text{ m}^2$$

$$\Delta H = 7,09 \text{ m}$$

Fonte de l'inlandsis de l'Antarctique :

$$\Delta V = 22,9 \cdot 10^{18} \text{ kg} / 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta V = 22,9 \cdot 10^{15} \text{ m}^3$$

$$\Delta H = 22,9 \cdot 10^{15} \text{ m}^3 / 361 \cdot 10^{12} \text{ m}^2$$

$$\Delta H = 63,43 \text{ m}$$

$$\Delta H \text{ total} = 7,09 \text{ m} + 63,43 \text{ m} = 70,52 \text{ m}$$

Les deux causes principales de l'élévation du niveau des mers sont la fonte de la calotte glaciaire et la dilatation thermique de l'eau.

Les zones qui seront les plus affectées par cette hausse du niveau de l'eau sont les côtes (Bangladesh, îles du Pacifique, par exemple).

# EXPÉRIENCE 1.2

## QUAND L'EAU SE RÉCHAUFFE

### FICHE DE DESCRIPTION

#### OBJECTIFS

Observer l'influence de la température de l'eau sur le niveau de la mer.

#### MATÉRIEL

- Deux récipients
- Eau
- 10 glaçons
- 1 bouilloire
- 1 grand tube à essai rempli d'eau, qui est fermé de manière hermétique par un bouchon, sauf une pipette, qui perce le bouchon de part en part.

#### AU TRAVAIL !

- Selon vous, la température de l'eau a-t-elle une influence sur le niveau de cette eau ? Formulez votre hypothèse et indiquez-la dans la fiche de travail. Faites cela avant de commencer l'expérience !
- Faites chauffer l'eau dans la bouilloire.
- Remplissez un des récipients au  $\frac{3}{4}$  avec l'eau chaude.
- Remplissez l'autre récipient à  $\frac{1}{2}$  avec de l'eau froide et ajoutez les 10 glaçons.
- Mettez le tube à essai verticalement dans le récipient avec l'eau chaude, attendez quelques instants (30 secondes environ) et observez ce qui se passe.
- Par après, mettez le tube à essai dans le récipient avec l'eau froide. Observez ce qui se passe. Vous pouvez répéter ce passage de l'eau chaude à l'eau froide autant de fois que nécessaire.
- Remplissez maintenant votre fiche de travail, analysez vos résultats, et préparez-vous à présenter vos résultats devant la classe.



# EXPÉRIENCE 1.2

## QUAND L'EAU SE RÉCHAUFFE

### FICHE DE TRAVAIL

#### HYPOTHÈSE

---

---

#### OBSERVATIONS

Que se passe-t-il quand on met le tube à essai dans l'eau chaude, puis dans l'eau froide ?

---

---

#### ANALYSE

Quel phénomène peut expliquer ce que vous observez ?

---

---

#### CONCLUSIONS

Votre hypothèse était-elle correcte ? Si ce n'était pas le cas, reformulez-la.

---

---

#### APPLICATIONS

Le niveau des océans va-t-il augmenter suite aux changements climatiques ?

---

---



Entre 1993 et 2003, la couche de surface de l'océan (épaisseur de la couche = 700 m) s'est réchauffée de 0,08 °C. Le coefficient de dilatation thermique de l'eau de mer  $\alpha$  est de :  $2,6 \cdot 10^{-4} / ^\circ\text{C}$ . Le volume de la couche d'océan qui nous intéresse (V) peut s'exprimer de la manière suivante :

$$V = H \cdot S$$

Où :

H = épaisseur de la couche

S = surface de cette couche

Une variation du volume peut s'exprimer comme une variation de la hauteur puisque la surface est constante :

$$\Delta V = \Delta H \cdot S$$

En sachant également que :

$$\Delta V = \alpha \cdot \Delta T \cdot V$$

Où :

$\alpha$  = coefficient de dilatation thermique

$\Delta T$  = variation de température

V = volume

Calculez la hausse du niveau des mers due à la dilatation thermique, entre 1993 et 2003 (mm/an) :

.....

.....

.....

.....

Les observations montrent une élévation du niveau des mers de 3,1 mm / an entre 1993 et 2003. Sachant ceci, pouvez-vous dire quelle contribution est dominante ?

- La fonte de la glace continentale
- La dilatation thermique des océans
- Aucune, elles ont le même ordre de grandeur

# EXPÉRIENCE 1.2

## QUAND L'EAU SE RÉCHAUFFE

### FICHE DE TRAVAIL – RÉPONSES

#### HYPOTHÈSE

Une augmentation de la température va provoquer une élévation du niveau de la mer.

#### OBSERVATIONS

Quand on met le tube à essai dans l'eau chaude, le niveau de l'eau monte dans la pipette. Quand on met le tube dans l'eau froide, l'eau redescend.

#### ANALYSE

Le phénomène expliquant ce que l'on observe s'appelle la dilatation thermique. Il s'agit de la dilatation des matériaux à haute température. Etant donné que les molécules vibrent davantage à des températures élevées, elles prennent plus d'espace, et donc augmentent le volume du matériau.

#### APPLICATIONS

Suite aux changements climatiques actuels, l'atmosphère et les océans se réchauffent. Le réchauffement des océans va provoquer une élévation du niveau de ces océans, car les océans sont limités en superficie par les côtes sur Terre.

Entre 1993 et 2003, la couche de surface de l'océan (épaisseur de la couche = 700 m) s'est réchauffée de 0,08 °C. Le coefficient de dilatation thermique de l'eau de mer  $\alpha$  est de  $2,6 \cdot 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ . Le volume de la couche d'océan qui nous intéresse peut s'exprimer de la manière suivante :  $\Delta V = \Delta H \cdot S$

La hausse du niveau des mers due à la dilatation thermique, entre 1993 et 2003 (mm/an) peut se calculer comme suit :

$$\Delta V = \Delta H \cdot S$$

$$\Delta V = \alpha \cdot \Delta T \cdot V$$

$$\Delta H \cdot S = \alpha \cdot \Delta T \cdot H \cdot S$$

$$\Delta H = \alpha \cdot \Delta T \cdot H = 2,6 \cdot 10^{-4}/^{\circ}\text{C} \cdot 0,08 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 700 \text{ m}$$

$$\Delta H = 0,015 \text{ m}/10 \text{ ans}$$

Le niveau de la mer a augmenté de 1,5 mm/an à cause de la dilatation thermique, entre 1993 et 2003. Or, les observations montrent une élévation du niveau des mers de 3,1 mm/an entre 1993 et 2003. Sachant ceci, la contribution des deux facteurs (fonte de la glace continentale et dilatation thermique des océans) est du même ordre de grandeur.

# THÈME 2

## ALBÉDO

### INFORMATIONS GÉNÉRALES

Lorsqu'un rayon lumineux du soleil atteint la surface de la Terre, une partie du rayonnement est absorbée, une autre est réfléchi par la surface et renvoyée dans l'atmosphère (figure 2.1).



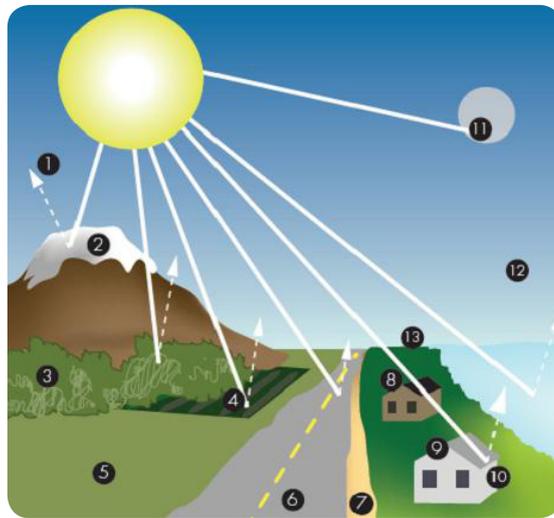
→ Figure 2.1 : L'effet de serre (© International Polar Foundation – Animation flash « L'homme, victime et responsable du changement climatique »).

L'albédo d'une surface mesure l'importance avec laquelle une surface recevant de la lumière, réfléchit cette lumière. L'albédo A (calculé en %) est exprimé comme suit :

$$A = (\text{rayonnement réfléchi} / \text{rayonnement incident}) \cdot 100$$

Un albédo de 100 % va donc réfléchir la totalité de la lumière incidente. Un albédo de 0 % va absorber la totalité de la lumière incidente.

L'albédo dépend de la couleur et de la rugosité de la surface en question. La neige propre réfléchit une grande partie du rayonnement incident : elle a un albédo élevé. Les corps foncés absorbent une plus grande partie du rayonnement : ils ont un albédo faible (figure 2.2).



- 01. Valeur de l'albédo en %.
- 02. Neige fraîche : 80 – 95 %
- 03. Forêt : 10 – 20 %
- 04. Champs de maïs : 10 – 25 %
- 05. Prairie : 25 – 30 %
- 06. Route asphaltée : 5 – 10 %
- 07. Béton : 17 – 27 %
- 08. Toit foncé : 8 – 18 %
- 09. Toit clair : 35 – 50 %
- 10. Briques, pierres : 20 – 40 %
- 11. La lune : 6 – 8 %
- 12. Eau : 10 – 60 % (dépend très fort de la hauteur du soleil)
- 13. La Terre (moyenne) : 35 %

→ Figure 2.2 : Tableau donnant différentes valeurs d'albédo.

Sur une année, l'énergie reçue sur Terre par le soleil est la plus importante à l'équateur et la plus faible aux pôles. Dans un système climatique en équilibre, les courants atmosphériques et océaniques transportent l'énergie accumulée aux tropiques vers les régions polaires. Aux pôles, la couverture neigeuse compense cet apport de chaleur, par le haut pouvoir réfléchissant de la neige (albédo élevé).

Cependant, dans un climat qui se réchauffe, l'étendue des différents types de glace diminue, laissant place à de l'eau, de la roche, ou de la végétation, surfaces dont l'albédo est plus faible que celui de la glace. Or, si l'albédo de la surface diminue, cette surface absorbera une plus grande partie du rayonnement incident, ce qui a pour conséquence de la réchauffer et d'augmenter la fonte de la glace/neige située juste à côté. En bref, la fonte de la glace due à l'effet de serre entraîne une amplification de l'absorption du rayonnement solaire par la surface de la Terre, ce qui va à son tour amplifier la fonte des glaces. Ce phénomène en boucle, dit de rétroaction positive, contribue à ce qu'on appelle l'amplification polaire : le réchauffement est deux à trois fois plus important aux pôles qu'en moyenne globale.

# EXPÉRIENCE 2.1

## ALBÉDO ET TEMPÉRATURE

### FICHE DE DESCRIPTION

#### OBJECTIF

Comparer l'augmentation de température d'une surface blanche et d'une surface noire lorsqu'elles sont chauffées par une ampoule.

#### MATÉRIEL

- 2 surfaces métalliques planes (une noire, l'autre blanche) collées sur du polystyrène
- 2 sources de chaleur (lampes halogènes ou incandescentes) d'égale puissance, dirigée chacune vers une des deux surfaces
- 2 thermomètres, dont le capteur est enfoncé dans le polystyrène, en dessous de chaque plaque métallique
- Un tableau et des marqueurs
- Un chronomètre

#### AU TRAVAIL !

- Selon vous, des deux surfaces, laquelle se réchauffera le plus, une fois les lampes allumées et dirigées vers chacune d'entre elles ? Formulez votre hypothèse et indiquez-la dans la fiche de travail. Faites cela avant de commencer l'expérience ! Comment pouvez-vous expliquer cela ?
- Mesurez la température des deux surfaces et inscrivez les valeurs au temps zéro dans un tableau divisé en trois colonnes (temps, température sur la surface blanche, température sur la surface noire).
- Allumez les lampes situées au-dessus des surfaces blanche et noire.
- Mesurez la température de chaque surface toutes les 30 secondes et ce, durant au moins 2,5 minutes. Indiquez les températures dans le tableau.
- Remplissez maintenant votre fiche de travail, analysez vos résultats, et préparez-vous à présenter vos résultats devant la classe.

# EXPÉRIENCE 2.1

## ALBÉDO ET TEMPÉRATURE

### FICHE DE TRAVAIL

#### HYPOTHÈSE

---

---

#### OBSERVATIONS

TEMPS (SECONDES)	TEMPÉRATURE DE LA SURFACE BLANCHE (°C)	TEMPÉRATURE DE LA SURFACE NOIRE (°C)
0 (AVANT D'ALLUMER)		
30		
60		
90		
120		
150		

#### ANALYSE

Que s'est-il passé ?

---

---

---

Comment pouvez-vous l'expliquer ?

---

---

---

#### CONCLUSIONS

Votre hypothèse était-elle correcte ou non ? Si ce n'était pas le cas, reformulez-la.

---



## APPLICATIONS

Des ampoules à incandescence avec une puissance plus importante échaufferont plus vite les surfaces que des ampoules de faible puissance. Comment cela se fait-il ?

---

---

Comparez cette expérience avec la suivante, utilisant un luxmètre : quelle est la différence essentielle ?

---

---

---

# EXPÉRIENCE 2.1

## ALBÉDO ET TEMPÉRATURE

### FICHE DE TRAVAIL - RÉPONSES

#### HYPOTHÈSE

La plaque noire absorbe plus et plus rapidement l'énergie que la plaque blanche. La plaque noire chauffera donc plus vite.

#### OBSERVATIONS

*Note : les données ci-dessous sont des données type – Elles peuvent varier, en fonction de la puissance de la lampe halogène ou incandescente, de la plaque et de l'isolant. Cependant, la conclusion reste la même.*

TEMPS (SECONDES)	TEMPÉRATURE DE LA SURFACE BLANCHE (°C)	TEMPÉRATURE DE LA SURFACE NOIRE (°C)
0	18,6	18,7
30	19,0	19,4
60	19,6	21,7
90	20,1	23,1
120	20,7	24,2
150	21,0	25,2

#### ANALYSE

Le rayonnement lumineux (représentant ici le Soleil) est absorbé en partie par les plaques, sous forme d'énergie thermique. La hausse de température est plus rapide et plus importante pour la plaque noire que pour la plaque blanche, car la surface blanche réfléchit plus la lumière.

#### APPLICATIONS

Les ampoules à incandescence transforment une grande quantité de leur énergie en énergie thermique. La vitesse et l'intensité avec laquelle les plaques métalliques vont chauffer varie avec la puissance de l'ampoule : plus la puissance est élevée, plus la différence entre les deux surfaces se marquera.

Cette expérience peut difficilement être réalisée avec des ampoules économiques, car elles ne dissipent pas beaucoup de chaleur. Une ampoule économique de 20 W chauffera la plaque noire jusqu'à 21 ou 22 °C en 25 minutes d'éclairage. Pour un éclairage comparable, les ampoules économiques consomment 75 % d'électricité en moins que les ampoules à incandescence traditionnelles : elles sont en fait beaucoup plus efficaces pour transmettre l'énergie lumineuse.

Les deux expériences sur l'albédo sont comparables, mais l'une fait une mesure indirecte (augmentation de la température), alors que l'autre mesure directement l'albédo (luxmètre).

# EXPÉRIENCE 2.2

## ALBÉDO ET LUMIÈRE

### FICHE DE DESCRIPTION

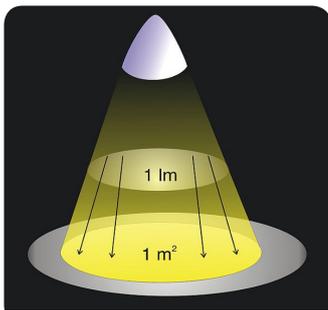
#### OBJECTIF

Déterminer l'influence de la couleur et de la texture d'une surface sur l'albédo de cette surface.

#### MATÉRIEL

- Des échantillons cartonnés de différentes couleurs et textures
- Une source de lumière (Soleil ou une lampe si la lumière naturelle est faible – l'animateur décidera)
- Un luxmètre (appareil de mesure de l'éclairement)
- Une calculatrice

#### UTILISATION D'UN LUXMÈTRE



Un luxmètre est un appareil de mesure de la quantité de lumière reçue par une surface (éclairage lumineux). L'éclairement caractérise la quantité de lumière reçue par unité de surface. Cette mesure est exprimée en lux (et  $1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen} / \text{mètre carré}$ ).

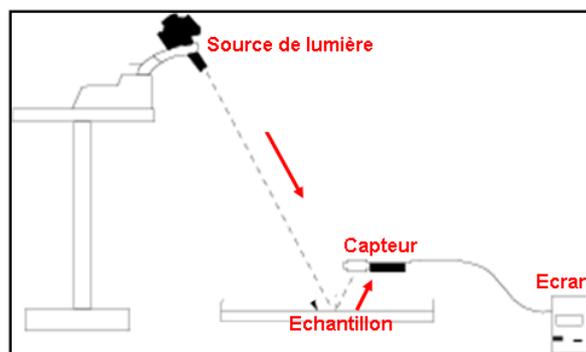
Un luxmètre se compose de deux parties (figure 2.3 ci-dessous):

- Le capteur, qui reçoit la lumière et mesure l'éclairement.
- L'écran d'affichage, sur lequel lire la mesure de l'éclairement.

**Luxmètre** : à gauche, le capteur de lumière (cercle gris); à droite, l'écran d'affichage



**Disposition type** : la flèche vers le bas représente la lumière incidente; la flèche vers le haut, la lumière réfléchie par l'échantillon



Retirer le couvercle du capteur du luxmètre et allumer le luxmètre. La personne tenant le capteur dans sa main dépose son coude sur la table, pour faire un angle de  $90^\circ$  entre son avant-bras et la table. Maintenir cette position tout au long de l'expérience. Le capteur doit être mis au dessus de la surface dont on désire mesurer l'albédo. Mesurer d'abord la lumière incidente de chaque surface (diriger le capteur vers le haut). Puis, tourner son poignet, pour diriger le capteur de lumière vers le bas et mesurer le rayonnement réfléchi par chaque surface.

## AU TRAVAIL !

- Quel type de surface aura l'albédo le plus élevé (c.à.d. réfléchira le plus la lumière). Formulez votre hypothèse et indiquez-la dans la fiche de travail. Faites cela avant de commencer l'expérience !
- Lisez la fiche de description du luxmètre. Demandez de l'aide si nécessaire.
- Pour la durée de l'expérience, attribuez un rôle à trois élèves autour de la table :
- l'un tient le capteur et ne bougera plus son bras qui tient ce capteur, pendant toute la durée de la prise de mesures, sauf son poignet (voir points suivants) ;
- un autre posera chaque échantillon sur la table, sous le capteur, pour chaque prise de mesure (2 mesures par échantillon);
- un troisième lit et note les mesures du luxmètre.
- Mesurez d'abord le rayonnement incident de chaque surface. Pour cela, orientez le luxmètre vers le haut (capteur vers le haut), pour qu'il reçoive toute la lumière venant de la lampe. Notez les valeurs dans le tableau de la fiche de travail.
- Mesurez après le rayonnement réfléchi de chaque surface. Pour cela, retournez le capteur du luxmètre vers chaque échantillon. Notez les valeurs dans le tableau de la fiche de travail.
- Calculez ensuite l'albédo de chaque surface.
- Remplissez maintenant votre fiche de travail, analysez vos résultats, et préparez-vous à présenter vos résultats devant la classe.

# EXPÉRIENCE 2.2

## ALBÉDO ET LUMIÈRE

### FICHE DE TRAVAIL

#### HYPOTHÈSE

---

---

#### OBSERVATIONS

NUMÉRO DE L'ÉCHANTILLON	RAYONNEMENT INCIDENT (LUX)	RAYONNEMENT REFLECHI (LUX)	ALBEDO (%)	CLASSEMENT DE L'ALBEDO*
N°1: BLANC BRILLANT (NEIGE)				
N°2: BLANC MAT (GLACE TRANSLUCIDE)				
N°3: OUATE (NEIGE)				
N°4: ALUMINIUM				
N°5: POLENTA (CHAMPS MAÏS)				
N°6: SABLE GRIS				
N°7: CIMENT (BÂTIMENT)				
N°8: ROMARIN (FORÊT SAPIN)				
N°9: FEUILLES (FORÊT FEUILLUS)				
N°10: PLASTIQUE BLEU (MER)				
N°11: BLEU (OCÉAN)				
N°12: BRIQUE (MAISON)				
N°13: CACAO (DÉSERT)				
N°14: ROUGE				
N°15: VERT FONCÉ				
N°16: VERT CLAIR (PRÉS)				
N°17: TERRE				
N°18: NOIR				
N°19: ALUMINIUM 2				
N°20: CALENDULA (FLEURS)				

\* Dernière colonne : classer l'albédo de la valeur la plus faible à la plus élevée

## ANALYSE

Quel substrats / textures / couleurs ont l'albédo le plus faible ? L'albédo le plus élevé ? Regardez la dernière colonne de votre tableau.

.....

.....

Quelle influence la couleur a-t-elle sur l'albédo ?

.....

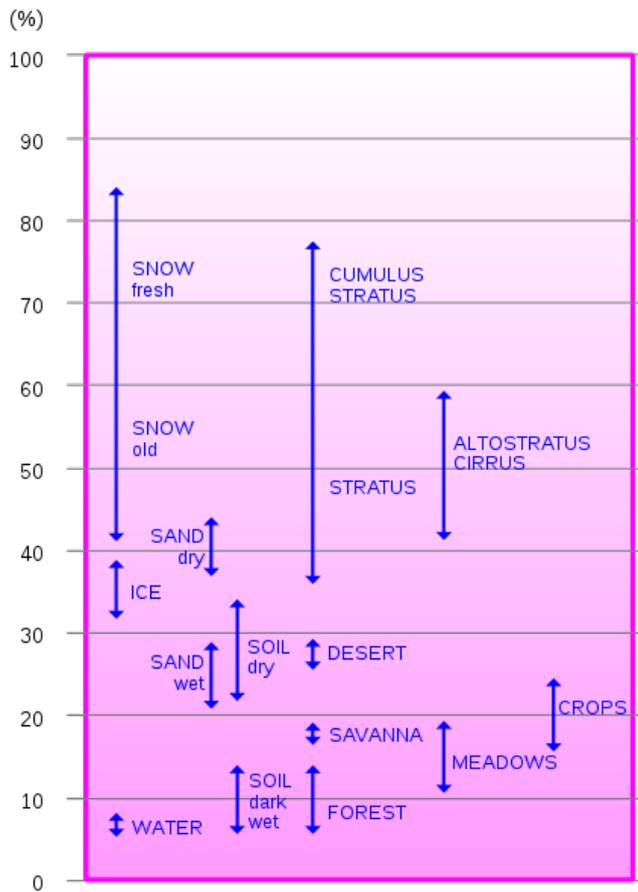
.....

Quelle influence la texture a-t-elle sur l'albédo (cf. échantillons 1, 2, et 3)

.....

.....

Comparez vos valeurs avec celles du tableau repris dans la figure 2.4 ci-dessous.



→ Figure 2.4 : Valeurs d'albédo de différents substrats et nuages.



## CONCLUSIONS

Votre hypothèse était-elle correcte ? Si ce n'était pas le cas, reformulez-la.

---

---

## APPLICATIONS

Comment les nuages peuvent-ils avoir une influence sur l'albédo de la Terre ?

---

---

Comment l'albédo de la Terre est-il affecté par la fonte de la glace en Arctique ?

---

---

Si le Pôle Nord se réchauffe davantage, la toundra (végétation rase – buissons et herbacées) sera remplacée par la taïga (forêts de conifères). Comment cela affectera-t-il l'albédo de la Terre ?

---

---

# EXPÉRIENCE 2.2

## ALBÉDO ET LUMIÈRE

### FICHE DE TRAVAIL - RÉPONSES

#### HYPOTHÈSE

Les surfaces claires et les surfaces lisses ont l'albédo le plus élevé.

#### OBSERVATIONS

Les valeurs ci-dessous sont indicatives – Elles peuvent varier, en fonction de la lumière ambiante et de l'expérimentateur. Cependant, la conclusion reste la même.

NUMÉRO DE L'ÉCHANTILLON	RAYONNEMENT INCIDENT (LUX)	RAYONNEMENT REFLECHI (LUX)	ALBEDO (%)	CLASSEMENT DE L'ALBEDO
N°1: BLANC BRILLANT (NEIGE)	215	154	71,6	20
N°2: BLANC MAT (GLACE TRANSLUCIDE)	125	85	68,0	19
N°3: OUATE (NEIGE)	169	94	55,6	18
N°4: ALUMINIUM	165	80	48,5	10
N°5: POLENTA (CHAMPS MAÏS)	190	86	45,3	5
N°6: SABLE GRIS	190	78	41,1	1
N°7: CIMENT (BÂTIMENT)	190	83	43,7	4
N°8: ROMARIN (FORÊT SAPIN)	185	80	43,2	3
N°9: FEUILLES (FORÊT FEUILLUS)	200	91	45,5	6
N°10: PLASTIQUE BLEU (MER)	210	97	46,2	7
N°11: BLEU (OCÉAN)	200	104	52,0	16
N°12: BRIQUE (MAISON)	229	97	42,4	2
N°13: CACAO (DÉSERT)	225	116	51,6	15
N°14: ROUGE	225	111	49,3	12
N°15: VERT FONCÉ	230	114	49,6	13
N°16: VERT CLAIR (PRÉS)	185	136	47,7	8
N°17: TERRE	430	228	53,0	17
N°18: NOIR	300	150	50,0	14
N°19: ALUMINIUM 2	355	171	48,2	9
N°20: CALENDULA (FLEURS)	370	180	48,6	11

\* Dernière colonne : classer l'albédo de la valeur la plus faible à la plus élevée

## ANALYSE

L'albédo le plus faible = sable gris, qui est donc la surface qui absorbe le plus de chaleur. L'albédo le plus élevé = neige, qui est donc la surface qui réfléchit le plus le rayonnement.

L'influence de la couleur sur l'albédo : plus la couleur est claire, plus l'albédo est élevé.

L'influence de la texture sur l'albédo : plus la texture est lisse, plus l'albédo est élevé.

## APPLICATIONS

Les nuages ont différentes épaisseurs, couleurs et textures : plus un nuage est fin et diffus, plus son albédo est faible (cirrus, ressemblant à des cheveux d'ange). De plus, il laissera plus les rayons du soleil passer vers la surface de la Terre. Plus un nuage est épais et blanc (cumulus, la forme la plus reconnaissable de nuage, « mouton »), plus son albédo sera élevé. La réflectivité élevée de ces nuages aura donc pour effet d'empêcher une partie du rayonnement solaire d'atteindre la surface de la Terre. Ils ont par là un effet refroidissant sur l'atmosphère.

Avec le réchauffement climatique, la banquise (blanche) fond et laisse place à de l'eau (sous forme liquide, bleue). Cette surface ayant un albédo plus faible, cela va, en conséquence, augmenter l'absorption de l'énergie lumineuse par l'océan, et donc accélérer la fonte des glaces.

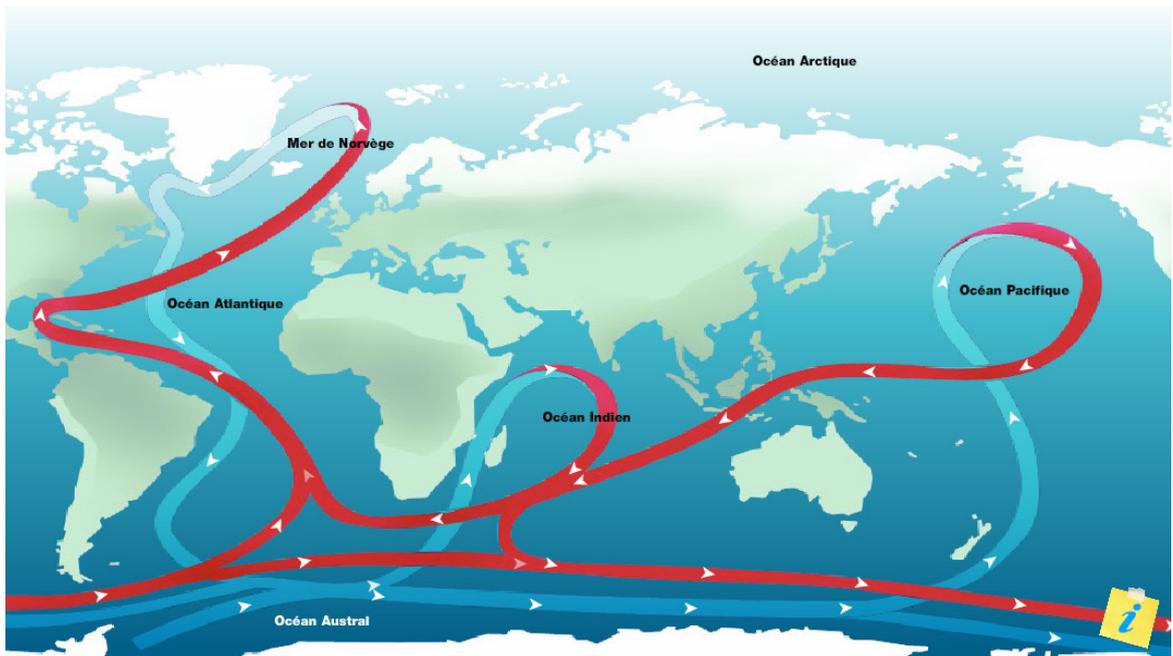
Si la toundra (végétation rase) est remplacée par la taïga (forêt de conifères), cela affectera l'albedo de cette zone. Ces deux biomes ont effectivement des couleurs et structures différentes (la taïga est plus sombre que la toundra et a plus de relief), et donc des albédos différents : la taïga a un albédo plus faible que la toundra et absorbera donc davantage l'énergie incidente.

# THÈME 3

## CIRCULATION THERMOHALINE

### INFORMATIONS GÉNÉRALES

La circulation thermohaline est le mouvement des masses d'eau dans les océans. Cette circulation est régulée par la différence de densité (et donc de la masse volumique) et par le vent (figure 3.1).



→ Figure 3.1 : Schéma de la circulation thermohaline.

La masse volumique d'une substance exprime la masse de cette substance contenue dans un volume donné. La masse volumique est symbolisée par la lettre grecque rho ( $\rho$ ) et correspond donc à la masse par unité de volume.

$$\rho = m / V$$

Où :

$\rho$  = masse volumique ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$m$  = masse (kg)

$V$  = volume ( $\text{m}^3$ )

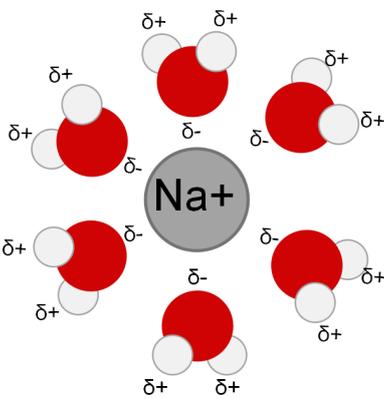
NB : la densité est le rapport de la masse volumique d'un corps à celle d'un autre corps, choisi comme référence (l'eau dans le cas des liquides et des solides). Une densité étant un rapport entre deux masses volumiques, c'est une mesure sans dimension. L'eau douce (c.à.d. non salée), à 4°C à une pression atmosphérique de 1 bar a :

- une masse volumique de 1  $\text{g}/\text{cm}^3$ , donc de 1000  $\text{kg}/\text{m}^3$ ,
- une densité de 1

Quand un certain volume est très lourd, on dit que sa densité est élevée (béton par exemple). Quand le même volume d'une autre matière est léger, la densité de ce deuxième volume est donc plus faible (air, par exemple).

La densité d'une substance est généralement donnée à une température et à une pression atmosphérique spécifique, car ces deux facteurs font varier la densité des corps. Dans les courants océaniques, la salinité de l'eau affecte également sa densité. La salinité est indiquée en g/kg (grammes de sel par kilogramme d'eau) ou psu (practical salinity unit). L'eau douce a un psu de moins que 1 ; en moyenne, l'eau des océans a un psu de 35.

Lorsqu'on ajoute du sel à l'eau, les molécules de NaCl se décomposent en leurs ions constituants ; les molécules ne peuvent plus se reformer par après car les ions sont entourés de molécules d'eau (figure 3.2).



↪ Figure 3.2 : Un ion de sodium entouré de molécules d'eau.

# EXPÉRIENCE 3.1

## DIFFÉRENCES DE DENSITÉ

### FICHE DE DESCRIPTION

#### OBJECTIF

Déterminer l'influence de la température de l'eau et de sa teneur en sel sur la densité de cette eau.

#### MATÉRIEL

- Densimètre
- Eprouvette graduée
- Eau
- Bouilloire
- Sel
- Cuiller à soupe
- Entonnoir
- Agitateur (barre métallique)

#### AU TRAVAIL !

- Formulez vos hypothèses dans la fiche de travail. Faites cela avant de commencer l'expérience !
- Remplissez l'éprouvette graduée avec de l'eau froide (250 ml).
- Oter le densimètre de sa boîte. Regardez les différentes échelles. Vous devrez utiliser l'échelle de "gravité spécifique" pendant votre expérience. La valeur de la densité est indiquée juste au dessus du trait coïncidant avec le niveau de l'eau pendant la mesure.
- Mettez le densimètre délicatement dans l'eau. Il doit flotter.
- Attendez que le densimètre ne bouge plus avant de mesurer la densité de l'eau.
- Inscrivez maintenant la densité de l'eau dans le tableau sur la fiche de travail.
- Retirez la moitié de l'eau (125 ml).
- Ajoutez de l'eau chaude et remplissez l'éprouvette graduée jusqu'à atteindre 250 ml au total.
- Mélanger l'eau avec l'agitateur.
- Mesurez à nouveau la densité de l'eau et notez la mesure dans le tableau.
- Ajouter 15 g de sel (= 1 cuiller à soupe rase) à l'eau. Utilisez l'entonnoir pour verser le sel dans l'eau. Mélangez bien, pour que le sel puisse se dissoudre totalement dans l'eau.
- Mesurez à nouveau la densité de l'eau et notez la mesure dans le tableau.
- Remplissez votre fiche de travail, analysez vos résultats, et préparez-vous à présenter vos résultats devant la classe.

# EXPÉRIENCE 3.1

## DIFFÉRENCES DE DENSITÉ

### FICHE DE TRAVAIL

#### HYPOTHÈSE

(1) Selon vous, la température de l'eau a-t-elle une influence sur sa densité ? Inscrivez ici votre hypothèse.

---

---

(2) Selon vous, la teneur en sel de l'eau a-t-elle une influence sur sa densité ? Inscrivez ici votre hypothèse.

---

---

#### OBSERVATIONS

Remplissez le tableau.

	DENSITÉ
EAU FROIDE NON SALÉE	
EAU CHAUDE NON SALÉE	
EAU CHAUDE SALÉE	



## ANALYSE

Que pouvez-vous déduire de ce tableau, concernant l'influence de (1) la température et (2) du contenu en sel, sur la densité de l'eau ?

(1) .....

.....

(2) .....

.....

## CONCLUSION

Votre hypothèse était-elle correcte ? Si ce n'était pas le cas, reformulez-la.

.....

.....

# EXPÉRIENCE 3.1

## DIFFÉRENCES DE DENSITÉ

### FICHE DE TRAVAIL – RÉPONSES

#### HYPOTHÈSE

- (1) Plus la température de l'eau est élevée, plus la densité de cette eau est faible.  
(2) Plus la teneur en sel de l'eau est élevée, plus la densité de cette eau est élevée.

#### OBSERVATIONS

Note : les valeurs ci-dessous sont indicatives.

	DENSITÉ
EAU FROIDE NON SALÉE	1000
EAU CHAUDE NON SALÉE	990
EAU CHAUDE SALÉE	1040

#### ANALYSE

- (1) Quand la température de l'eau augmente, sa densité diminue.  
(2) Quand on ajoute du sel à l'eau, sa densité augmente.

L'eau se refroidit dans les régions polaires, coule, et se met en mouvement vers l'Equateur. A l'Equateur, l'eau se réchauffe et remonte à la surface, puis retourne vers les Pôles.

# EXPÉRIENCE 3.2

## MOUVEMENTS DES MASSES D'EAU

### FICHE DE DESCRIPTION

#### OBJECTIF

Découvrir la manière dont l'eau circule dans les océans et ce qui se passe lorsque deux masses d'eau se rencontrent.

#### MATÉRIEL

- Un aquarium
- Un bidon avec de l'eau douce
- Un ou deux bloc(s) réfrigérant(s)
- Une lampe chaude (halogène ou incandescence)
- Un glaçon bleu, fait avec de l'eau salée et du colorant bleu
- Un glaçon rouge, fait avec de l'eau douce et du colorant rouge

#### AU TRAVAIL !

- Formulez vos hypothèses dans la fiche de travail. Faites cela avant de commencer l'expérience !
- Remplissez l'aquarium avec  $\frac{3}{4}$  d'eau douce.
- Mettez le bloc réfrigérant dans l'aquarium, à une des extrémités étroites de l'aquarium.
- Mettez la lampe contre la paroi opposée de l'aquarium, avec la lumière dirigée vers l'aquarium.
- Allumez la lampe.
- Attendez maintenant que l'eau puisse se chauffer d'un côté de l'aquarium, et se refroidir de l'autre côté.
- Mettez le glaçon bleu (eau salée) dans l'aquarium, contre le bloc réfrigérant.
- Observez ce qui se passe au niveau de la circulation de l'eau – Notez vos observations dans la fiche de travail.
- Mettez le glaçon rouge (eau douce) dans l'aquarium, contre le bloc réfrigérant.
- Observez ce qui se passe au niveau de la circulation de l'eau – Notez vos observations dans la fiche de travail.
- Remplissez votre fiche de travail, analysez vos résultats, et préparez-vous à présenter vos résultats devant la classe.

# EXPÉRIENCE 3.2

## MOUVEMENTS DES MASSES D'EAU

### FICHE DE TRAVAIL

#### HYPOTHÈSE

Que se passe-t-il lorsque deux masses d'eau de densités différentes se rencontrent dans l'océan ?  
Quelle masse d'eau va couler ? Quelle masse d'eau va remonter ?

---

---

Dans le rectangle ci-dessous, symbolisant l'aquarium vu de face, indiquez le côté chaud de l'aquarium par la lettre C, et le côté froid avec la lettre F.

- (1) Dessinez ensuite le mouvement de l'eau salée (glaçon bleu) dans l'eau douce. Utilisez pour cela un bic bleu.
- (2) Dessinez le mouvement de l'eau douce (glaçon rouge) dans l'eau douce. Utilisez pour cela un bic rouge.





## ANALYSE

Qu'est ce qui occasionne le mouvement ? Pensez à la partie 1 de l'expérience.

.....  
.....

Quels sont les deux facteurs qui modifient cette grandeur physique ?

[1] .....

[2] .....

Décrivez la manière dont l'eau circule entre les régions polaires et l'équateur, sur base de la circulation que vous venez de simuler.

.....  
.....

## CONCLUSIONS

Votre hypothèse était-elle correcte ? Sinon, reformulez-la ici.

.....  
.....

## APPLICATIONS

Pourquoi la circulation des océans est-elle appelée « circulation thermohaline » ?

.....  
.....

Citez les deux raisons pour lesquelles l'eau de mer plonge dans les régions polaires.

.....  
.....

# EXPÉRIENCE 3.2

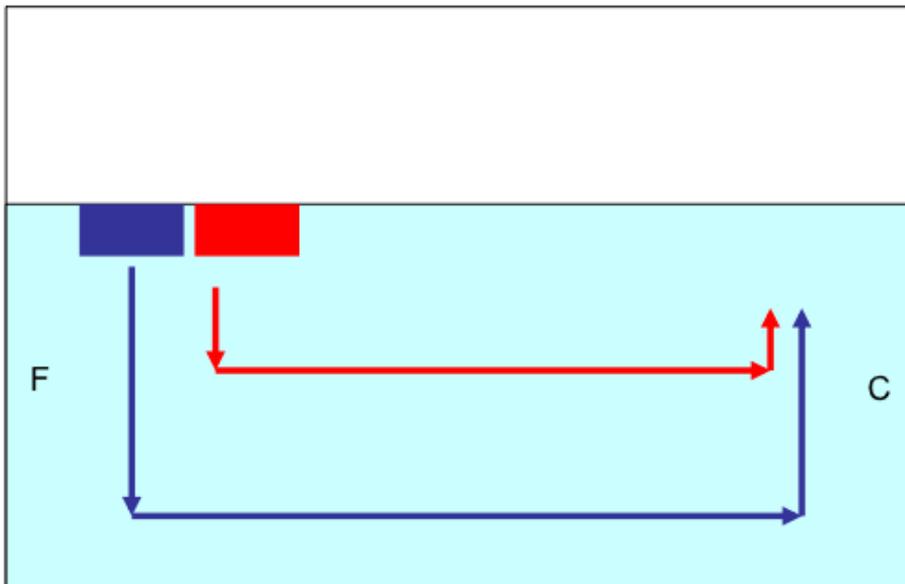
## MOUVEMENTS DES MASSES D'EAU

### FICHE DE TRAVAIL – RÉPONSES

#### HYPOTHÈSE

La masse d'eau avec la plus grande densité (donc celle avec la plus grande teneur en sel) va couler sous celle avec une plus faible densité. Une stratification de couches de densités différentes apparaît.

#### OBSERVATIONS



#### ANALYSE

C'est la densité de l'eau qui occasionne le mouvement des masses d'eau.

- (1) La densité de l'eau change avec la température de cette eau.
- (2) La densité de l'eau change avec la teneur en sel de cette eau.

#### APPLICATIONS

Circulation thermohaline : "thermo" vient de la température, et "haline", de la teneur en sel de l'eau. Les deux facteurs influencent la densité de l'eau. Les différences de densité de même que les effets du vent expliquent la circulation des masses d'eau.

L'eau de mer plonge dans les régions polaires, à cause de l'influence de la température et de la salinité :

- (1) L'eau se refroidit au niveau des pôles, augmentant par là sa densité, ce qui la fait plonger.
- (2) La teneur en sel est un autre facteur. Lorsque la banquise entre en formation, elle rejette de l'eau très salée. L'eau non gelée étant plus salée, plonge, du fait de sa plus haute densité. Ce rejet du sel par la glace vient du fait que les ions du sel peuvent difficilement se placer dans la configuration des cristaux de glace.

# THÈME 4

## ACIDIFICATION DE L'OcéAN

### INFORMATIONS GÉNÉRALES

Environ 70% de la Terre est recouverte d'eau. Les océans jouent un rôle essentiel dans la régulation du climat et du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), l'un des principaux gaz à effet de serre. Le dioxyde de carbone étant soluble dans l'eau, il y a des échanges de CO<sub>2</sub> entre la surface des océans et l'atmosphère jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint. Depuis le début de l'ère industrielle, la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère a considérablement augmenté à cause des activités humaines. Les océans absorbent en conséquence une grande partie de ce dioxyde de carbone produit par les activités humaines. Cette absorption est plus importante dans les régions polaires à cause du froid qui augmente la solubilité des gaz.

La dissolution du CO<sub>2</sub> dans l'eau de mer influence l'acidité des couches supérieures de l'océan. L'acidité d'une solution aqueuse est exprimée par le pH, défini par la formule suivante :

$$\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+],$$

où [H<sup>+</sup>] = la concentration d'ions H<sup>+</sup> dans l'eau (mol/l)

=> Plus la concentration en H<sup>+</sup> est élevée, plus le pH est faible.

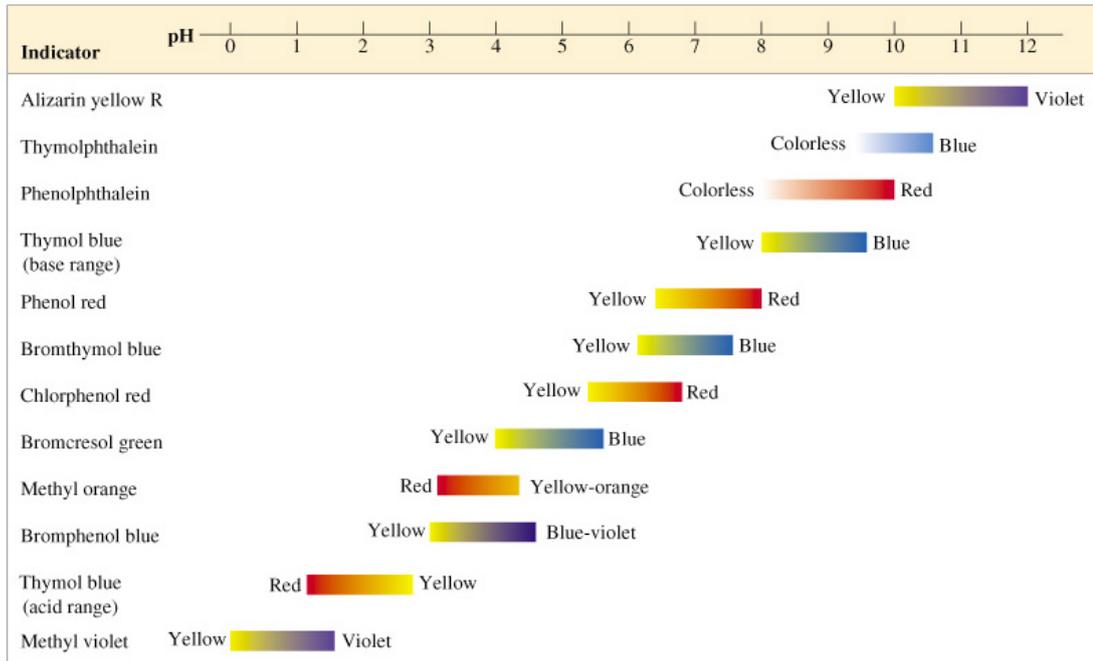
Une solution d'un pH supérieur à 7 est dite basique ; inférieure à 7, elle est dite acide.

Voici quelques exemples :

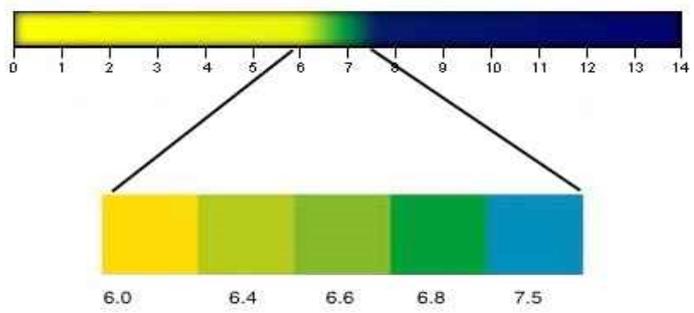
Vinaigre	pH = 3,5
Lait	pH = 6,5
Calcaire	pH = 8,2
Ammoniaque	pH = 11,8

On peut faire une estimation approximative du pH avec du papier spécial qui change de couleur en fonction de l'acidité de la solution dans laquelle on le plonge (papier pH). Pour une mesure plus précise on utilisera un pH-mètre.

Pour savoir quand un pH dépasse un certain seuil, on utilise un indicateur de pH. Il s'agit une substance chimique qui change de couleur à une valeur de pH donnée. L'intervalle de pH dans lequel la couleur de la substance change s'appelle la zone de virage. Chaque indicateur de pH a sa propre zone de virage, comme le montre la figure 4.1. La figure 4.2 montre les zones de virage de plusieurs indicateurs de pH, dont celle du bleu de bromothymol. L'absorption du CO<sub>2</sub> par les océans représente notamment une menace pour les organismes avec un squelette ou une coquille calcaire, comme les moules, les coraux, les étoiles de mers.



↳ Figure 4.1 : Les zones de virage de différents indicateurs de pH.



↳ Figure 4.2 : Exemple du Bleu de Bromothymol.

# EXPÉRIENCE 4.1

## ACIDIFICATION DE L'EAU

### FICHE DE DESCRIPTION

#### OBJECTIF

Déterminer l'influence du CO<sub>2</sub> sur l'acidité de l'eau, lorsque le CO<sub>2</sub> est absorbé par l'eau.  
Déterminer l'influence de la température de l'eau sur l'absorption du CO<sub>2</sub>.

*Note : Le degré d'acidité est une mesure de la concentration des ions H<sup>+</sup> dans la solution, qui se traduit par le pH. Le pH est exprimé sur une échelle de 0 à 14. Une grande concentration d'ions H<sup>+</sup> rend le milieu plus acide : son pH diminue. Une faible concentration d'ions H<sup>+</sup> rend le milieu basique : son pH augmente. Une diminution du pH signifie donc une augmentation de l'acidité du milieu. Sur l'échelle de pH, un pH de 7 est dit neutre, un pH < 7 est dit acide, un pH > 7 est dit basique.*

#### MATÉRIEL

- 2 grands bocaux (A et B)
- Eau
- 2 glaçons
- 2 pailles
- Bleu de bromothymol (indicateur de pH)
- 2 paires de lunettes de sécurité
- Tube gradué
- Chronomètre

#### AU TRAVAIL !

- Selon vous, l'absorption du CO<sub>2</sub> par l'eau va-t-elle augmenter ou diminuer le pH de l'eau ? Notez votre hypothèse dans la fiche de travail. Faites cela avant de commencer l'expérience !
- Selon vous, le pH va-t-il changer selon la température de l'eau ? Notez votre hypothèse dans la fiche de travail. Faites cela avant de commencer l'expérience !
- Remplissez le bocal A avec 80 ml d'eau, le bocal B avec 40 ml d'eau.
- Mettre les lunettes de sécurité.
- Ajoutez à chaque bocal 10 gouttes de bleu de bromothymol, et mélangez.
- Déterminez la couleur et le pH du liquide à ce moment là, au moyen de l'échelle de couleur du bleu de bromothymol, et remplissez la ligne « Témoin » du tableau.
- Ajoutez les deux glaçons au bocal B.
- Soufflez pendant environ 1 minute avec une paille dans les bocaux A et B, en faisant de courtes pauses si nécessaire.
- Déterminez immédiatement la couleur et le pH des liquides dans les deux bocaux à l'aide de l'indicateur de pH du bleu de bromothymol, et remplissez le tableau dans la fiche de travail.
- Remplissez votre fiche de travail, analysez vos résultats, et préparez-vous à présenter vos résultats devant la classe.

# EXPÉRIENCE 4.1

## ACIDIFICATION DE L'EAU

### FICHE DE TRAVAIL

#### HYPOTHÈSES

(1) .....

(2) .....

#### OBSERVATIONS

Remplissez le tableau. Notez la couleur et l'acidité dans les bocaux. Déterminer le pH.

	COULEUR	PH DONNÉ PAR LE BLEU DE BROMOTHYMOLE
TÉMOIN		
BOCAL SANS GLAÇON, DANS LEQUEL ON A SOUFFLÉ (A)		
BOCAL AVEC GLAÇON, DANS LEQUEL ON A SOUFFLÉ (B)		

#### ANALYSE

Que se passe-t-il avec la couleur quand on souffle dans le bocal ?

.....  
.....

La solution devient-elle plus acide si on souffle dans le bocal ?

.....  
.....

Qu'est-ce qui occasionne le changement de couleur (et donc du pH) ? NB : quel gaz souffle-t-on dans le bocal ?

.....  
.....



La réaction chimique suivante se déroule lorsque vous soufflez dans l'eau :



Dans quel sens la réaction va-t-elle se déplacer lorsqu'on augmente la concentration de  $\text{CO}_2$  ?

.....  
.....

Que se passe-t-il au niveau de l'acidité ? NB : pensez à la formule du pH.

.....  
.....

Quel bocal a le contenu le plus acide ?

.....  
.....

Comment cela se fait-il ? NB : Pensez à la solubilité des gaz.

.....  
.....

## CONCLUSIONS

Vos deux hypothèses étaient-elles correctes ? Si ce n'était pas le cas, reformulez-les.

.....  
.....

## APPLICATIONS

Les océans vont-ils augmenter ou diminuer d'acidité au cours du siècle prochain, suite aux émissions de  $\text{CO}_2$  ? Expliquez.

.....  
.....

Quels océans seront les premiers à subir l'effet de l'acidification ? Ceux au niveau de l'équateur ou au niveau des pôles ? Expliquez.

.....  
.....



L'augmentation du  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère aura-t-elle une influence sur les organismes marins ? Pour répondre à cette question, discutez avec les élèves qui réalisent l'expérience sur les coquilles de mollusques. Expliquez.

---

---

Si deux scientifiques réalisent la même expérience, et réalisent un graphique sur le pH obtenu, vont-ils obtenir exactement le même résultat ? Pourquoi ?

---

---

# EXPÉRIENCE 4.1

## ACIDIFICATION DE L'EAU

### FICHE DE TRAVAIL – RÉPONSES

#### HYPOTHÈSES

Lorsqu'on souffle dans l'eau, on injecte du CO<sub>2</sub> ; l'eau devient donc plus acide (le pH diminue). L'effet de l'acidification de l'eau est amplifié dans l'eau plus froide (glaçons).

#### OBSERVATIONS

	COULEUR	PH DONNÉ PAR LE BLEU DE BROMOTHYMOLE
TÉMOIN	BLEU	7,5
BOCAL SANS GLAÇON, DANS LEQUEL ON A SOUFFLÉ (A)	VERT MOYEN	6,8
BOCAL AVEC GLAÇON, DANS LEQUEL ON A SOUFFLÉ (B)	VERT CLAIR/ JAUNE	6,4

#### ANALYSE

Quand on souffle dans le bocal, la couleur devient vert moyen (bocal A) ou vert clair/jaune (bocal B). Oui, la solution devient plus acide quand on souffle dans le bocal.

Le CO<sub>2</sub> soufflé dans le bocal se dissout dans l'eau, et occasionne le changement de couleur (et donc du pH).

La réaction se déplace vers la droite quand on souffle dans l'eau.

L'acidité augmente (le pH diminue) quand on souffle dans l'eau.

Le bocal avec les glaçons a le contenu le plus acide.

La raison pour laquelle le contenu le plus acide est le bocal B (avec les glaçons) vient du fait que quand la température baisse, la solubilité des gaz augmente.

#### APPLICATIONS

Les océans risquent de devenir plus acides au cours du siècle prochain, suite aux émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

Les premiers océans à subir les effets de l'acidification seront les océans aux pôles, car ils sont plus froids qu'à l'équateur.

L'augmentation du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère va acidifier les océans. Cette acidification diminue la capacité des organismes calcaires à créer leur squelette externe, c.à.d. diminuent leur processus de calcification.

Si deux scientifiques réalisent la même expérience, ils ne vont pas obtenir exactement le même résultat, car ils ne vont pas introduire la même quantité de CO<sub>2</sub> dans l'eau en soufflant.

# EXPÉRIENCE 4.2

## LE SORT DES COQUILLAGES

### FICHE DE DESCRIPTION

#### OBJECTIF

Observer l'impact d'un pH acide sur les coquilles des organismes marins, qui sont faites de calcaire.

#### MATÉRIEL

- 1 flacon d'échantillonnage
- 3 coquilles vides
- Vinaigre

#### AU TRAVAIL !

- Selon vous, une augmentation de l'acidité du milieu aura-t-il une influence sur les coquilles ? Formulez votre hypothèse dans la fiche de travail.
- Mettez les 3 coquilles dans le flacon d'échantillonnage.
- Versez du vinaigre sur les coquilles de telle sorte qu'elles soient complètement immergées. Qu'observez-vous ?
- Remplissez votre fiche de travail, analysez vos résultats, et préparez-vous à présenter vos résultats devant la classe.

# EXPÉRIENCE 4.1

## LE SORT DES COQUILLAGES

### FICHE DE TRAVAIL

#### HYPOTHÈSE

---

---

#### OBSERVATIONS

Qu'observez-vous lorsque vous mettez du vinaigre sur les coquilles ?

---

---

#### ANALYSE

De quoi sont composées les coquilles ?

---

---

Les ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{CO}_3^{2-}$  interviennent dans la formation de carbonate de calcium. Pouvez-vous écrire l'équation correspondant à cette formation ? Donnez la phase de chaque composant : ions dissous (aq), gaz (g), liquide (l), solide (s).

---

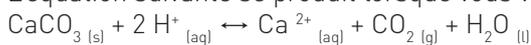
---

Qu'est ce que le vinaigre ? Une solution acide ou basique ? Que contient-il ? Quels ions libère-t-il :  $\text{H}^+$  ou  $\text{OH}^-$  ?

---

---

L'équation suivante se produit lorsque vous versez du vinaigre sur la coquille :



Que se passe-t-il avec le carbonate de calcium lorsque vous versez du vinaigre sur les coquilles ? Quel effet cela a-t-il sur la dureté des coquilles ?

---

---



Qu'est ce qui provoque l'effervescence ?

---

---

Si vous chauffez le vinaigre, puis le versez sur les coquilles, vous remarquerez que l'effervescence augmente. Comment cela se fait-il ? NB : Pensez à la solubilité des gaz.

---

---

## CONCLUSIONS

Votre hypothèse était-elle correcte ? Si ce n'était pas le cas, reformulez-la.

---

---

## APPLICATIONS

Les organismes à squelette calcaire sont-ils menacés par l'acidification des océans ? Expliquez.

---

---

Pourquoi les organismes polaires sont-ils les premiers à être affectés par l'acidification des océans ? Discutez avec les élèves qui travaillent sur l'acidification des océans – partie 1.

---

---

Pourquoi une bouilloire doit-elle régulièrement être décalcarisée ? Quel produit de cuisine utilise-t-on pour cela ?

---

---

Les bâtiments historiques et les statues construits avec du calcaire sont parfois grisâtres. Pourquoi ?

---

---

# EXPÉRIENCE 4.2

## LE SORT DES COQUILLAGES

### FICHE DE TRAVAIL – RÉPONSES

#### HYPOTHÈSE

Un pH faible (acidification de l'océan) aura une influence sur les coquilles.

#### OBSERVATIONS

Lorsqu'on met du vinaigre sur les coquilles, on observe un phénomène d'effervescence (bulles).

#### ANALYSE

Les coquilles sont composées de carbonate de Calcium ( $\text{CaCO}_3$ ).

La formule qui explique la composition / décomposition du carbonate de calcium est la suivante :



Le vinaigre est une solution acide, qui libère des ions  $\text{H}^+$ .

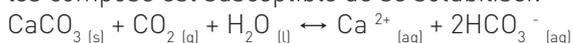
Quand on verse du vinaigre sur les coquilles, le carbonate de calcium se transforme et la réaction entraîne une formation d'ions  $\text{Ca}^{2+}$  et de  $\text{CO}_2$ . Les coquilles se fragilisent.

C'est le  $\text{CO}_2$  qui se dégage sous forme de gaz qui provoque l'effervescence.

Lorsqu'on chauffe le vinaigre, l'effervescence est plus importante que lorsque le vinaigre est froid : un gaz est plus soluble dans un liquide froid que dans un liquide chaud. Ainsi, si le vinaigre est chaud, le  $\text{CO}_2$  va davantage se dégager (ne plus se trouver sous forme dissoute).

#### APPLICATIONS

Les organismes calcaires sont menacés par l'acidification des océans. Le carbonate de Calcium qui les compose est susceptible de se solubiliser.



Les organismes polaires sont les premiers à être affectés par l'acidification des océans car : eau froide => augmentation de la solubilité du  $\text{CO}_2$  => le pH de l'eau diminue

Une bouilloire doit régulièrement être décalcarisée car l'eau minérale, lorsqu'elle est chauffée, engendre des dépôts de calcaire. Le vinaigre est utilisé pour retirer ces dépôts.

Les bâtiments historiques et les statues construits avec du calcaire sont parfois grisâtres à cause des pluies acides.

# THEME 5

## PALEOCLIMATOLOGIE

### INFORMATIONS GÉNÉRALES

Le changement climatique actuel a des conséquences sur la Terre entière. De manière à prévoir le climat de demain, il est utile d'étudier le climat passé. La paléoclimatologie est cette science dont le but est d'étudier le climat passé sur Terre et les mécanismes occasionnant les changements climatiques.

Les paléoclimatologues travaillent souvent avec des indicateurs indirects, qui donnent une certaine information sur le climat passé. Les anneaux de croissance des arbres et les fossiles sont des exemples d'indicateurs indirects.

Le sol des océans et des lacs est couvert de plusieurs couches de sédiments formant de la boue. Ces sédiments contiennent les restes d'animaux et de plantes : il s'agit de fossiles. Un type de fossile trouvé dans les fonds des lacs et des océans est souvent utilisé par les paléoclimatologues : il s'agit de diatomées.

Les diatomées sont des algues unicellulaires avec un squelette robuste. Lorsque les diatomées meurent, leur squelette plonge jusqu'au fond où ils peuvent être préservés pendant des millions d'années. Les diatomées sont alors recouvertes par d'autres couches de sédiments et de diatomées.

Chaque espèce de diatomée a un squelette différent. Cette différence dans le type de squelette est utilisée pour identifier les différentes espèces de diatomées. Par ailleurs, chaque espèce grandit de manière optimale à une certaine température (température optimale  $T_o$ ), ce qui permet d'avoir une certaine compréhension du climat existant au moment de la vie de chaque espèce étudiée.

Les scientifiques peuvent déterminer la température au moment de la formation de ces fossiles (température moyenne pondérée  $T_m$ ), avec la formule suivante :

$$T_m = [(n_{S1} \cdot T_{o,S1}) + (n_{S2} \cdot T_{o,S2}) + (n_{S3} \cdot T_{o,S3}) + (n_{S4} \cdot T_{o,S4})] / (n_{S1} + n_{S2} + n_{S3} + n_{S4})$$

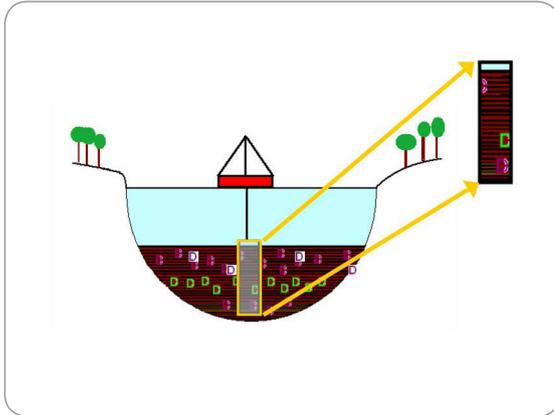
$T_m$  = température moyenne pondérée (°C)

$S_n$  = espèce de diatomée

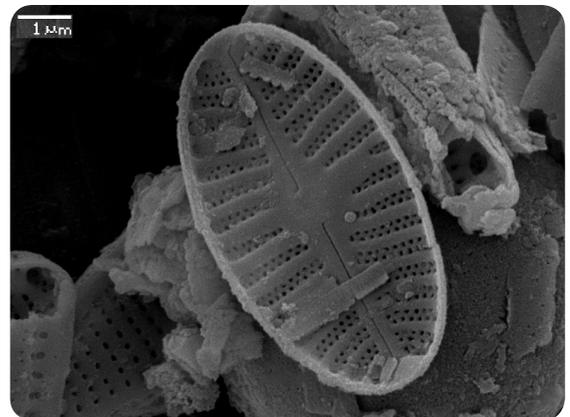
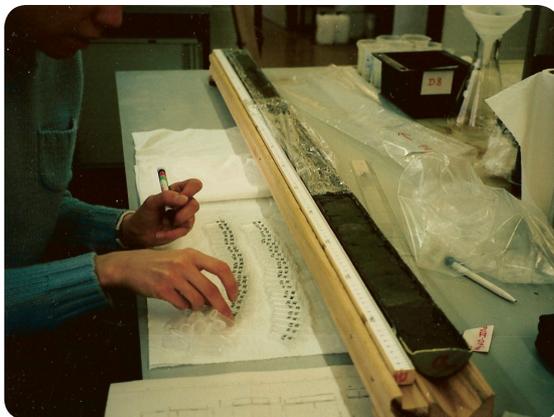
$T_o, S_n$  = température optimale pour l'espèce de diatomée (°C)

$n_{S_n}$  = total de diatomées d'un certain type

De manière à étudier la composition en diatomées des sédiments d'un lac à différentes profondeurs, les paléoclimatologues utilisent une perceuse spéciale pour récupérer des carottes de sédiments (figure 5.1). Plus le forage est profond, plus on remonte dans le temps. De retour au laboratoire, les scientifiques extraient les échantillons de la carotte de sédiments, et les analysent au microscope afin de déterminer la composition en diatomées (figure 5.2).



→ Figure 5.1 : On retire un échantillon de sédiments d'un lac (UGent).



→ Figure 5.2 : Analyse de diatomées d'une carotte de sédiments. A : préparation des échantillons. B. Les diatomées, telles qu'elles apparaissent sous le microscope (UGent).

# EXPERIENCE 5

## LES TRACES DU PASSE

### FICHE DE DESCRIPTION

#### OBJECTIF

Déterminer le climat passé en analysant les espèces de diatomées dans les carottes de sédiments.

#### MATÉRIEL

- 10 boîtes de Pétri reprenant différents échantillons correspondant aux différentes sections de la carotte de sédiment. La profondeur et l'âge sont indiqués sur la boîte de Pétri.

NUMÉRO DE L'ÉCHANTILLON	AGE (AVANT LE PRÉSENT *)	PROFONDEUR (CM)
1	1000	5
2	2000	10
3	3000	15
4	4000	20
5	5000	25
6	6000	30
7	7000	35
8	8000	40
9	9000	45
10	10.000	50

\* L'expression "avant le présent" est utilisée en archéologie pour désigner les âges exprimés en nombre d'années comptées vers le passé à partir de l'année 1950 du calendrier grégorien.

Chaque boîte de Pétri contient 12 billes (roses, vertes, jaunes, et violettes). Chaque couleur représente une espèce spécifique de diatomées qui survit mieux à une certaine température (la température optimale,  $T_o$ ).

ESPÈCE DE DIATOMÉE	$T_o$ (°C)
ROSE	20
JAUNE	15
VERT	10
VIOLET	5

- Calculatrice

## AU TRAVAIL !

- Les diatomées sont-elles un bon indicateur du climat passé ? Formulez votre hypothèse et indiquez-la dans la fiche de travail. Faites cela avant de commencer l'expérience !
- Reconstituez la carotte de sédiment en empilant les boîtes de Pétri. La boîte en bas de la pile représente le sédiment le plus profond et donc le plus vieux ; la boîte en haut représente le sédiment le plus jeune.
- Coloriez le diagramme sur la fiche de travail selon la composition en diatomées de chaque boîte de Pétri. Pour ce faire, comptez le nombre de billes de chaque couleur et coloriez les cercles. Pour chaque échantillon, commencez par le bas du graphique et coloriez d'abord les roses, puis les jaunes, puis les vertes et enfin les violettes, en respectant l'âge des échantillons (l'échantillon 1, le plus jeune est donc à droite du graphique).
- Faites une ligne au-dessus des points roses : cela vous donnera une courbe avec l'âge sur l'axe des X et le nombre de diatomées par espèce sur l'axe des Y.
- Calculez la température moyenne ( $T_m$ ) pour les profondeurs équivalentes à 1000 ans avant le présent, 4000 ans avant le présent, et 7000 ans avant le présent grâce au tableau.
- Remplissez votre fiche de travail, analysez vos résultats, et préparez-vous à présenter vos résultats devant la classe.



# EXPERIENCE 5

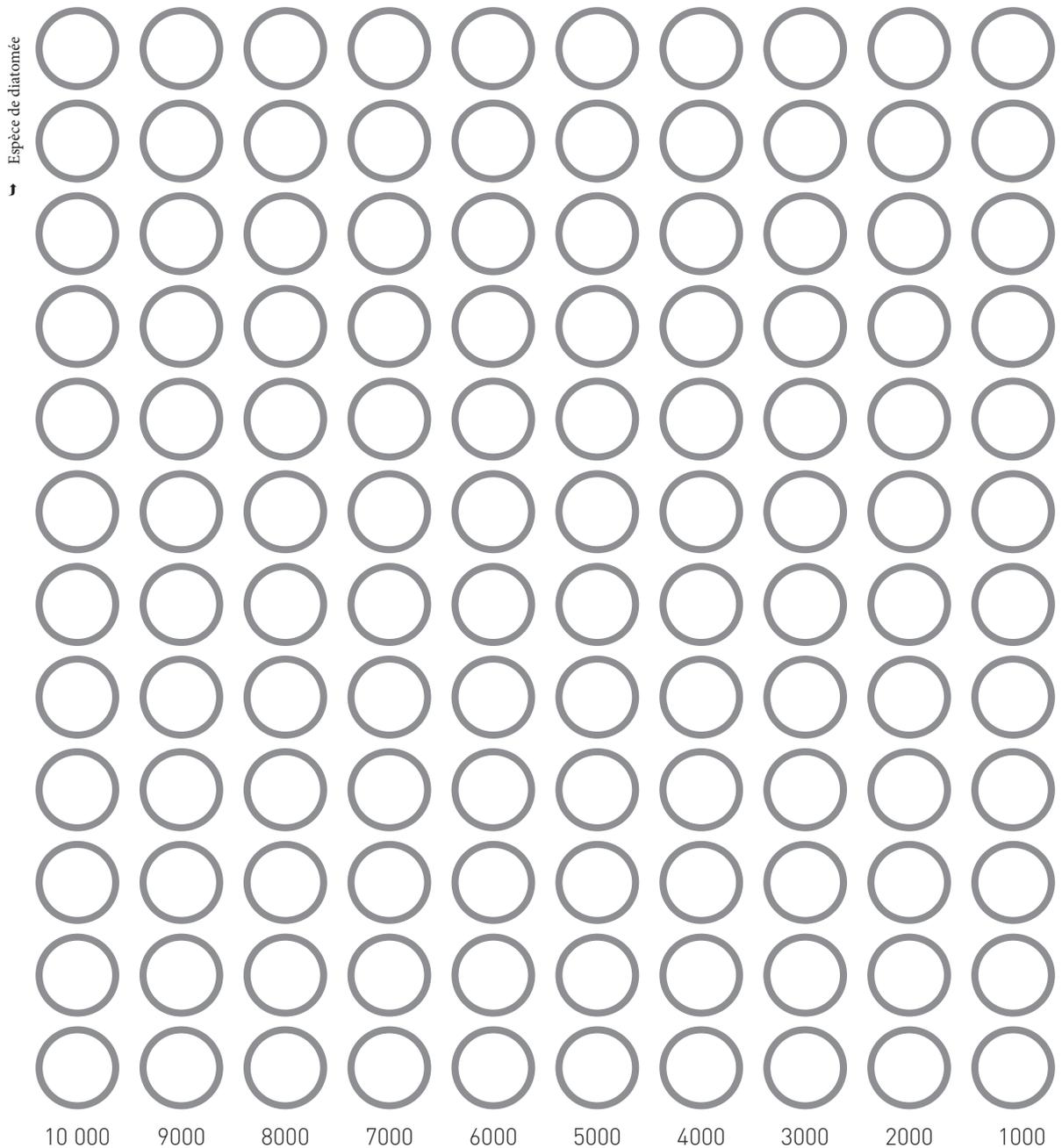
## LES TRACES DU PASSE

### FICHE DE TRAVAIL

HYPOTHÈSE

---

---





## OBSERVATIONS

Comment le climat varie-t-il en fonction du temps, dans cette expérience ? Décrivez la courbe.

.....

.....

Remplissez le tableau

	↑	MAXIMUM	↓	MINIMUM	↑	MAXIMUM
AGE (ANNÉE AVANT PRÉSENT)						
CLIMAT FROID OU CHAUD						

Remplissez le tableau

AGE (ANNÉE AVANT PRÉSENT)	$N_{ROSE} \cdot T_{O,ROSE}$	$N_{JAUNE} \cdot T_{O,JAUNE}$	$N_{VERT} \cdot T_{O,VERT}$	$N_{VIOLET} \cdot T_{O,VIOLET}$	$N_{TOTAAL}$	$T_m$ (°C)
1000						
4000						
7000						

Comparez les températures moyennes pondérées des deux périodes les plus chaudes. Quand la température était-elle la plus chaude ?

.....

.....

## ANALYSE

La courbe montre pour les deux périodes le même maximum alors que les températures moyennes pondérées sont différentes. Comment l'expliquer ?

.....

.....



## CONCLUSIONS

Votre hypothèse était-elle correcte ? Si ce n'était pas le cas, reformulez-la.

---

---

## APPLICATIONS

Dans les Régions Polaires, les paléoclimatologues forent dans la glace pour retirer des carottes de glace. Essayez d'utiliser le même principe pour reconstruire le climat. Quels indicateurs indirects dans la glace peut-on utiliser pour étudier le climat passé ?

---

---

Où les scientifiques peuvent-ils forer pour aller aussi loin dans le passé que possible ? Dans la calotte glaciaire du Groenland ou de l'Antarctique ?

---

---



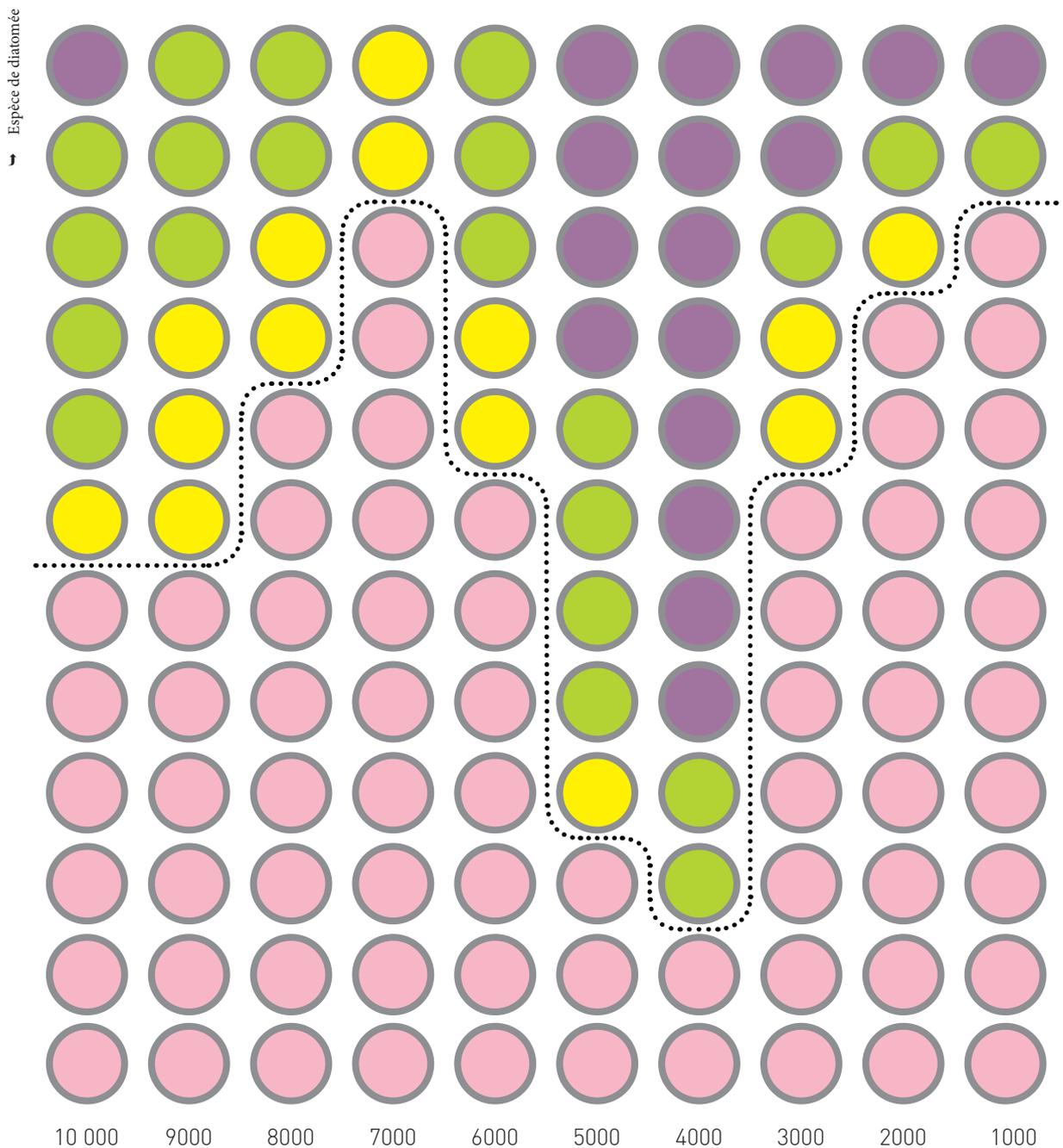
# EXPERIENCE 5

## LES TRACES DU PASSE

### FICHE DE TRAVAIL - RÉPONSES

#### HYPOTHÈSE

Les diatomées sont de bons indicateurs du climat passé.



## OBSERVATIONS

Il y a d'abord eu une période chaude, puis une période plus froide, et ensuite une période chaude à nouveau.

	↑	MAXIMUM	↓	MINIMUM	↑	MAXIMUM
AGE (ANNÉE AVANT PRÉSENT)		7000		4000		1000
CLIMAT FROID OU CHAUD		CHAUD		FROID		CHAUD

AGE (ANNÉE AVANT PRÉSENT)	$N_{ROSE} \cdot T_{O,ROSE}$	$N_{JAUNE} \cdot T_{O,JAUNE}$	$N_{VERT} \cdot T_{O,VERT}$	$N_{VIOLET} \cdot T_{O,VIOLET}$	$N_{TOTAAL}$	$T_m$ (°C)
1000	200	0	10	5	12	17,9
4000	40	0	20	40	12	8,3
7000	200	30	0	0	12	19,2

En comparant les températures moyennes pondérées des deux périodes les plus chaudes, la température la plus chaude était il y a 7000 ans.

## ANALYSE

La température pondérée prend en considération toutes les espèces de diatomées alors que la courbe au dessus des billes roses ne prend en compte que la température maximale.

## APPLICATIONS

Les bulles d'air et les particules de poussière qui sont emprisonnées dans la glace servent d'indicateurs dans les carottes de glace. Elles donnent des indications sur le climat passé au moment où la glace s'est formée (poussière de volcan, isotopes).

La couche de glace en Antarctique permet de retracer le climat plus loin car cette couche est plus épaisse qu'au Groenland (5 km par rapport à 2,2 km).

© International Polar Foundation, 2013

---



INTERNATIONAL  
POLAR  
FOUNDATION