

## Le flux de chaleur interne de la Terre.

La croûte terrestre est épaisse en moyenne de 30 kilomètres. Plus on descend en profondeur, plus la température augmente (environ 30 °C par km). La **géothermie** étudie la production de chaleur interne du globe terrestre mais aussi les techniques permettant d'exploiter ce phénomène.

**On cherche à comprendre d'où provient la chaleur du globe terrestre et comment cette énergie thermique est transférée à la surface de la Terre.**

### Ressources

#### Document 1 : Origine de l'énergie géothermique

Les différentes enveloppes terrestres contiennent des éléments radioactifs : uranium ( $^{238}\text{U}$  et  $^{235}\text{U}$ ), thorium ( $^{232}\text{Th}$ ) et potassium ( $^{40}\text{K}$ ). Leur désintégration produit de l'énergie thermique :  $9,94 \cdot 10^{-5} \text{ W.kg}^{-1}$  pour  $^{238}\text{U}$  et  $^{235}\text{U}$  réunis ;  $2,69 \cdot 10^{-5} \text{ W.kg}^{-1}$  pour  $^{232}\text{Th}$  ;  $2,79 \cdot 10^{-5} \text{ W.kg}^{-1}$  pour  $^{40}\text{K}$  ( $1\text{W} = 1 \text{ J.s}^{-1}$ ). Cette source d'énergie interne – inépuisable à l'échelle de l'humanité – est à l'origine de 50 à 75 % de l'énergie thermique dissipée par la Terre.

#### 1 La principale source d'énergie interne de la Terre.

Enveloppes	Masse (en kg)	Concentrations des éléments (en ppm)		
		$^{238}\text{U}$ et $^{235}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$
Croûte continentale	$1,38 \cdot 10^{22}$	1,60	5,80	2,38
Croûte océanique	$6,90 \cdot 10^{21}$	$9,00 \cdot 10^{-1}$	2,70	$4,76 \cdot 10^{-1}$
Manteau	$4,00 \cdot 10^{24}$	$2,70 \cdot 10^{-2}$	$9,40 \cdot 10^{-2}$	$3,90 \cdot 10^{-2}$
Noyau	$1,99 \cdot 10^{24}$	$1,00 \cdot 10^{-5}$	$1,00 \cdot 10^{-4}$	$1,19 \cdot 10^{-4}$

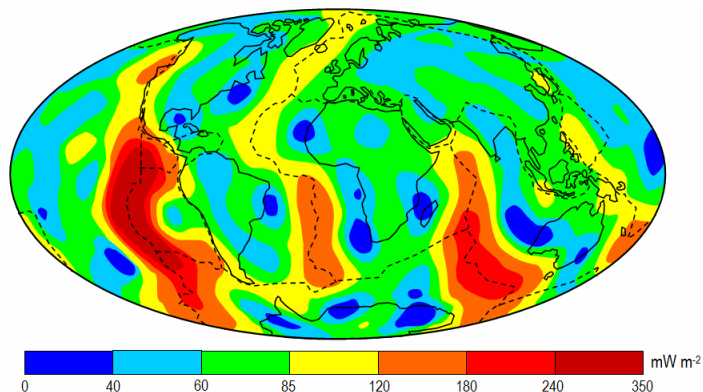
**2 Concentration en éléments radioactifs dans les enveloppes terrestres.** Ppm signifie « partie pour million » : 1 ppm d'uranium = 1 mg d'uranium par kg de roche.

#### Définitions :

**Flux géothermique** : quantité d'énergie géothermique dissipée par unité de temps et de surface.

**Gradient géothermique** : variation de la température sur une distance donnée dans une enveloppe terrestre.

#### Document 2 : Flux géothermique dans le monde



#### Document 3 : Les caractéristiques des roches de la croûte continentale vis à vis de la chaleur

Au laboratoire, on peut évaluer la conductivité thermique sur des échantillons. Le tableau ci-contre en présente quelques valeurs :

Flux géothermique ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ) = conductivité thermique  $\times$  gradient géothermique ( $\text{K} \cdot \text{m}^{-1}$ )

##### Quelques résultats

Type de matériau	Conductivité thermique (en $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )
Granite	2,5 à 3,8
Péridotite	4,2 à 5,8
Gabbro basalte	1,7 à 2,5
Calcaire	1,7 à 3,3
Argent	420
Eau	6
Bois	0,1

Les roches terrestres sont de mauvais conducteurs thermiques (même si le bois est encore un plus « mauvais » conducteur et donc un très bon isolant). Les roches freinent les transferts d'énergie interne et permettent ainsi une forme de stockage de chaleur.

(Attention, ici la conductivité est donnée en  $\text{W/m}^\circ\text{K}$  et non en  $\text{W/m}/^\circ\text{C}$ )

Formule de conversion pour passer de degrés Celsius en kelvin :

$$T(\text{K}) = T(\text{C}) + 273,15$$

avec :  $T(\text{K})$  = température en kelvin (K)

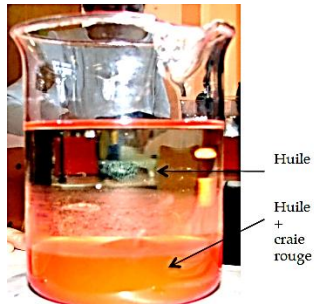
et  $T(\text{C})$  = température en degrés Celsius ( $^\circ\text{C}$ )

## Manipulations à réaliser

### Protocole 1 : Effet de la température sur le mouvement du matériel

#### Manipulation 1

- Remplir le fond du bécher avec de l'huile colorée en rouge.
- Ajouter une couche d'huile non colorée par-dessus en veillant à ne pas mélanger les couches (faire couler l'huile sur le bord de bécher pour le remplir).
- Faire chauffer le montage au-dessus d'une bougie chauffe plat - Observer.



#### Manipulation 2

- Remplir le bécher d'eau.
- Déposer le glaçon coloré en surface.
- observer.

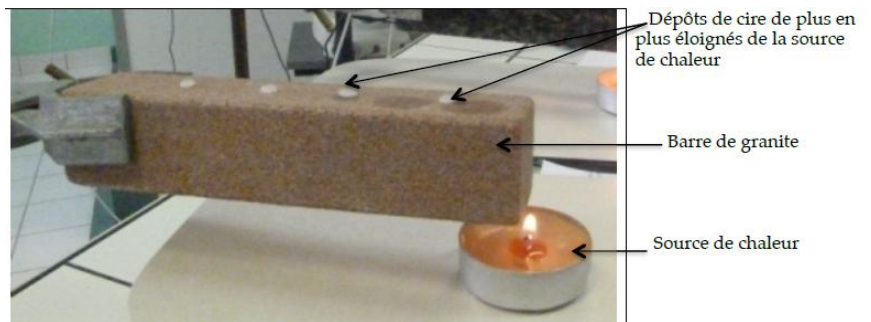
### Protocole 2 : Modélisation de deux mécanismes de transfert d'énergie thermique

#### Document d'aide à la résolution :

Un transfert de chaleur (dans un solide ou un fluide) peut se faire par le biais de deux mécanismes.

Grace à la **conduction**, l'énergie thermique est transférée sans transport de matière, par propagation de proche en proche. Ce transfert résulte de la différence de température entre deux régions d'un même milieu ou entre deux milieux en contact (expérience ci-contre).

Grace à la **convection**, l'énergie thermique est transférée grâce à des mouvements de matière liés à des différences de densité. Celles-ci sont contrôlées, entre autres, par la température.

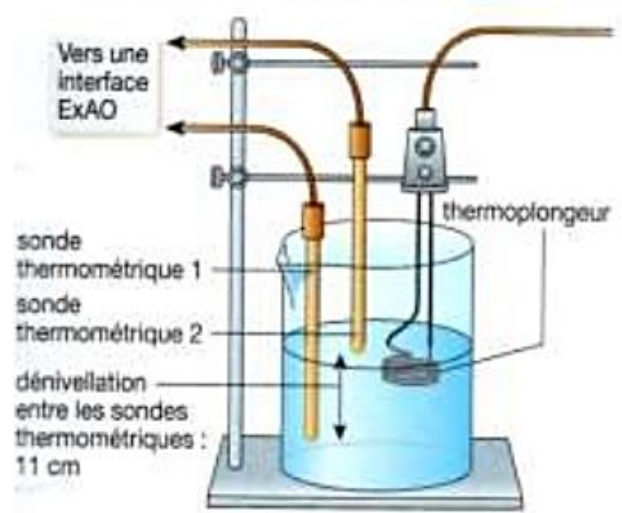


### Manipulation 3

Deux cuves sont remplies d'eau avec un thermoplongeur (chauffant soit sous la surface, soit en profondeur). Deux thermosondes sont disposées à des profondeurs différentes dans le premier dispositif.

**ATTENTION : Ne pas toucher aux réglages !!!! Seule la puissance tenant les thermosondes va être bougée d'une cuve à l'autre.**

- Réaliser une première série de mesure toutes les 20 secondes
- Avec le tableur, construire les courbes d'évolution de la température en fonction du temps pour chaque thermomètre – mettre les 2 courbes sur le même graphique.



1. Calculer le gradient thermique entre les deux courbes :  $(T1 - T2)/d$ , en  $^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ .
2. Calculer la quantité d'énergie transférée pour le thermosonde en profondeur :  $Q = m(\text{eau}) \times C(\text{eau}) \times (Tf - Ti)$ , en Joules.

*Avec  $T1$  = température de la thermosonde en surface à la fin de l'expérience*

*$T2$  = température de la thermosonde en profondeur à la fin de l'expérience*

*$d$  = distance entre les thermosondes*

*$m(\text{eau}) = \dots\dots\dots L = \dots\dots\dots \text{kg}$*

*$C(\text{eau})$  = capacité thermique massique de l'eau =  $4180 \text{ J/Kg/}^{\circ}\text{C}$  entre  $0$  et  $100^{\circ}\text{C}$ .*

*$Tf$  = température finale*

*$Ti$  = température initiale*

3. Donner le mécanisme de transfert d'énergie thermique mis en évidence (conduction ou convection).
4. Comparer les résultats avec un binôme ayant l'autre montage - conclure

Doc 1 : **gradient géothermique** est le résultat des désintégrations radioactives qui se déroulent en profondeur.

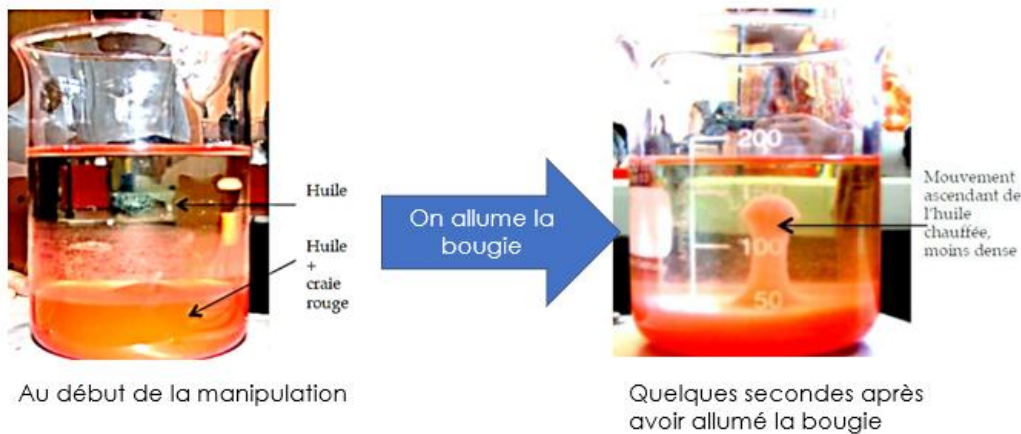
**Le manteau terrestre a la masse la plus importante, c'est lui qui est la principale source de chaleur interne terrestre.**

Doc 2 : Le flux géothermique indique que la chaleur produite par le manteau se dissipe vers la surface. Certains points sont plus chauds que d'autres.

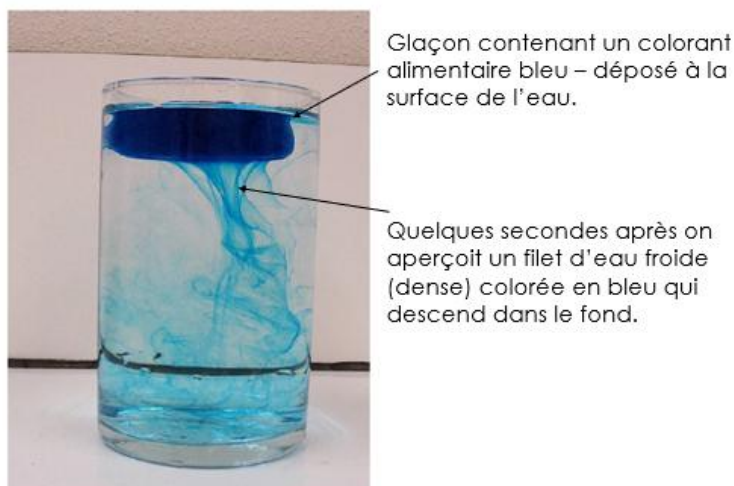
Doc 3 : Le flux géothermique dépend de la conductivité thermique des matériaux et du gradient géothermique. Les roches du manteau sont meilleurs conducteurs thermiques que les roches de la croûte.

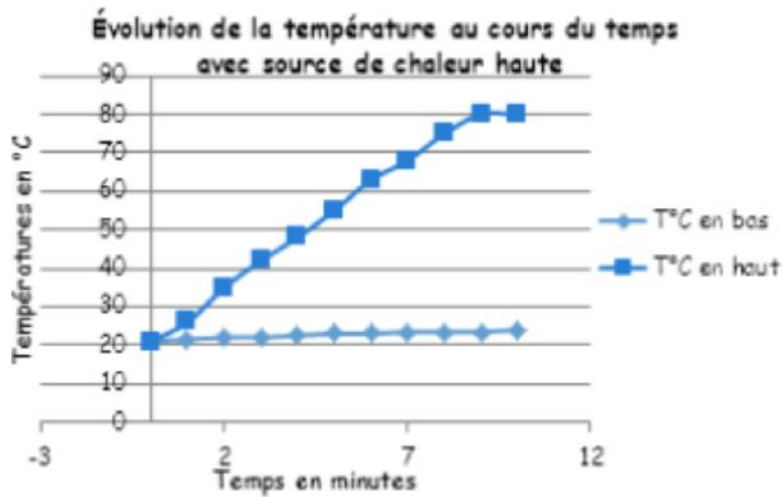
### Résultats obtenus pour les manipulations 1 et 2 :

## Manipulation 1



## Manipulation 2





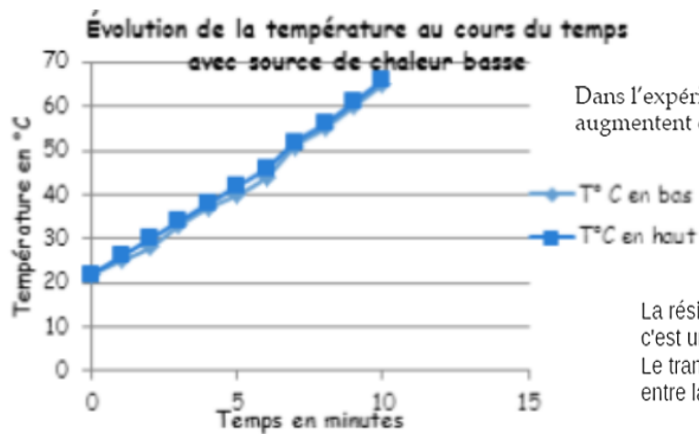
On observe que dans l'expérience où la source de chaleur est haute, la température de la partie supérieure augmente (20 → 80 °C) tandis que la température du fond reste stable (20 → 23 °C).

Nous savons que la densité de l'eau varie avec la température, l'eau chaude, moins dense reste en surface tandis que l'eau moins chaude, plus dense stagne au fond. Les eaux ne se mélangent pas.

La résistance haute chauffe l'eau. L'eau chaude superficielle, moins dense ne peut pas se mélanger à l'eau froide profonde. Le transfert de chaleur s'effectue par **conduction** (de proche en proche). le gradient de température mesuré entre la surface et la profondeur est important.

$$\text{Gradient thermique : } (80 - 20)/5 = 12^\circ\text{C/cm}$$

$$\text{Quantité d'énergie transférée : } 1 \times 4180 \times (23 - 20) = 1,3 \cdot 10^4 \text{ J}$$



Dans l'expérience où la source de chaleur est au fond, les températures relevées par les 2 sondes augmentent de façon identique. (20 → 70 °C)

La résistance basse chauffe l'eau. L'eau chaude profonde moins dense remonte vers la surface : c'est un mouvement de **convection**.

Le transfert de chaleur s'effectue par transfert de matière. Le gradient de température mesuré entre la surface et la profondeur reste faible.

$$\text{Gradient thermique : } (43 - 40)/5 = 0,6^\circ\text{C/cm}$$

$$\text{Quantité d'énergie transférée : } 1 \times 4180 \times (65 - 20) = 1,9 \cdot 10^5 \text{ J}$$