

Nom/Prénom :

## Thème n°4 : Géothermie et propriétés thermiques de la Terre

La température moyenne au sol est de 15 °C .

Comparer avec les données des documents suivants :



Geysier (100°C)



Blue lagoon (baignade 45°C)



Mine de charbon (40°C)



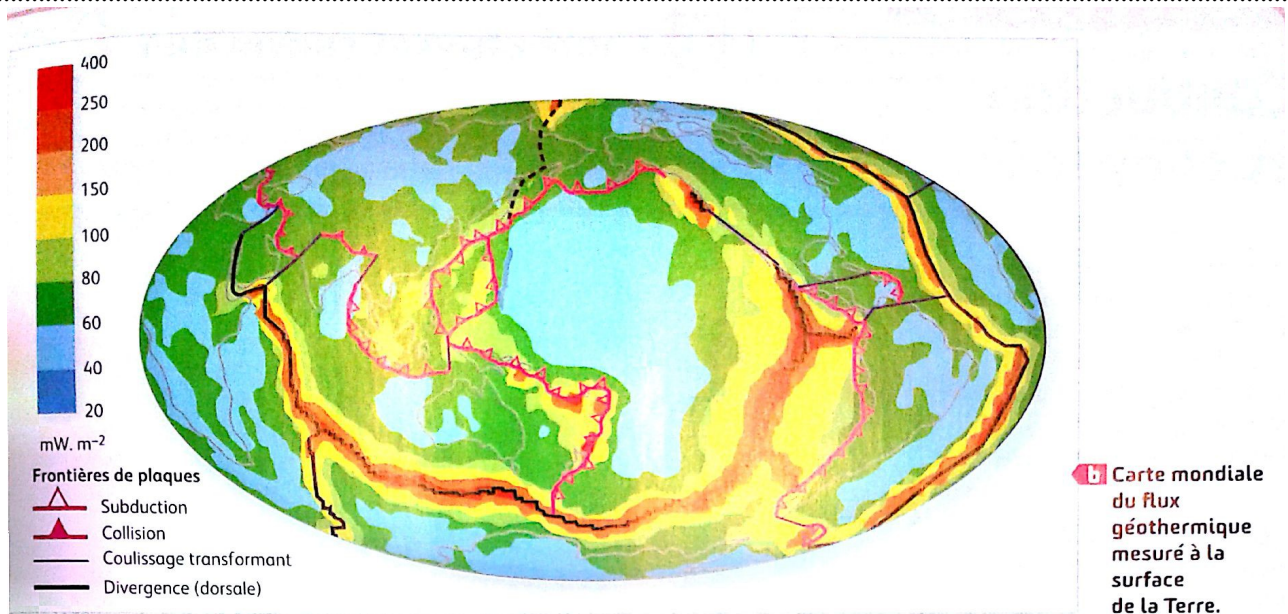
Coulée basaltique (1200°C)

### 1) Quels sont les problèmes scientifiques qui se posent ?

Quelle est l'origine de la chaleur du globe terrestre ? Comment est-elle répartie ? Comment peut-on l'utiliser ?

### I) le flux de chaleur sur Terre

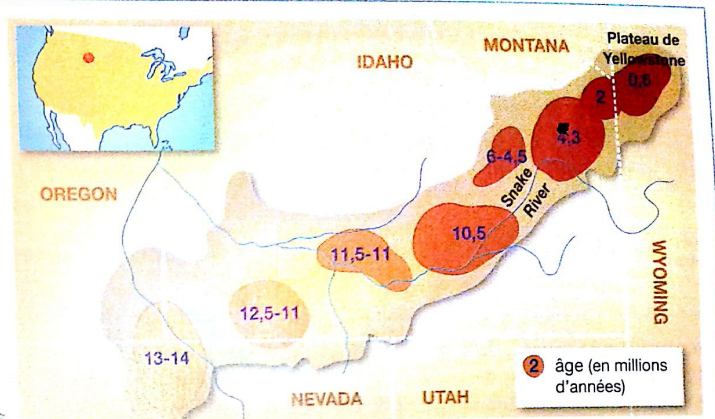
### 2) Chercher dans le manuel la définition de flux géothermique et la recopier

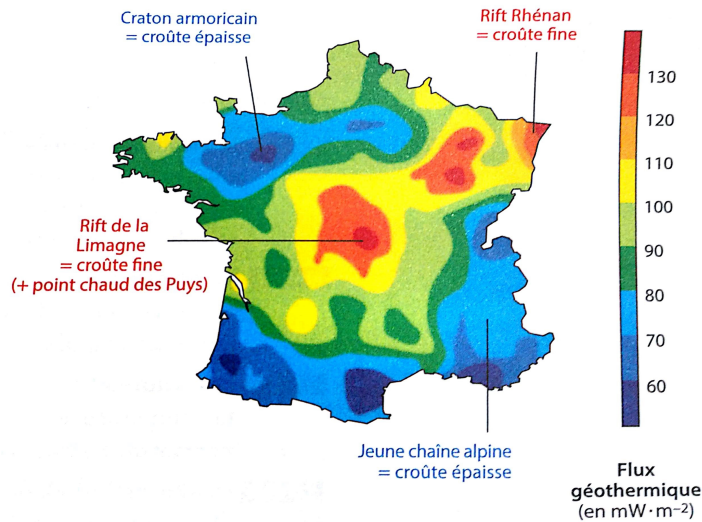


Le parc du Yellowstone est mondialement connu pour ses manifestations hydrothermales remarquables et notamment pour ses centaines de geysers (voir p. 236). Il correspond à un super volcan situé à l'aplomb d'un point chaud, sous la plaque nord-américaine. Cette région représente une ressource géothermique remarquable.

De nombreux champs géothermiques (Californie, Nevada, Utah, Hawaï) sont exploités aux États-Unis ; ils produisent une quinzaine de TWh/an (térawattheure par an), soit 0,4 % des besoins (1 TWh =  $10^{12}$  Wh).

Âge des formations volcaniques





3) Où se trouve les zone de flux élevé? Peut-on associer ces zones à des contexte géodynamique ?

.....

.....

.....

.....

4) Remplir le bilan à trous

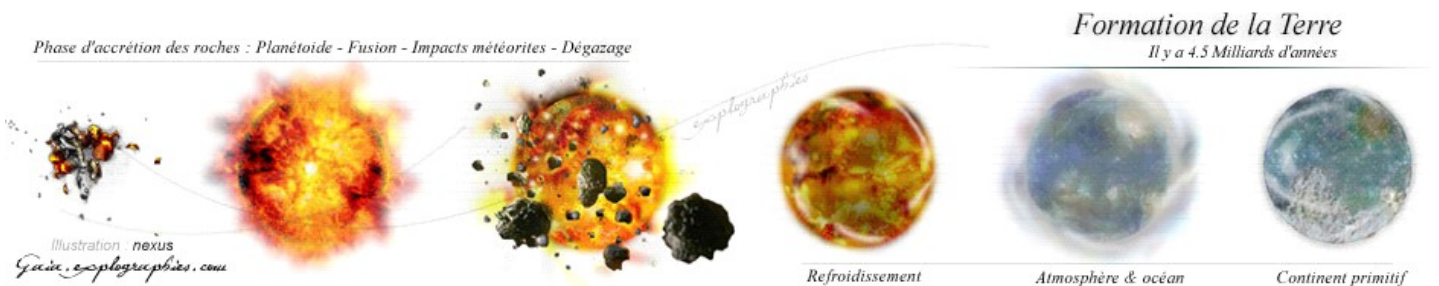
**Le flux géothermique moyen est de l'ordre de 87mW/m<sup>2</sup> mais il est variable suivant le contexte géodynamique.**

- ..... sur les continents (30 km d'épaisseur de croûte)
- ..... dans les océans (6 à 8 km de croûte)
- ..... dans les zones volcaniques (200 à 300mW/m<sup>2</sup>) : dorsales, volcans, points chauds

II) Origine du flux thermique et transfert d'énergie

Énergie interne initiale du globe terrestre

Au cours de la formation de la Terre par accréation, les impacts des différents corps célestes ont dégagé une énorme quantité d'énergie thermique. Les couches superficielles ont assez rapidement évacué cette énergie thermique initiale pour former une croûte solide. En revanche les couches internes conservent encore, depuis cette époque, une énergie thermique dite résiduelle. Elle correspond au refroidissement des matériaux profonds et à la cristallisation progressive du noyau liquide (externe) au profit du noyau interne (solide). Mais cette énergie thermique résiduelle représente moins de la moitié (25 à 50%) du flux géothermique traversant la surface de la Terre. Il existe donc d'autres sources d'énergie dans la Terre pour expliquer le flux géothermique global.





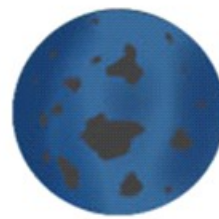
-4,5 Milliards d'années  
La Terre est une sphère de matière en fusion.



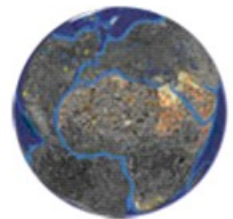
-4 Milliards d'années  
La Terre se refroidit  
La croûte terrestre commence à se former.



-3,8 Milliards d'années  
La Terre s'entoure d'une épaisse couche de nuages.



-2 Milliards d'années  
Le refroidissement se poursuit.  
La vapeur d'eau se condense en pluie pour former un océan unique.



-200 Millions d'années.  
Un immense continent, La Pangée, se forme. Il sera à l'origine de nos continents actuels.

[www.sommeil-paradoxal.com](http://www.sommeil-paradoxal.com)

F1356

### La radioactivité, une source d'énergie pour la Terre

Parmi tous les éléments qui les composent, les minéraux de la Terre peuvent contenir certains isotopes radioactifs (comme l'uranium ( $^{238}\text{U}$  et  $^{235}\text{U}$ ), le thorium ( $^{232}\text{Th}$ ) et potassium ( $^{40}\text{K}$ )) dont les noyaux se désintègrent au cours du temps. Ces désintégrations libèrent de l'énergie capable d'échauffer les matériaux dans lesquelles elles se déroulent. Cette source d'énergie est à l'origine de 50 à 75% de l'énergie thermique dissipée par la Terre.

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 :  $9,94 \cdot 10^{-5} \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$  pour  $^{238}\text{U}$  et  $^{235}\text{U}$  réunis ;  $2,69 \cdot 10^{-5} \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$  pour  $^{232}\text{Th}$  ;  $2,79 \cdot 10^{-5} \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$  pour  $^{40}\text{K}$  ( $1\text{W} = 1 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$ ). 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.

### 5) Citer les deux sources de chaleur de la Terre

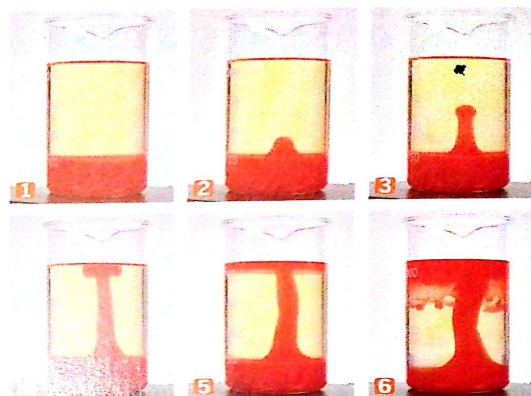
.....

.....

### Modalités de transfert d'énergie thermique

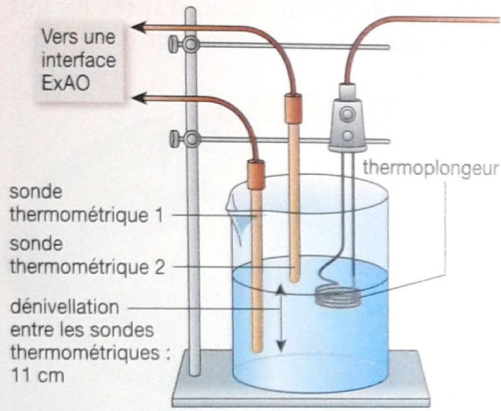
- La **conduction** est un transfert de chaleur, dans un solide ou un fluide, qui résulte de la différence de température entre deux régions d'un même milieu, ou entre deux milieux en contact, et qui se réalise sans déplacement global de matière : l'énergie thermique se transmet de proche en proche par modification de l'agitation des atomes. Par exemple, une barre de métal chauffée à une extrémité devient de plus en plus chaude à l'autre extrémité.
- La **convection**, en revanche, est un mode de transfert thermique qui implique un déplacement de matière dans le milieu. On peut mettre en évidence ces déplacements en plaçant dans un bécher deux couches d'huile, la couche inférieure étant colorée par de la poussière de craie. On chauffe ensuite le dessous du bécher, dans sa partie centrale. L'huile du fond du bécher se réchauffe (sa masse volumique diminue donc) et se déplace alors verticalement sous l'effet de la poussée d'Archimède. En remontant, l'huile se refroidit et plonge le long des parois du bécher. De tels déplacements s'appellent des **mouvements de convection**.

Modélisation du déplacement de matière par convection



**■ PROTOCOLE**

- Une première série de mesures est réalisée en positionnant les sondes et le thermoplongeur comme sur le schéma ci-dessous.
- Une seconde série de mesures est réalisée en descendant le thermoplongeur près du fond, au niveau de la sonde 1.



**■ RÉSULTATS**

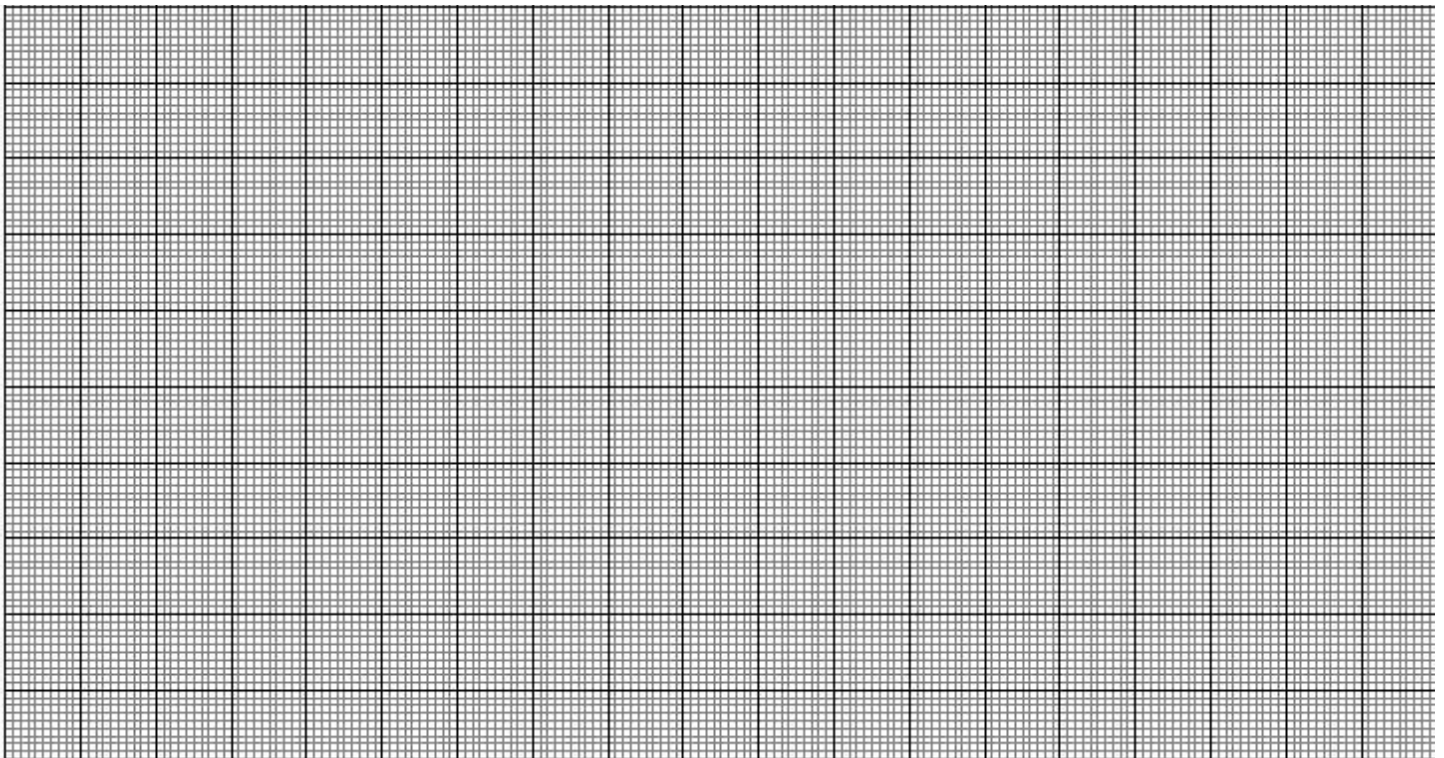
- Dans la première série de mesures, il n'y a pas de déplacement du liquide au sein du bécher : les transferts de chaleur se font par conduction.
- Dans la deuxième série de mesures, en revanche, il y a des déplacements du liquide dans le bécher : c'est de la convection.

Temps (s)	Températures (en °C)			
	Conduction		Convection	
	Sonde 1 (au fond)	Sonde 2 (en surface)	Sonde 1 (au fond)	Sonde 2 (en surface)
30	11,7	18,4	29,9	26,2
60	11,7	27,5	24,8	30
90	11,8	36,2	26,7	31,8
120	12,1	40,7	28,6	33,4
150	12,1	44	34	35,1
180	12,6	47,8	34,2	38,4
210	12,6	51,1	35,9	40,1
240	12,9	54,8	37,9	41,6
270	13,1	58,6	39,4	43,1
300	13,1	61,8	41,3	44,7
330	13,6	64,5	43,1	46,4
360	13,9	67,9	44,5	47,8
390	14	70,3	46,4	49,5
420	14	72,7	48	50,6

**Doc. 4** Efficacité des transferts de chaleur par conduction et convection : utilisation d'un dispositif d'ExAO.

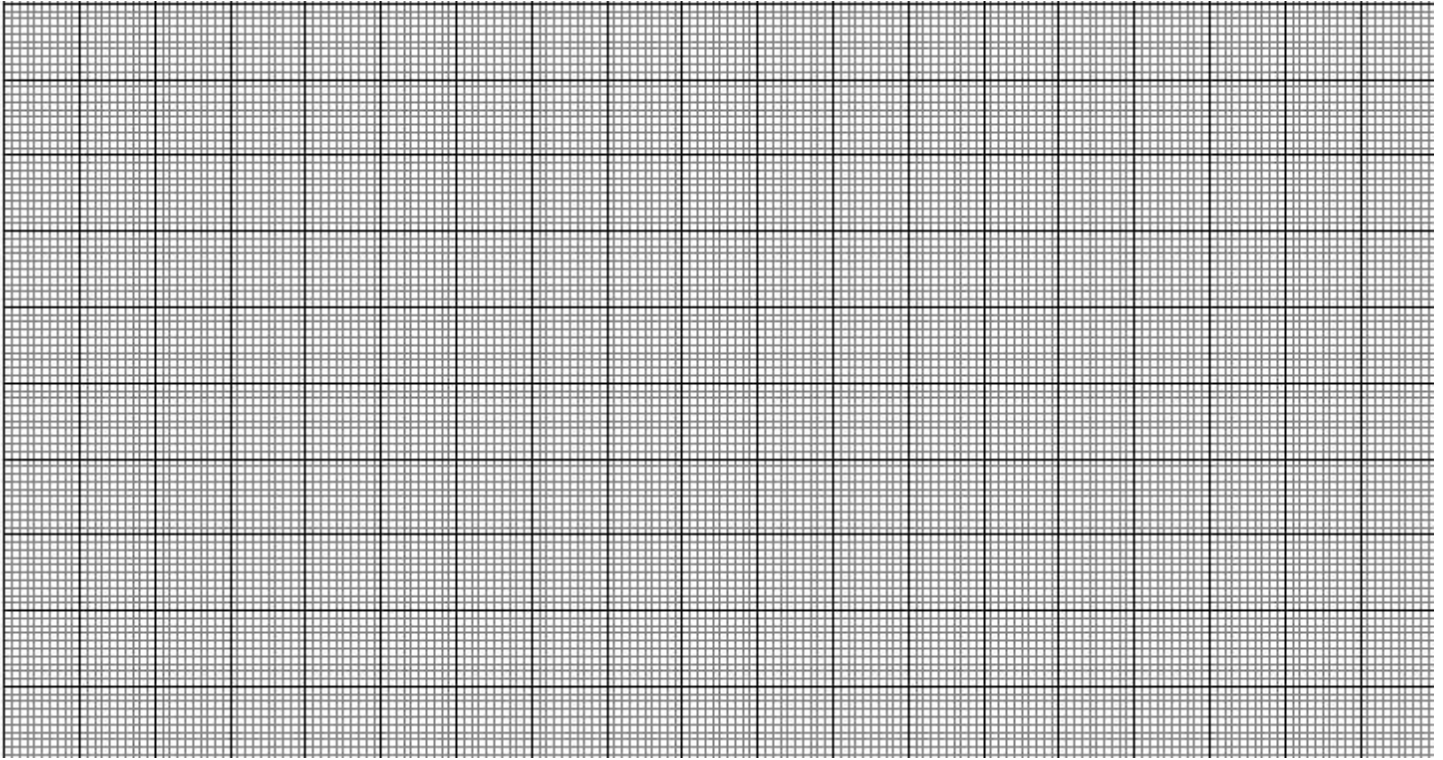
**6) Construire les graphiques à l'aide des données du tableau**

Graphique n°1 (1ere série de mesure) :



Titre :

Graphique n°2 (2eme série de mesure) :



Titre :

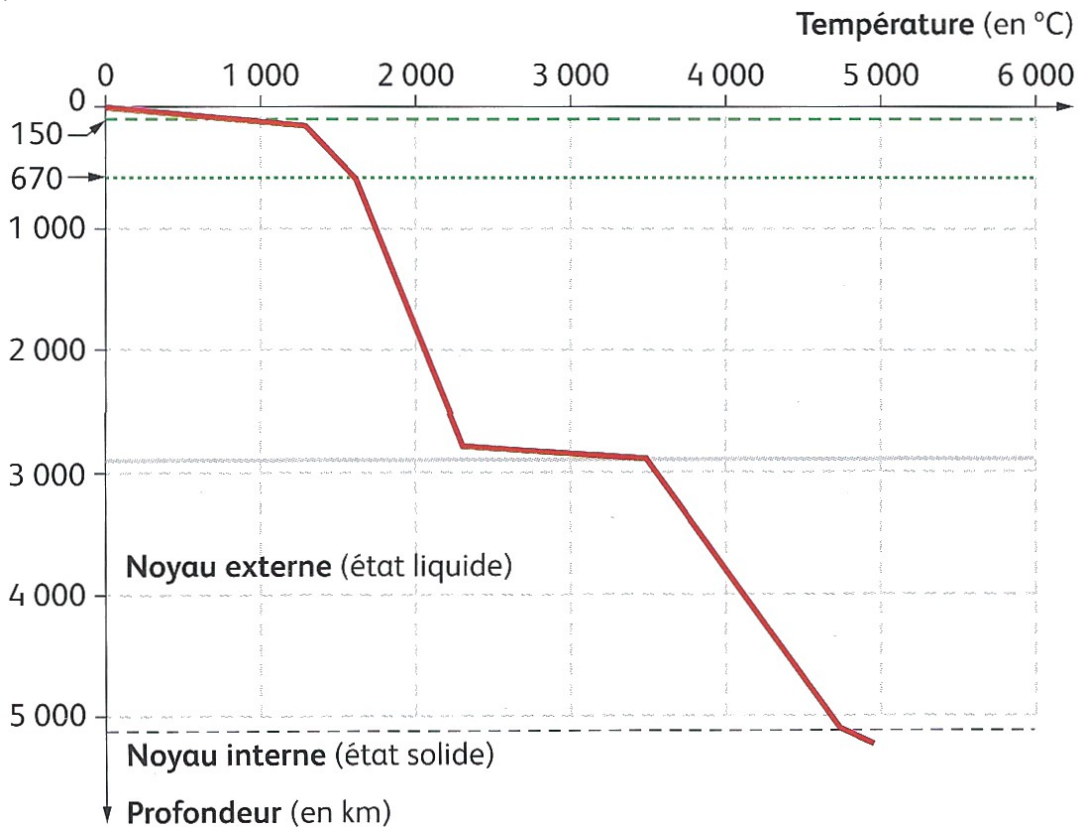
7) Noter les observations :

.....

.....

.....

8) D'après les résultats obtenus précédemment avec les sondes thermométriques, indiquer sur le document ci dessous, en le justifiant, les zones en profondeur où se réalisent des transferts d'énergie thermique par conduction ou convection.



## 9) Remplir le bilan à trous

La chaleur de la Terre provient :

- de la ..... des éléments ..... contenus dans les roches (90%) notamment l'uranium 235 et 238, le thorium 232 et le potassium 40. Les noyaux de ces atomes sont capables de se fragmenter spontanément (fission nucléaire) et produisent alors un rayonnement et de l'énergie thermique. Cette réaction a lieu dans l'ensemble du globe mais est plus particulièrement active dans la croûte terrestre.
- de la ..... issue de l'accrétion terrestre (10%)

L'énergie thermique ainsi produite est transférée selon 2 modalités:

- La ..... correspond à un transfert d'énergie thermique de proche en proche sans déplacement de matière et se matérialise par un fort gradient thermique.
- La ..... correspond à un transfert d'énergie thermique très efficace avec un déplacement de matière et se matérialise par un faible gradient thermique. La matière chaude moins dense a tendance à s'élever, puis se refroidir, devenant alors plus dense et ainsi redescendre. Des cellules de convection se mettent donc en place.

## III) Exploiter la géothermie pour produire de l'énergie

10) Lire les documents des pages 248 et 249

11) Faire l'exercice suivant :

# La centrale de Cerro Prieto

type 2.1

Cet exercice de type 2.1 permet d'étudier de façon un peu plus précise le fonctionnement d'une centrale géothermique. Il nécessite donc une bonne compréhension à la fois des contextes géodynamiques favorables à la géothermie et des moyens d'utilisation de cette énergie par l'homme.

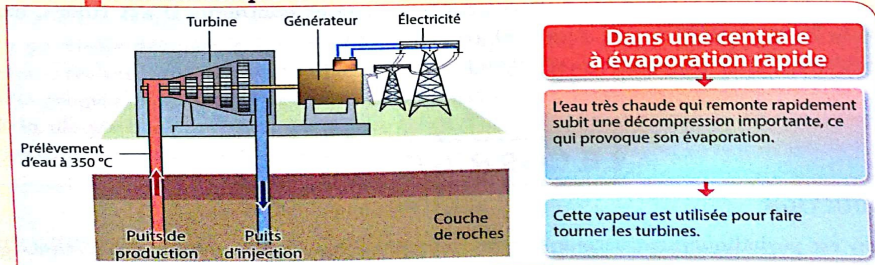
La centrale géothermique de Cerro Prieto, située au nord de l'État de Basse Californie, au Mexique, est actuellement la plus grande du monde. Elle est suffisante pour produire la grande majorité de l'électricité consommée en Basse Californie.

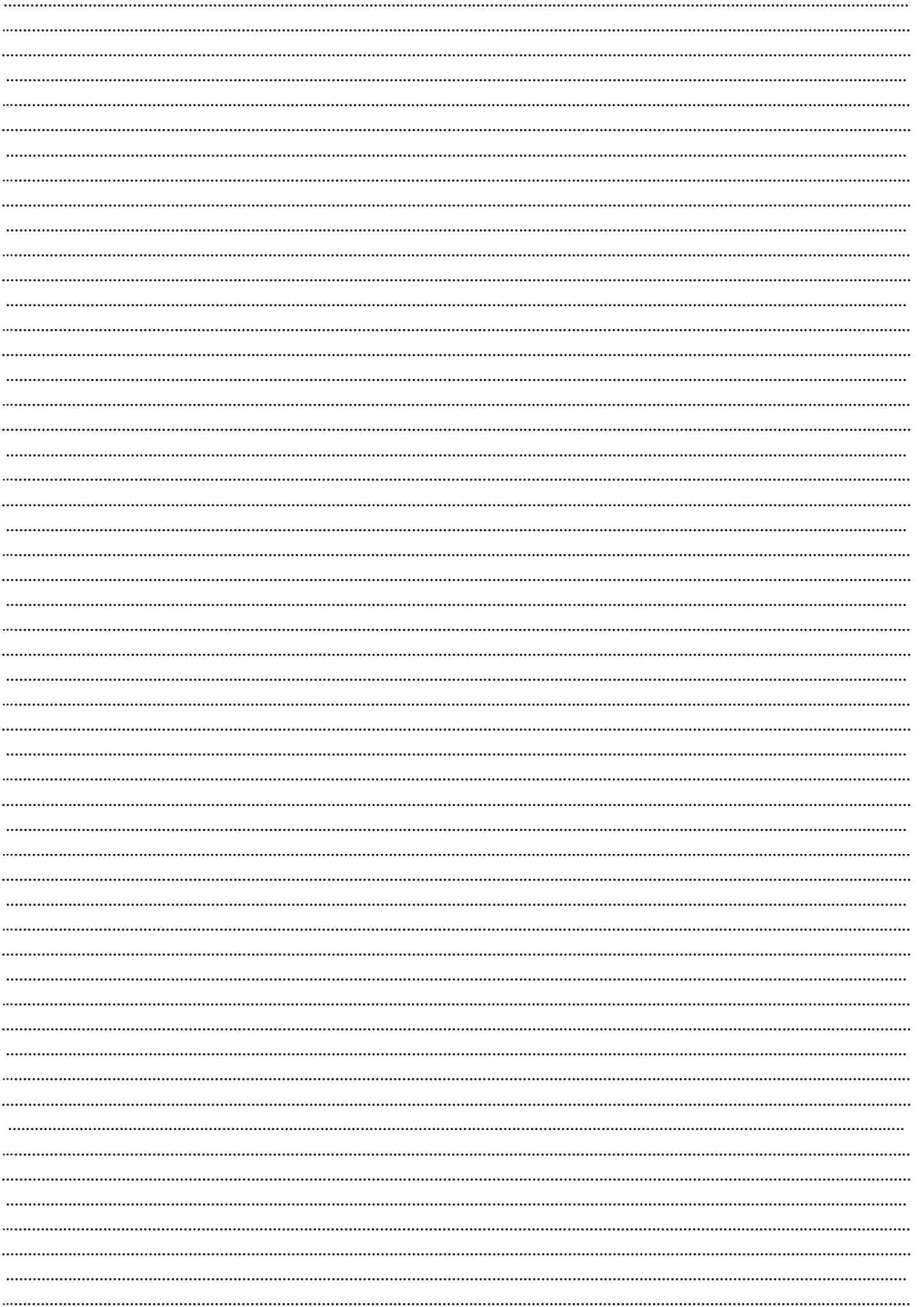
D'après l'étude des documents, expliquer comment cette centrale peut produire de l'électricité et pourquoi le flux géothermique utilisé ici est particulièrement important.

Doc. 1 Zones géothermiques du Mexique



Doc. 2 Schéma simplifié du fonctionnement de la centrale de Cerro Prieto





## Entraînement au bac (facultatif)

4 vidéos et 1 animation à regarder sur le site [svtlouisarmand.jimdo.com](http://svtlouisarmand.jimdo.com)

### On s'échauffe...

Cocher la ou les bonnes réponses.

#### 1 Vous avez dit gradient ?

En moyenne, le gradient géothermique vaut :

- a. 3 °C pour 100 m
- b. 30 °C pour 100 m
- c. 30 °C pour 1 km

#### 2 Un gradient fort

Le gradient est généralement particulièrement fort :

- a. Au niveau des zones volcaniques
- b. Au niveau des rifts
- c. Au niveau des fosses de subduction

#### 3 Manifestations du flux

Parmi les manifestations de surface montrant que la Terre est plus chaude en profondeur, on peut citer :

- a. La présence de lacs d'eau douce
- b. Les geysers et les sources chaudes
- c. Les volcans

#### 4 L'origine du flux

Le flux géothermique trouve principalement son origine :

- a. Dans le réchauffement de la Terre par le Soleil
- b. Dans la désintégration des éléments radioactifs
- c. Dans les forces de marée

#### 5 Dissiper le flux

Pour dissiper le flux géothermique on peut dire que :

- a. La convection est plus efficace que la conduction
- b. La convection est moins efficace que la conduction
- c. Convection et conduction ont une efficacité similaire

#### 6 Les roches de la croûte

En général, plus la croûte est épaisse, plus le flux est faible. C'est parce que :

- a. Les roches crustales conduisent mieux la chaleur que les roches mantelliennes
- b. Les roches crustales conduisent moins bien la chaleur que les roches mantelliennes
- c. Dans la croûte, la convection est plus intense que la conduction

#### 7 L'électricité géothermique

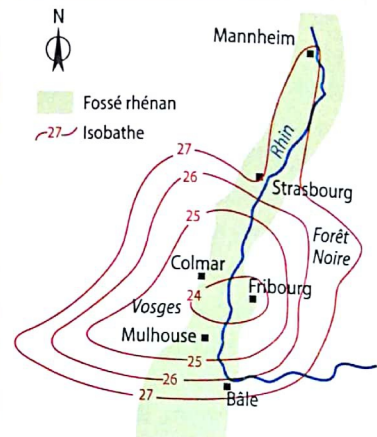
Pour fabriquer de l'électricité grâce à la géothermie :

- a. N'importe quelle région peut convenir
- b. Il faut de préférence une région dont le gradient est beaucoup plus élevé que la moyenne
- c. Il faut récupérer de l'eau très chaude (> 200 °C)

### C'est parti !

Cocher la ou les bonnes réponses.

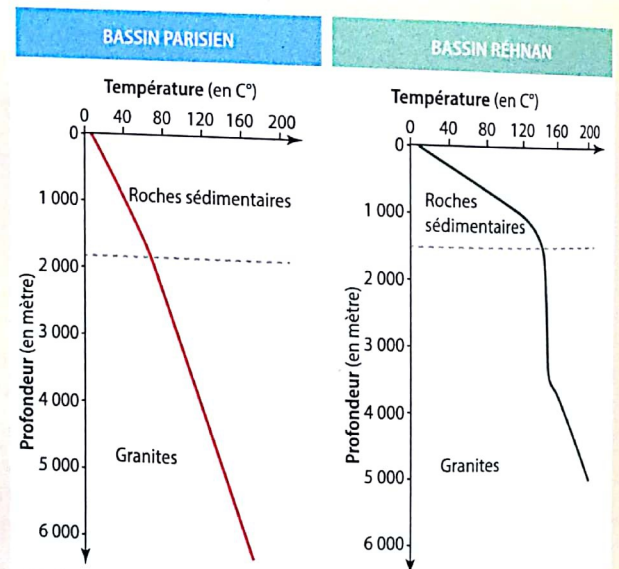
#### 8 Une centrale en Alsace



D'après ce document, si une centrale géothermique a pu être installée en Alsace, c'est parce que :

- a. La croûte y est plus fine qu'ailleurs
- b. La croûte y est plus épaisse qu'ailleurs
- c. La région correspond à un rift continental

#### 9 Géothermie en France



D'après ces courbes, on peut dire que le gradient géothermique dans les deux derniers kilomètres :

- a. Est plus important à Paris que dans le fossé rhénan
- b. Est plus important dans le fossé rhénan qu'à Paris
- c. Est plus important à Paris que dans le reste du monde



2ème PARTIE - Exercice 2 - Pratique d'une démarche scientifique ancrée dans des connaissances (Enseignement Obligatoire). 5 points.

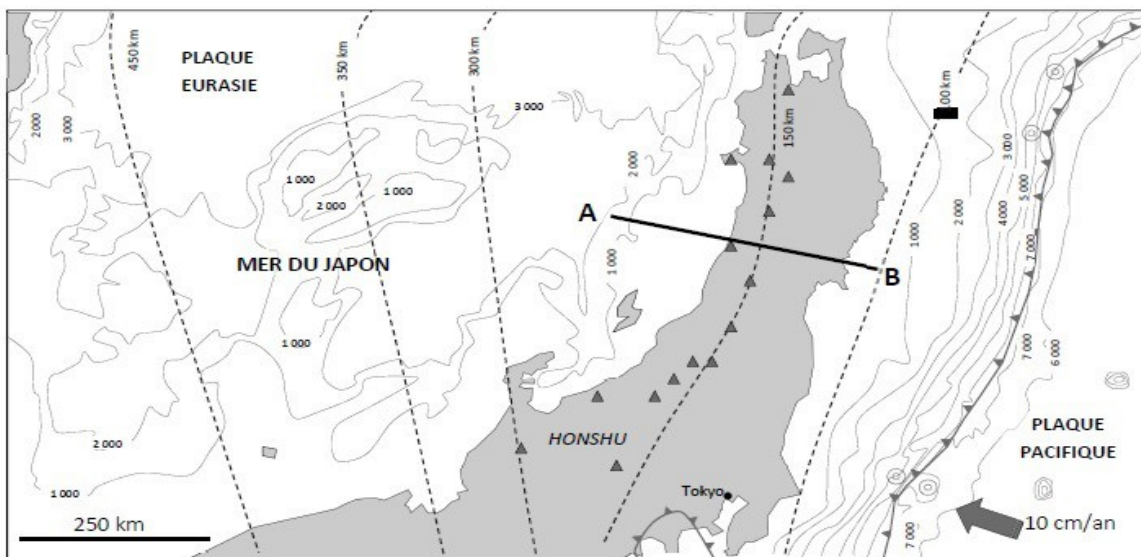
### GÉOTHERMIE ET PROPRIÉTÉS THERMIQUES DE LA TERRE LE DOMAINE CONTINENTAL ET SA DYNAMIQUE

Depuis l'accident nucléaire de Fukushima, le Japon accélère sa politique de transition énergétique et cherche de nouvelles sources d'énergie.

En utilisant les informations des documents et vos connaissances :

- définir le contexte géodynamique du Japon ;
- montrer que ce contexte est favorable à l'exploitation de la géothermie.

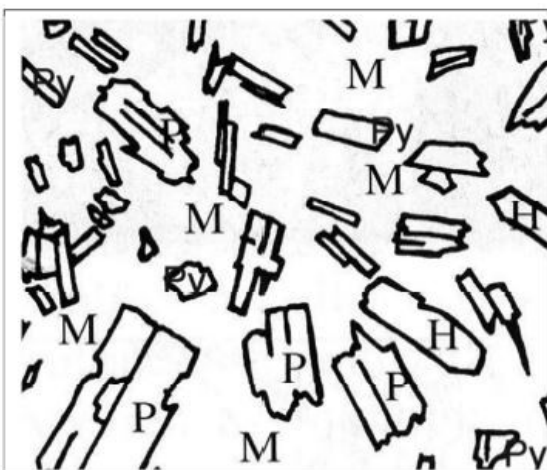
**Document 1** : Carte bathymétrique du Japon indiquant la profondeur des foyers sismiques



- ⊙ monts sous-marins
- Courbe d'égale profondeur (m)
- ▲ profondeur des foyers sismiques
- ⬅ Mouvement relatif et vitesse de la plaque Pacifique par rapport à la plaque Eurasie (considérée fixe)
- Limites des plaques
- ▲ Quelques-uns des nombreux volcans de l'archipel japonais
- Plan de coupe du document 4

D'après Banque de schéma, <http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt>

**Document 2** : Schéma interprétatif de lame mince de roche volcanique prélevée au Japon.



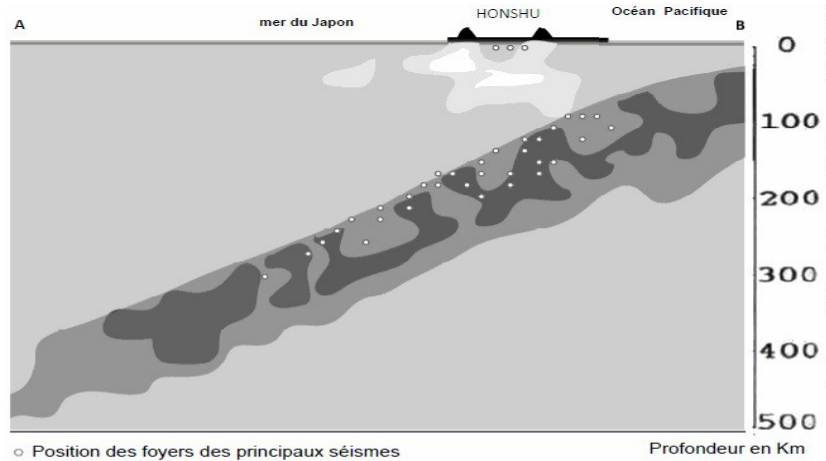
- M = verre + microlithes
- P = feldspaths plagioclases
- H = amphibole (hornblende)
- Py = pyroxènes

D'après [planet-terre.ens-lyon.fr](http://planet-terre.ens-lyon.fr)

**Document 3 : Comparaison minéralogique des différentes roches magmatiques**

	Structure	Composition			
		Pyroxène	Quartz	Amphibole	Feldspath plagioclases
Gabbro	grenue	+			+
Basalte	microlithique	+			+
Andésite	microlithique	+		+	+
Granodiorite	grenue	+	+	+	+

**Document 4 : Tomographie sismique et position des foyers sismiques selon la coupe A-B du document 1**

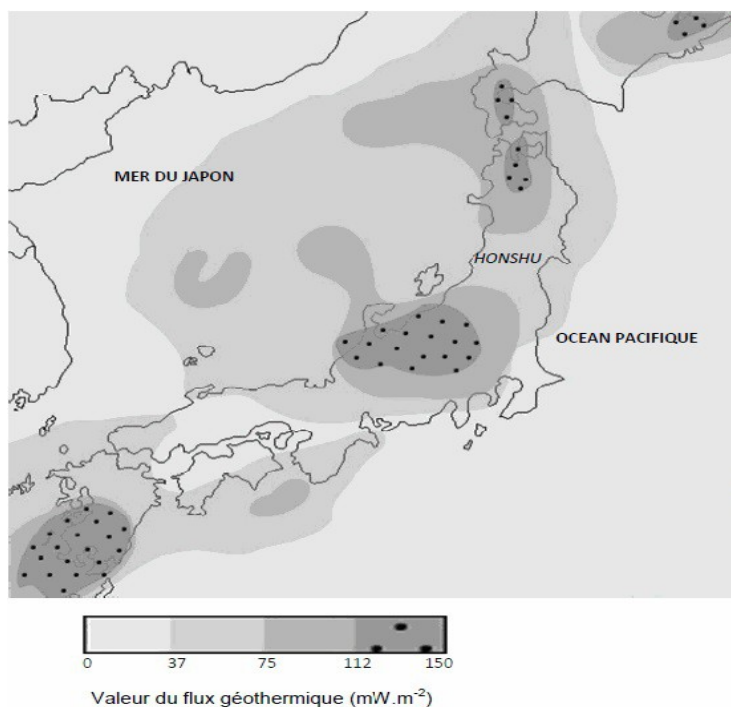


La tomographie sismique est une technique permettant de visualiser en profondeur les variations de la vitesse de propagation des ondes sismiques.

- plus le matériau traversé est froid, plus l'anomalie de vitesse des ondes sismiques est positive
- plus le matériau traversé est chaud, plus l'anomalie de vitesse des ondes sismiques est négative

*D'après Zhao et al., Journal of Geophysical Research, 1994*

**Document 5 : Flux géothermique relevé à la surface du Japon**



*D'après SVT Terminale S – Collection Duco - Édition 2012*