

Calculer des bilans thermiques

Source : d'après Problèmes résolus de Sciences de la Terre et de l'Univers, J.Y Daniel et al. Vuibert Ed.

Compétences :   

On se propose d'étudier un certain nombre de données concernant l'énergie thermique dégagée par le globe terrestre.

Une partie de cette énergie a pour origine la chaleur dégagée lors de la désintégration d'éléments radioactifs.

	Croûte continentale	Croûte océanique	Manteau
Uranium	$1,6 \cdot 10^{-10} \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$	$0,9 \cdot 10^{-10} \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$	$0,02 \cdot 10^{-10} \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$
Thorium	$1,6 \cdot 10^{-10} \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$	$0,7 \cdot 10^{-10} \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$	$0,03 \cdot 10^{-10} \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$
Potassium	$0,7 \cdot 10^{-10} \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$	$0,1 \cdot 10^{-10} \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$	$0,007 \cdot 10^{-10} \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$
Densité	2,7	2,9	3,2
Epaisseur moyenne	30 km	10 km	2900 km

La densité correspond au rapport de la masse volumique du corps sur la masse volumique de l'eau.

Questions :

1. A partir des données quantitatives présentées dans le tableau ci-dessus, calculer les puissances totales (en W) délivrées par les croûtes continentales et océaniques et le manteau.

Donner les pourcentages de contribution et conclure.

On rappelle : r = rayon de la Terre = 6370 km, croûte continentale = 2/5 de la surface de la Terre.

Surface d'une sphère de rayon r : $S = 4 \pi r^2$

Volume d'une sphère : $V = 4/3 \pi r^3$

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de flux de chaleur mesurées à la surface des continents et des océans :

Continents		Océans	
Afrique	49,8 mW. m ⁻²	Atlantique Nord	67,4 mW. m ⁻²
Amérique du Sud	52,7 mW. m ⁻²	Atlantique Sud	59,0 mW. m ⁻²
Amérique du Nord	54,4 mW. m ⁻²	Océan Indien	83,3 mW m ⁻²
Australie	63,6 mW. m ⁻²	Pacifique Nord	95,4 mW. m ⁻²
Europe et Asie	60,2 mW. m ⁻²	Pacifique Sud	77,4 mW. m ⁻²
		Bassins marginaux	71,1 mW. m ⁻²

2. Calculer la valeur moyenne du flux de chaleur en surface pour les continents Φ_c et les océans Φ_o . Pourquoi les valeurs sont-elles différentes ?

Proposer une hypothèse pour expliquer la différence entre Atlantique et Pacifique ?

3. En déduire en fonction du rayon de la Terre les quantités totales de chaleur dégagées d'une part par les continents Q_c et par les océans Q_o , sachant que les continents occupent 2/5 de la surface terrestre.

4. Comparer la puissance totale (en W) dissipée à la surface de la Terre à la part d'origine radioactive.

Indiquer les autres origines de la chaleur interne terrestre.

Correction

1. Chaleur dégagée par désintégration radioactive par kg de :

- Croûte continentale : $1,6 + 1,6 + 0,7 = 3,9 \cdot 10^{-10} \text{ W}$
- Croûte océanique : $0,9 + 0,7 + 0,1 = 1,7 \cdot 10^{-10} \text{ W}$
- Manteau : $0,002 + 0,003 + 0,0007 = 0,057 \cdot 10^{-10} \text{ W}$

Masse totale : produit du volume en m^3 par la masse d'un $\text{m}^3 = d \cdot 10^3$

- de croûte continentale = $2/5 \cdot 4/3\pi (6370^3 - 6340^3) \cdot 10^9 \cdot 2,7 \cdot 10^3 = 16,4 \cdot 10^{21} \text{ kg}$
- de croûte océanique = $3/5 \cdot 4/3\pi (6370^3 - 6360^3) \cdot 10^9 \cdot 2,9 \cdot 10^3 = 8,86 \cdot 10^{21} \text{ kg}$
- de manteau = $4/3\pi (6350^3 - 3450^3) \cdot 10^9 \cdot 3,2 \cdot 10^3 = 3176 \cdot 10^{21} \text{ kg}$
(l'épaisseur moyenne retenue pour la croûte est 20km)

Puissance délivrée par :

- la croûte continentale = $3,9 \cdot 10^{-10} \cdot 16,4 \cdot 10^{21} = 64 \cdot 10^{11} \text{ W}$ soit environ 24,5 %
- la croûte océanique = $1,7 \cdot 10^{-10} \cdot 8,86 \cdot 10^{21} = 15 \cdot 10^{11} \text{ W}$ soit environ 6 %
- le manteau = $0,057 \cdot 10^{-10} \cdot 3176 \cdot 10^{21} = 181 \cdot 10^{11} \text{ W}$ soit environ 69,5 % d'un total de $260 \cdot 10^{11} \text{ W}$

Le manteau a donc une contribution majoritaire en ce qui concerne la production de chaleur induite par la radioactivité. La croûte continentale produit plus de 4 fois plus de chaleur par radioactivité que la croûte océanique.

2. Le flux de chaleur moyen se calcule en faisant une moyenne des valeurs mesurés sur tous les continents ou océans.

- pour les continents = $56,1 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$
- pour les océans = $75,6 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$

Le flux de chaleur est plus faible pour les continents parce que l'épaisseur de la croûte est plus élevée et que la dissipation de la chaleur qui s'effectue par conduction au niveau de la croûte se fait donc plus difficilement.

La différence entre les océans Pacifique et Atlantique peut être attribuée à des mouvements convectifs plus importants dans le manteau supérieur au niveau de l'océan Pacifique (dorsale rapide).

3. surface du globe = $4\pi 6370^2 \cdot 10^6 = 510 \cdot 10^{12} \text{ m}^2$

- surface des océans = $3/5 \cdot S = 306 \cdot 10^{12} \text{ m}^2$
- surface des continents = $2/5 \cdot S = 204 \cdot 10^{12} \text{ m}^2$

Chaleur dissipée

- par les océans : $306 \cdot 10^{12} \cdot 75,6 \cdot 10^{-3} = 23,1 \cdot 10^{12} \text{ W}$
- par les continents : $204 \cdot 10^{12} \cdot 56,1 \cdot 10^{-3} = 11,4 \cdot 10^{12} \text{ W}$

4. Sur les $35 \cdot 10^{12} \text{ W}$ dissipés par la Terre, environ $26 \cdot 10^{12} \text{ W}$ (d'après 1) provient de la radioactivité, soit plus des 2/3. Le reste correspond à l'énergie initiale issue de l'accrétion à l'origine de la formation du globe et à l'énergie issue de la cristallisation du noyau.