

Thème 2A

Géothermie et propriétés thermiques de la Terre

- Comment est produite l'énergie géothermique? Comment l'exploite-t-on?

I- Flux géothermique et contexte géodynamique:

1- La Terre libère de la chaleur d'origine profonde:

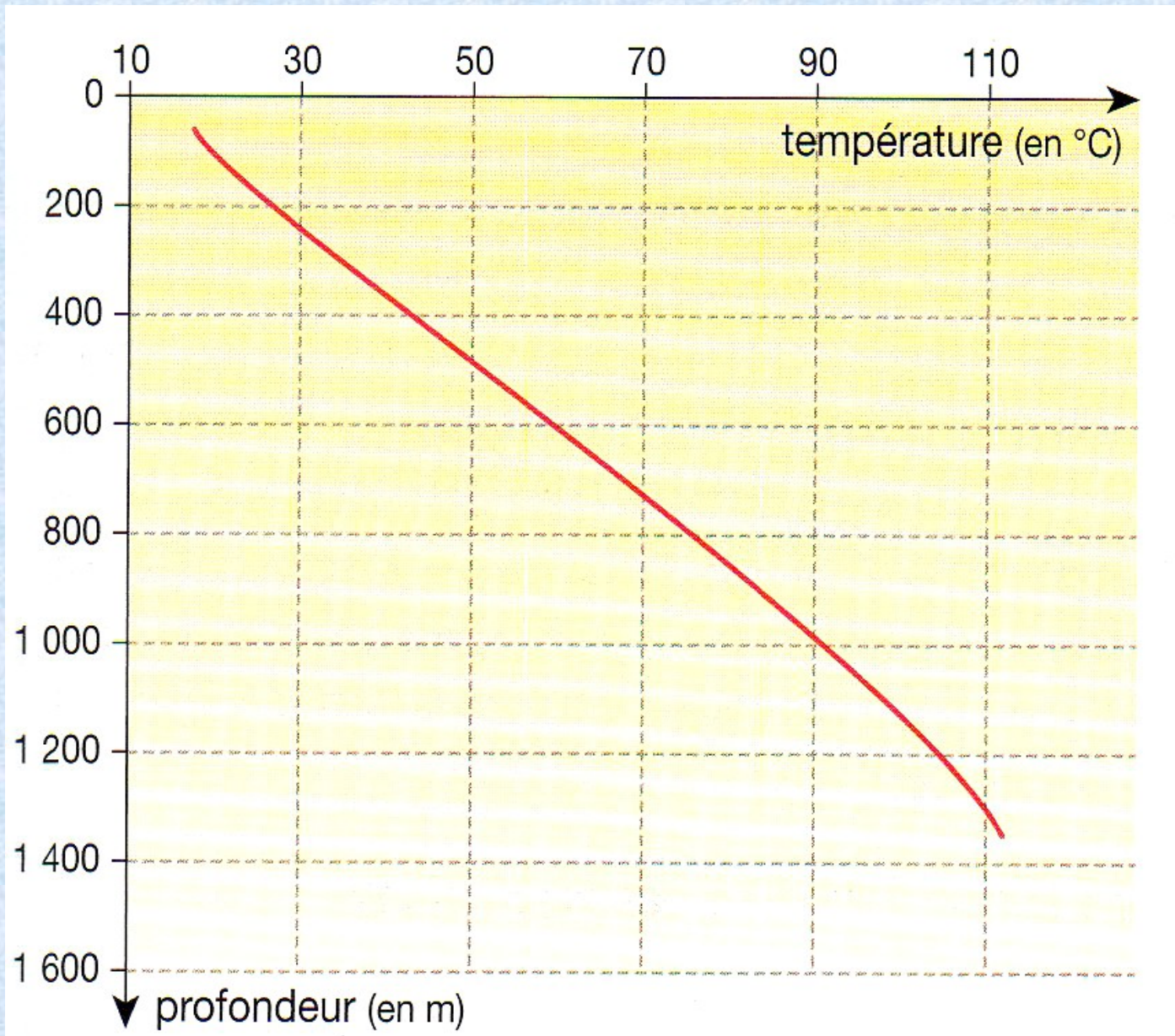
Livre p 225

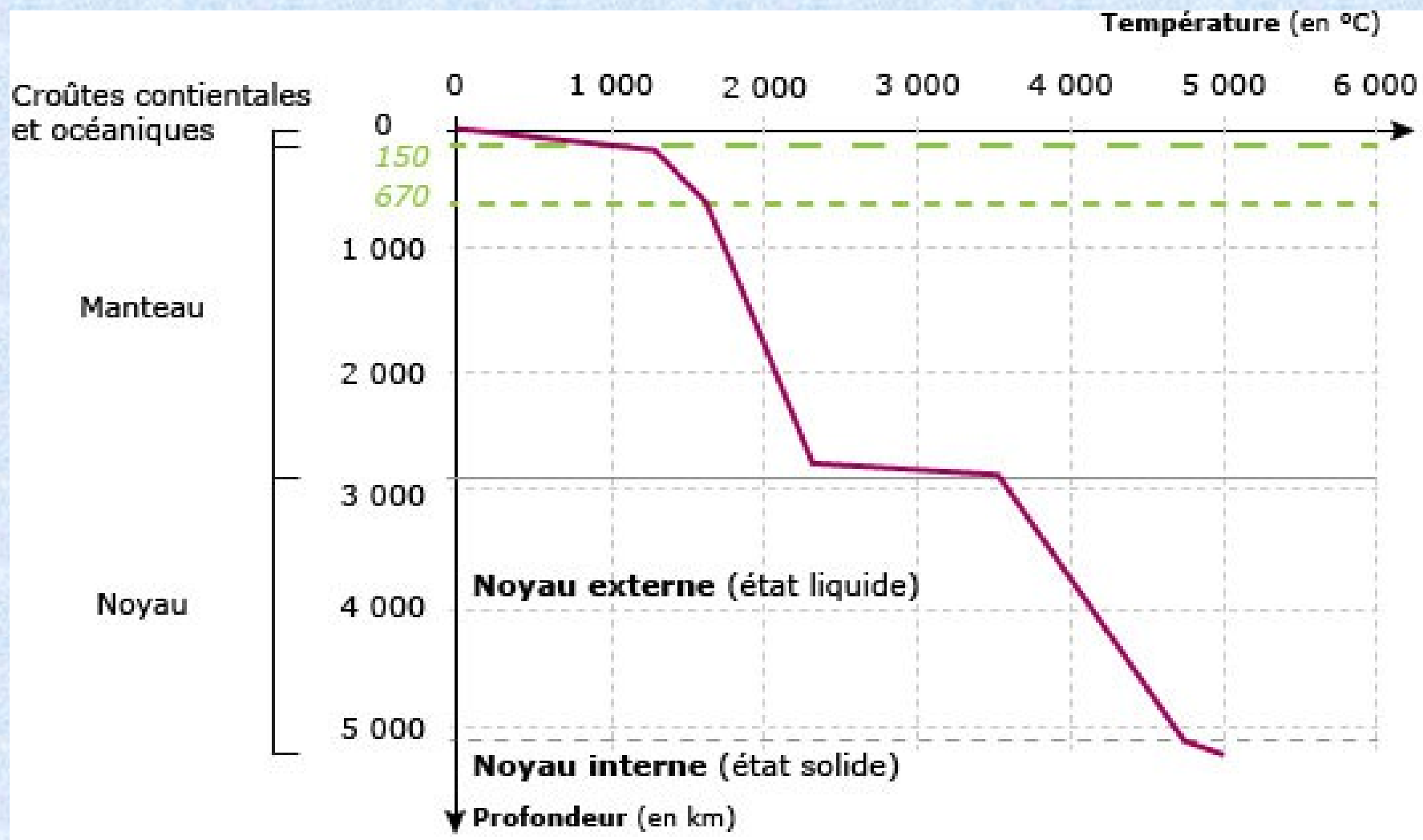


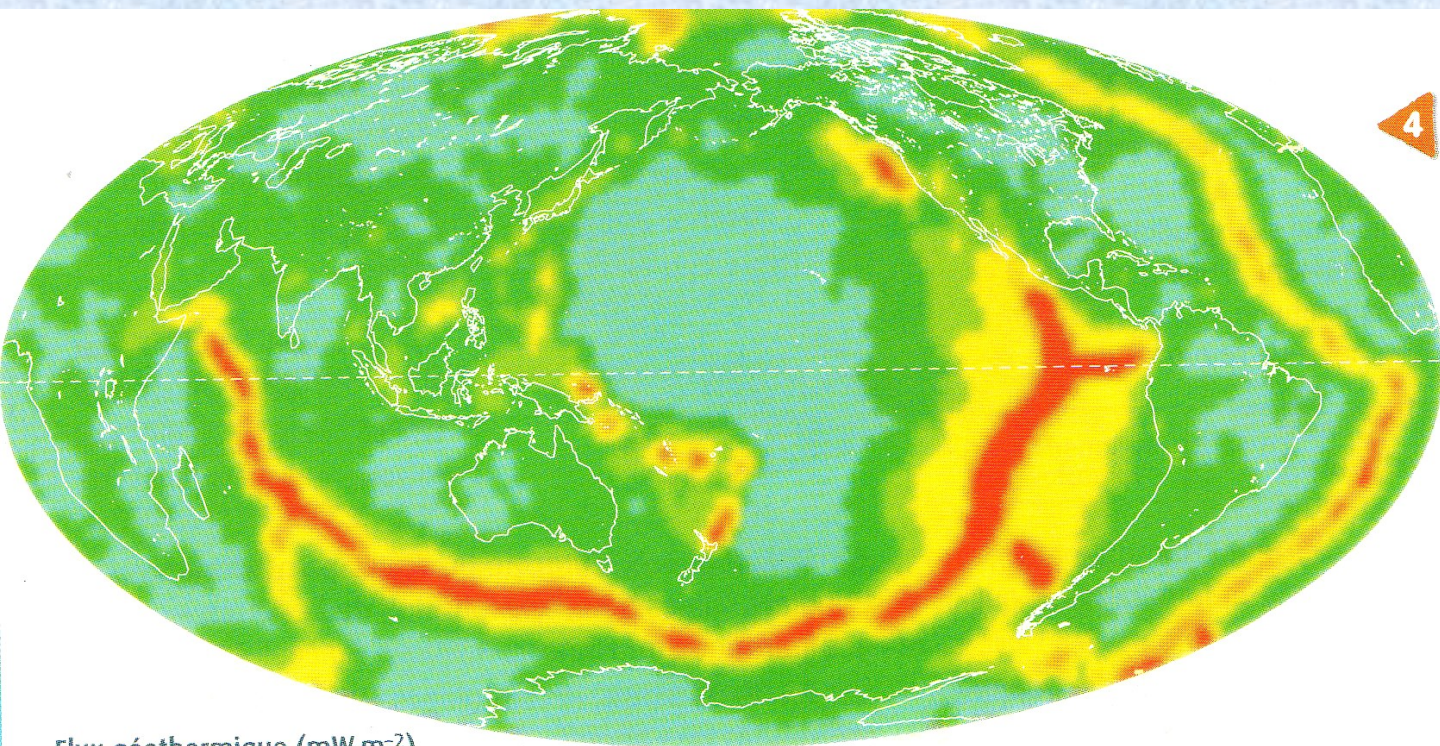
2- Gradient géothermique et flux géothermique:

Livre p 228, 230

Une mesure du gradient géothermique en Alsace







Flux géothermique ($\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$)



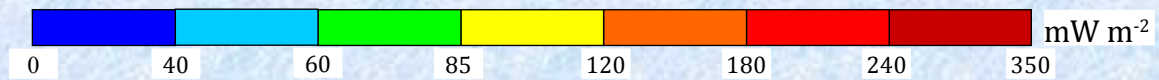
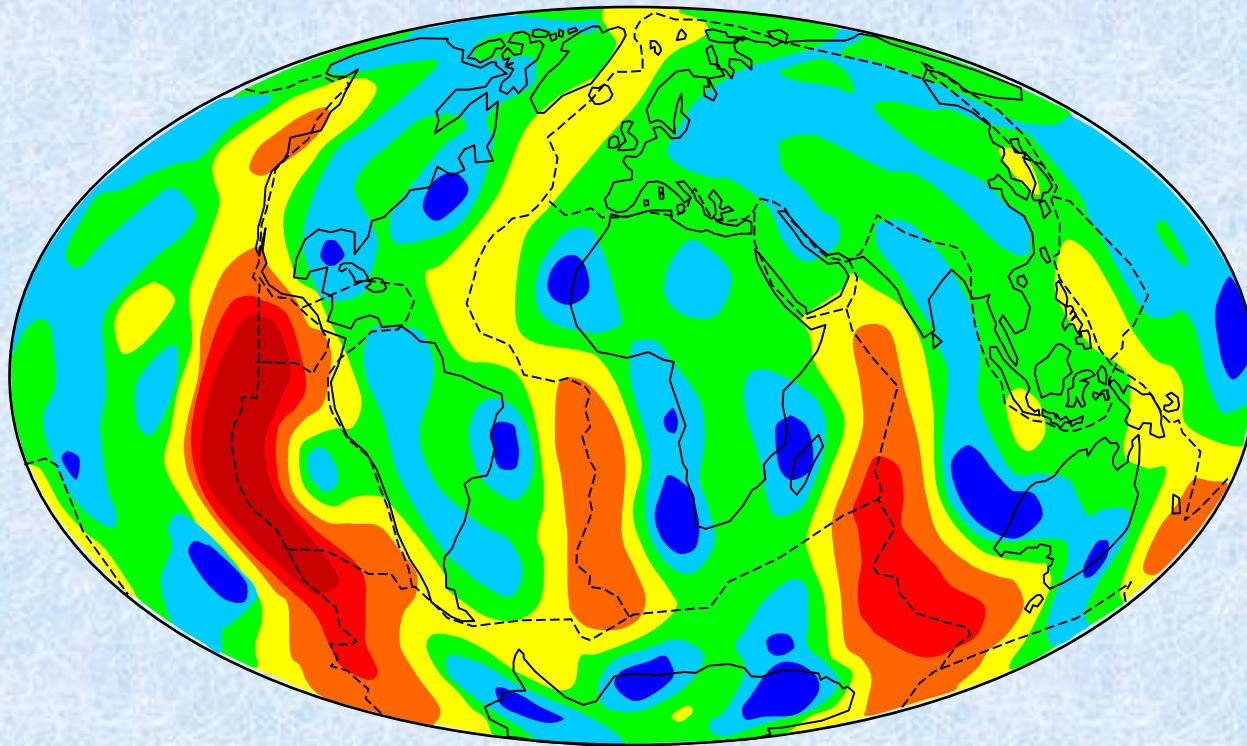
4 Le flux géothermique mondial. L'énergie thermique produite en profondeur est dissipée en surface.

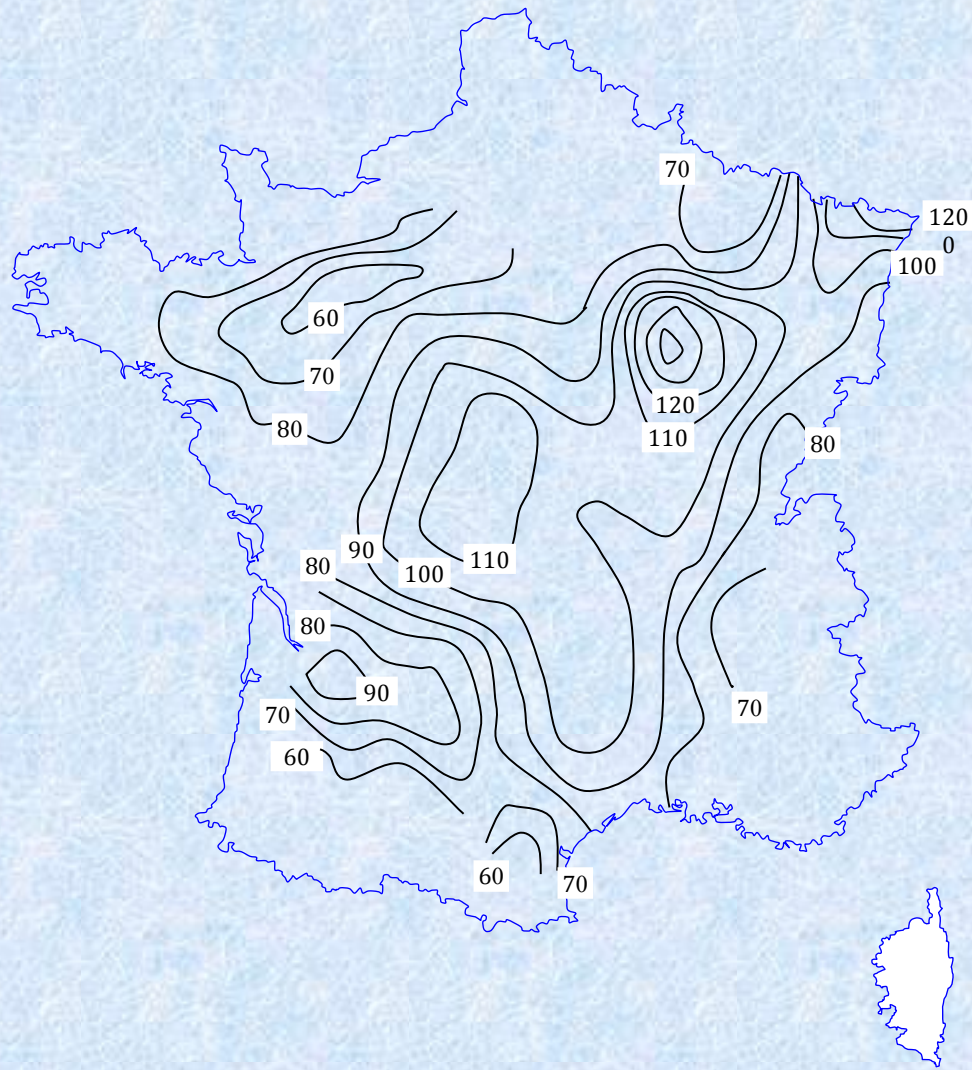
Le flux géothermique (en $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$) est une mesure de la quantité d'énergie géothermique dissipée par unité de temps et de surface. Le flux moyen est de $60 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$. La superficie de la Terre est de $510 \cdot 10^6 \text{ km}^2$.

3- gradient et flux géothermique varient en fonction du
contexte géodynamique:

Livre p 230

Flux géothermique mondiale





Estimation du flux géothermique (en mW.m⁻²) (d'après Vasseur 1982, BRGM)

II- Origine du flux géothermique et modalités de transfert d'énergie:

1- Une origine principale: la désintégration d'éléments radioactifs:

Livre p 228

Les différentes enveloppes terrestres contiennent des éléments radioactifs : uranium (^{238}U et ^{235}U), thorium (^{232}Th) et potassium (^{40}K). Leur désintégration produit de l'énergie thermique : $9,94 \cdot 10^{-5} \text{ W.kg}^{-1}$ pour ^{238}U et ^{235}U réunis ; $2,69 \cdot 10^{-5} \text{ W.kg}^{-1}$ pour ^{232}Th ; $2,79 \cdot 10^{-5} \text{ W.kg}^{-1}$ pour ^{40}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.

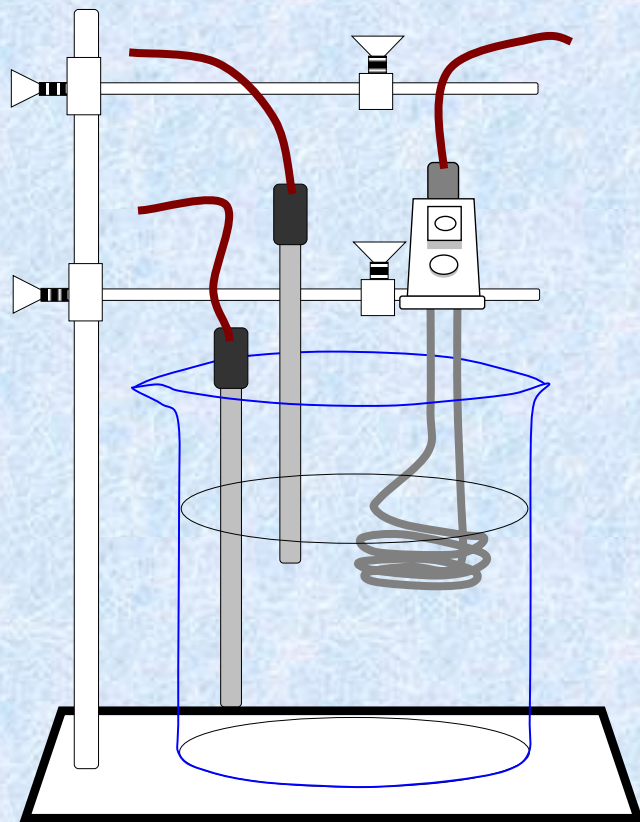
1 La principale source d'énergie interne de la Terre.

Enveloppes	Masse (en kg)	Concentrations des éléments (en ppm)		
		^{238}U et ^{235}U	^{232}Th	^{40}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	$1,99 \cdot 10^{24}$	$1,00 \cdot 10^{-5}$	$1,00 \cdot 10^{-4}$	$1,19 \cdot 10^{-4}$

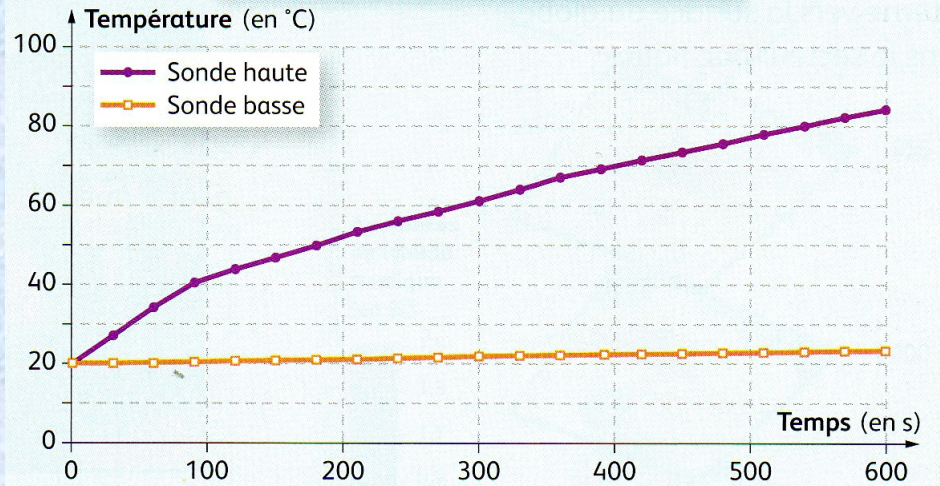
2 Concentration en éléments radioactifs dans les enveloppes terrestres. Ppm signifie « partie pour million » : 1 ppm d'uranium = 1 mg d'uranium par kg de roche.

2- Deux mécanismes de transfert inégalement efficaces:

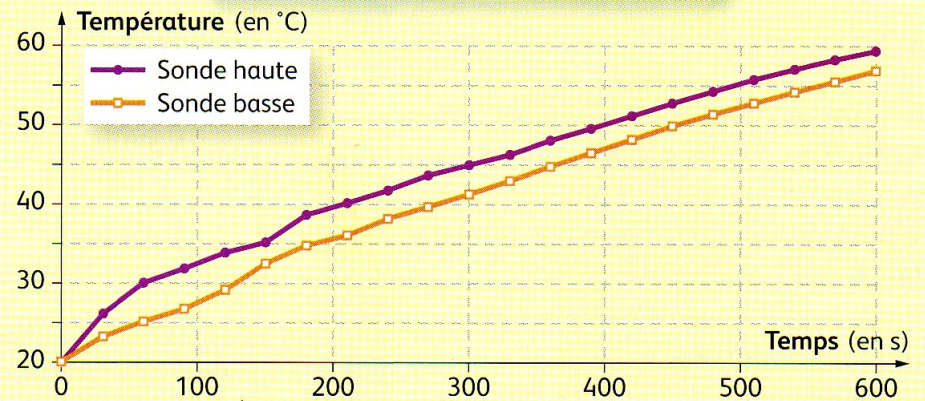
livre p 230 et 231



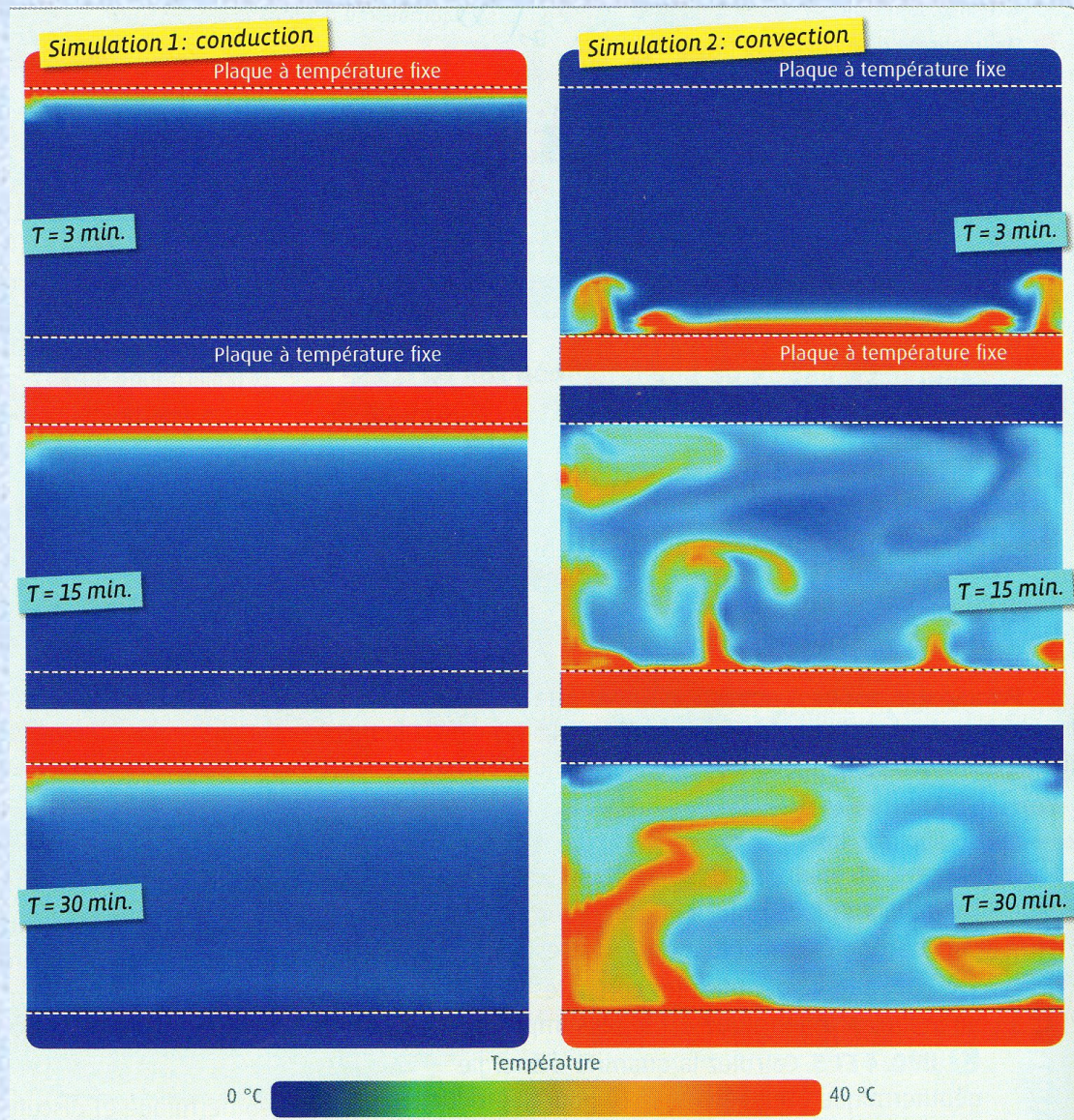
Système conductif (chauffage par le haut)



Système convectif (chauffage par le bas)

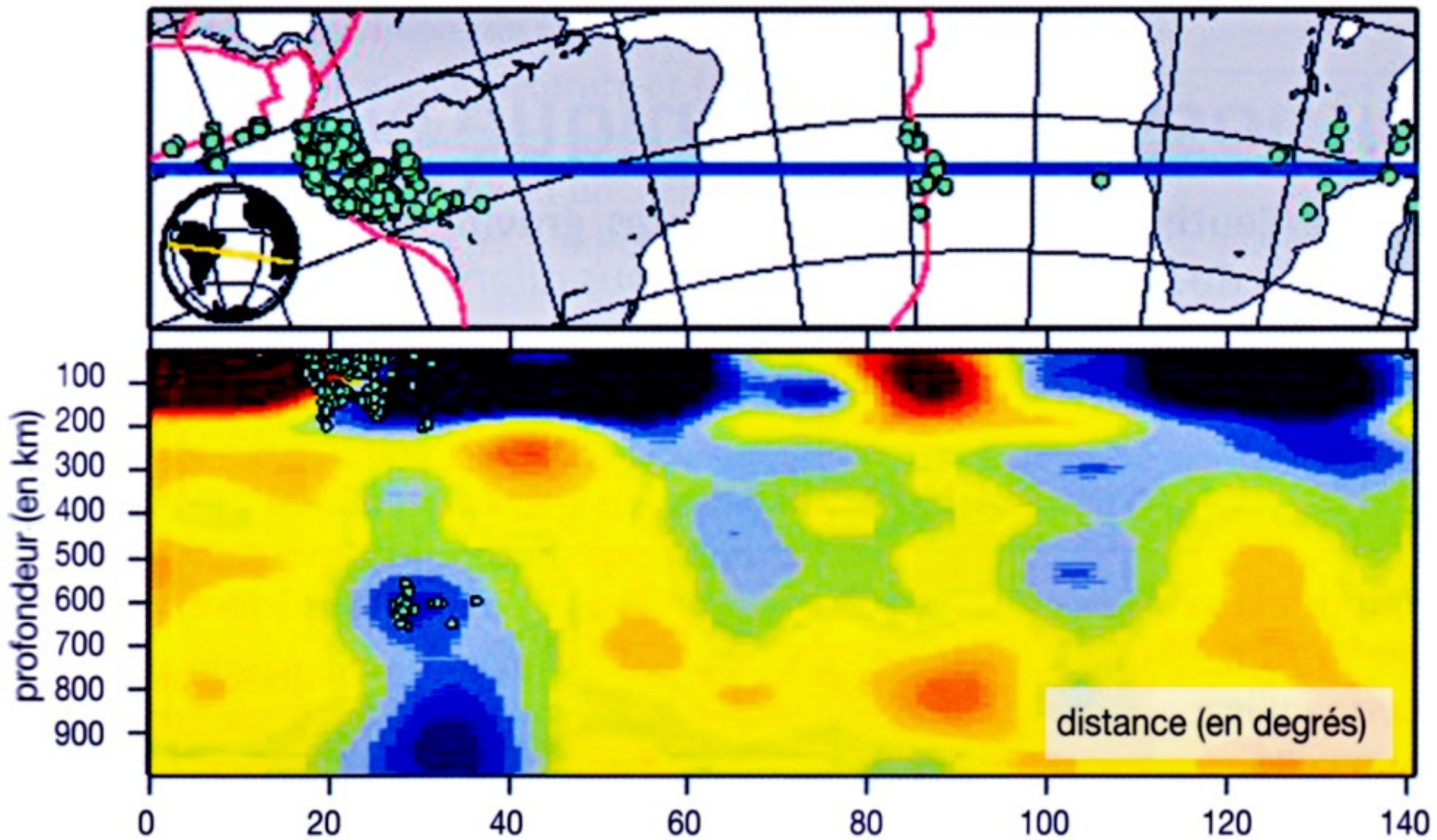


Modélisation numérique des transferts de l'énergie thermique par conduction et par convection



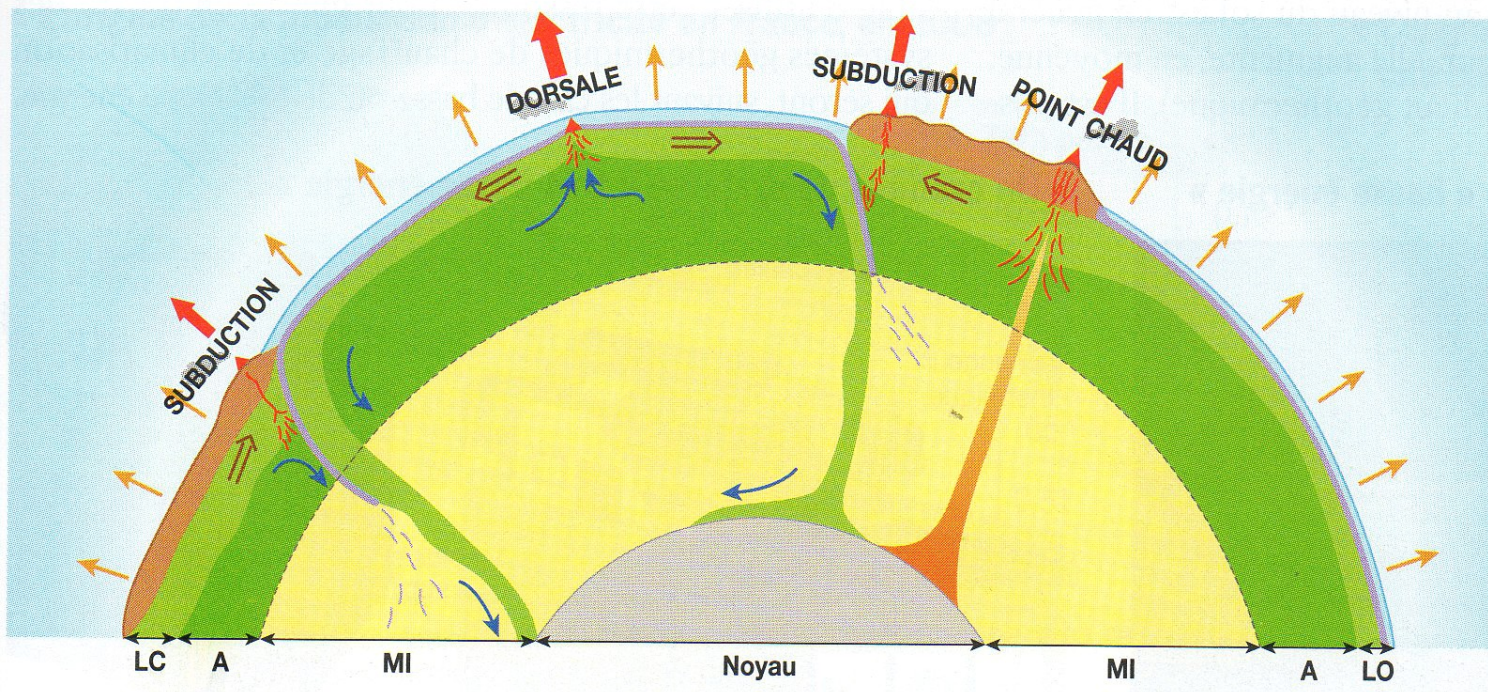
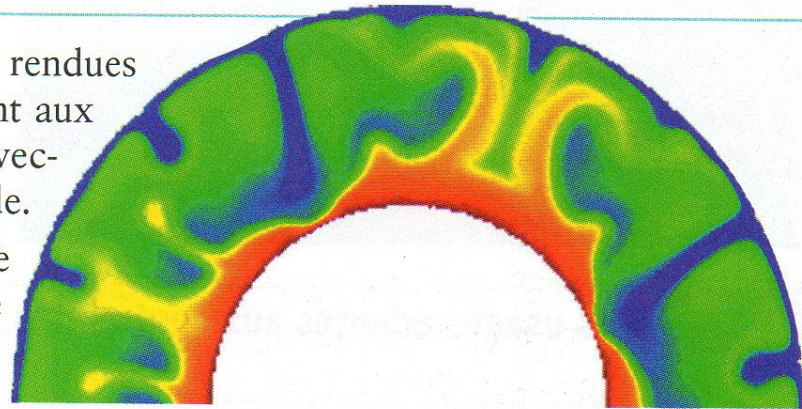
3- La Terre est une machinerie thermique:

livre p 232



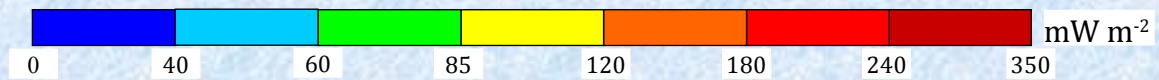
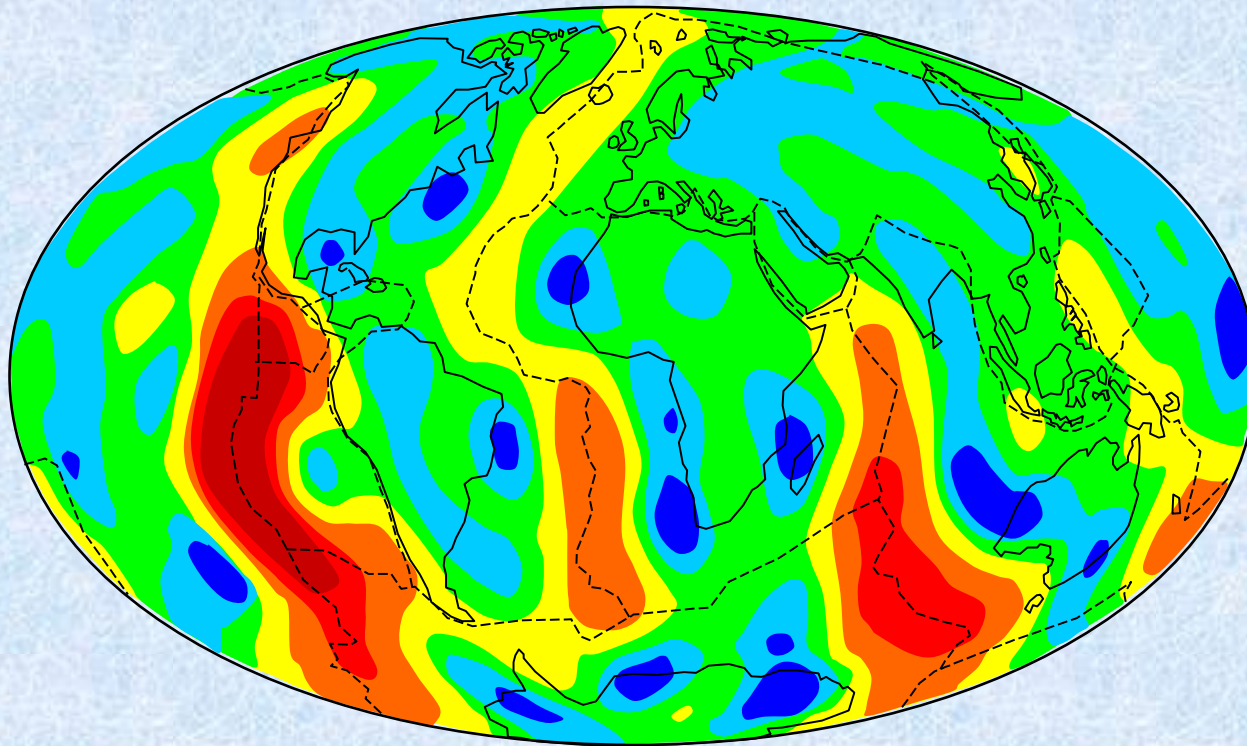
- Les simulations numériques comme celle présentée ci-contre sont rendues possibles grâce aux progrès des moyens de calcul. Elles permettent aux chercheurs de modéliser ce qui peut se passer dans le manteau : convection par remontée de matière chaude et plongement de matière froide.

- Par ailleurs, des panaches de matière chaude remontant de la limite noyau-manteau jusqu'en surface (les points chauds vus en classe de Première S) jouent également un rôle important dans l'évacuation de la chaleur interne du globe.



- } Lithosphère
- } Asthénosphère (A)
- } Manteau inférieur (MI)
- ← Mouvement de matière par convection
- ⇒ Déplacement de la lithosphère
- Pertes liées au magmatisme
- Pertes par conduction
- LC Lithosphère continentale
- LO Lithosphère océanique

Flux géothermique mondiale



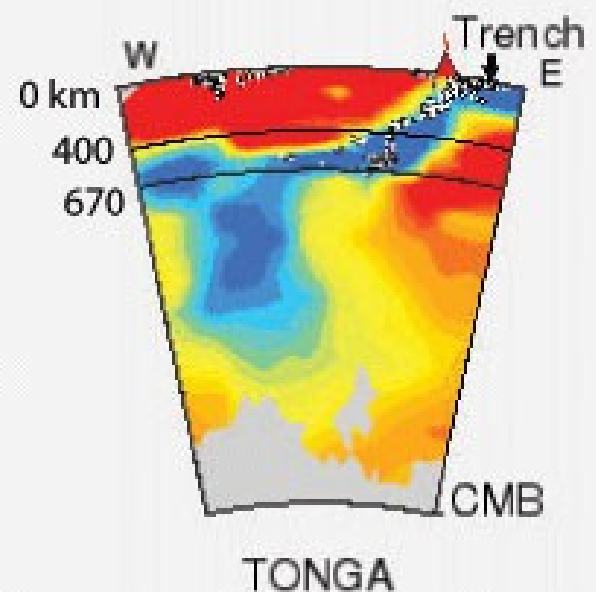
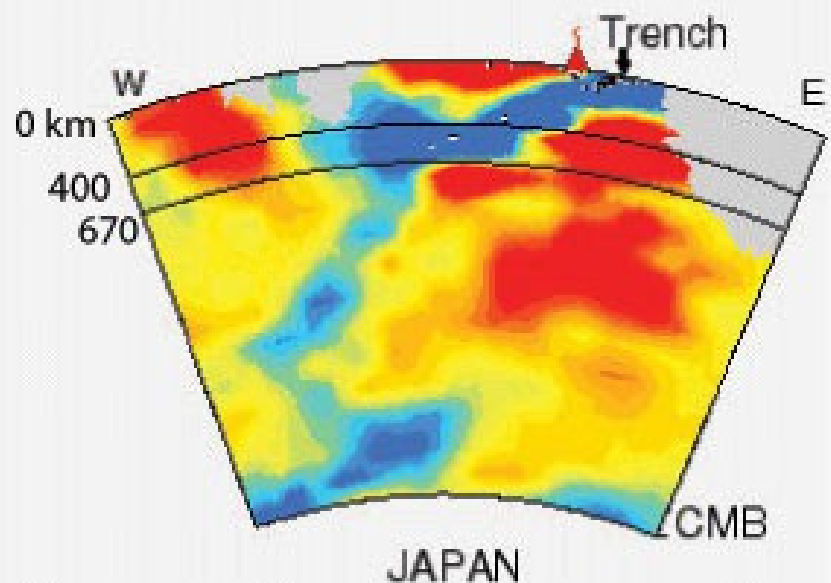
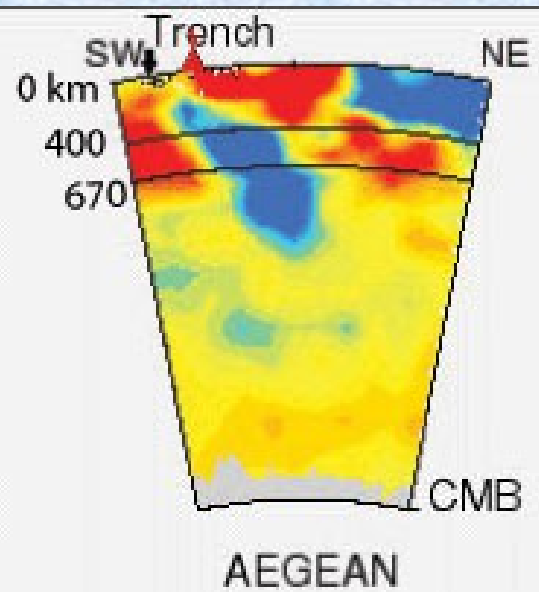
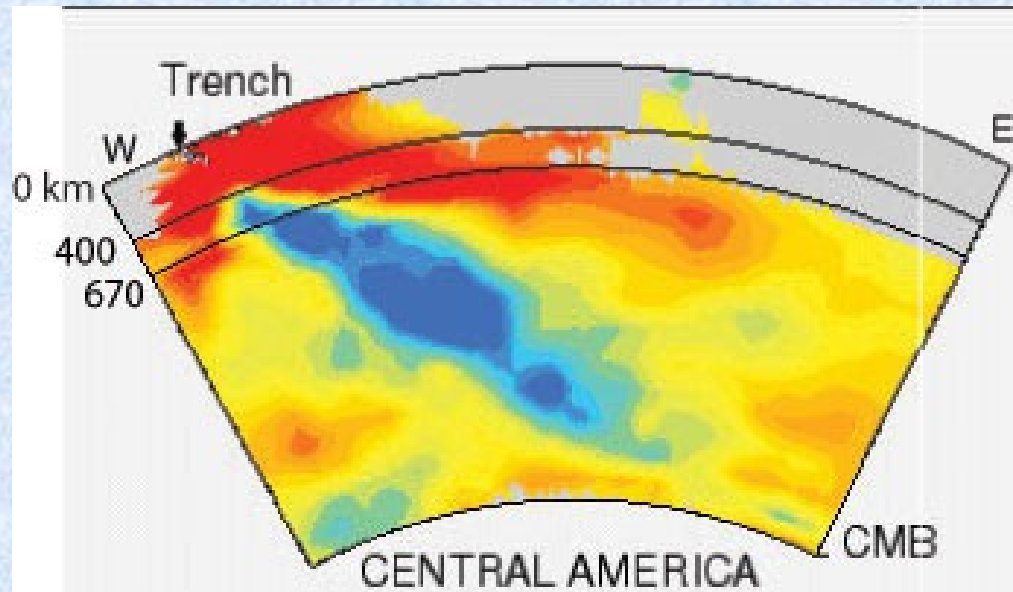
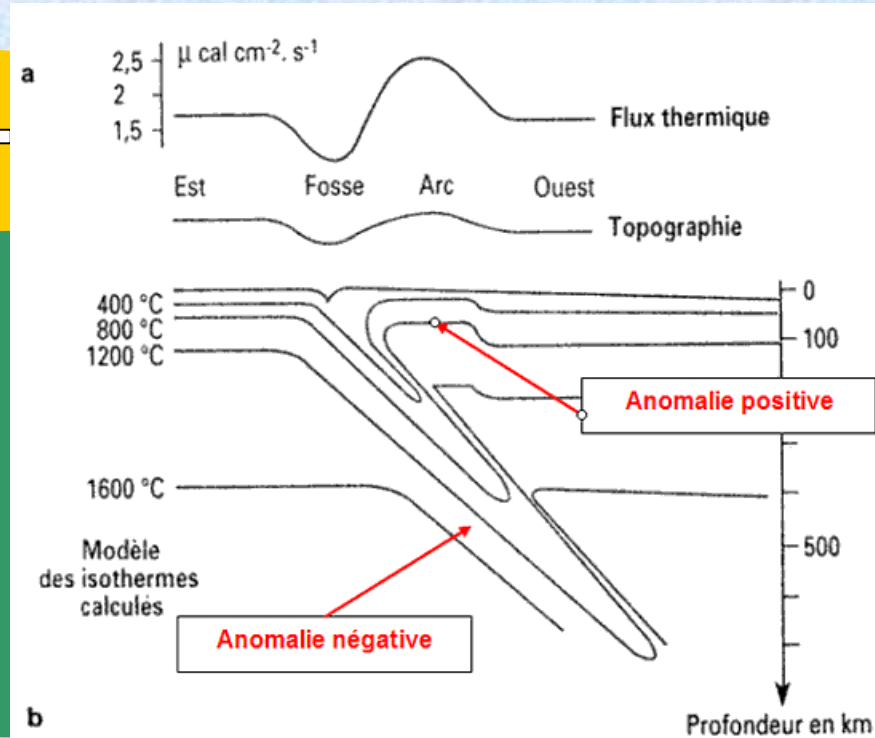
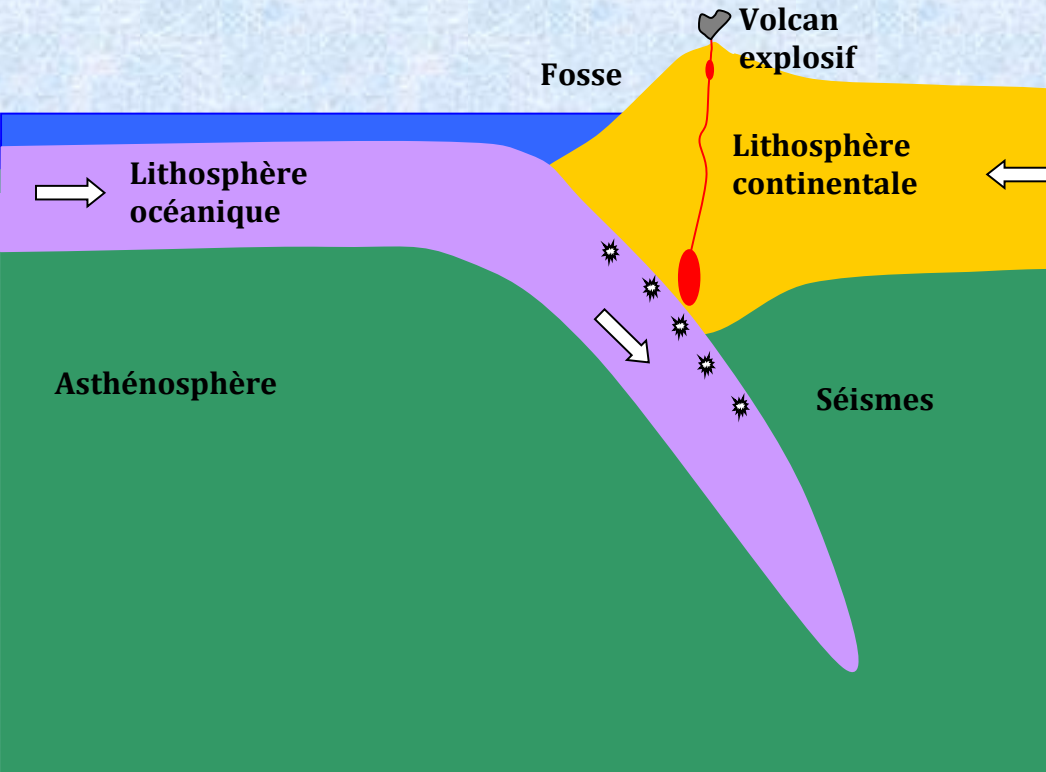


Schéma simplifié de la subduction

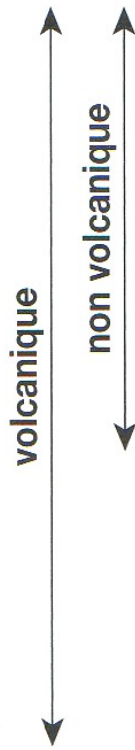


III- L'énergie géothermique est utilisée par l'Homme:

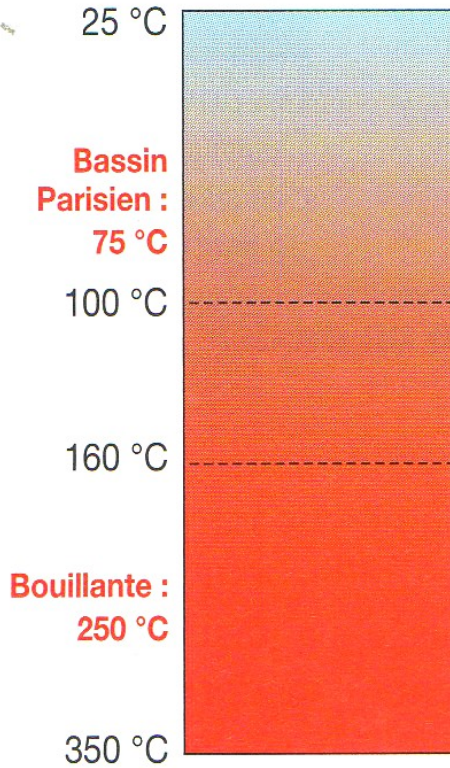
1. Une ressource inépuisable à l'échelle humaine:

livre p 230 et 231

Contexte géologique



Température des fluides

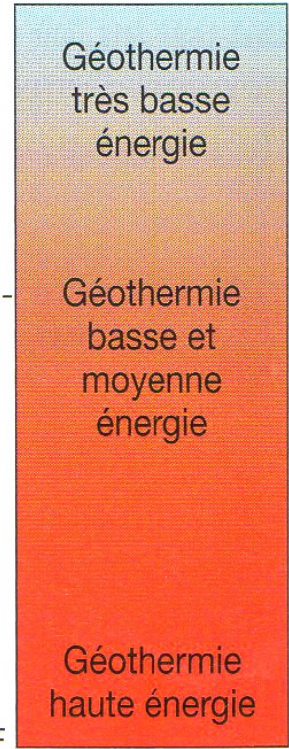


Usages possibles de la ressource géothermique

- Chauffage résidentiel
- Chauffage de serres
- Aquaculture
- Balnéothérapie
- Séchage
- Climatisation/réfrigération

utilisation directe de la chaleur

conversion de la chaleur en électricité



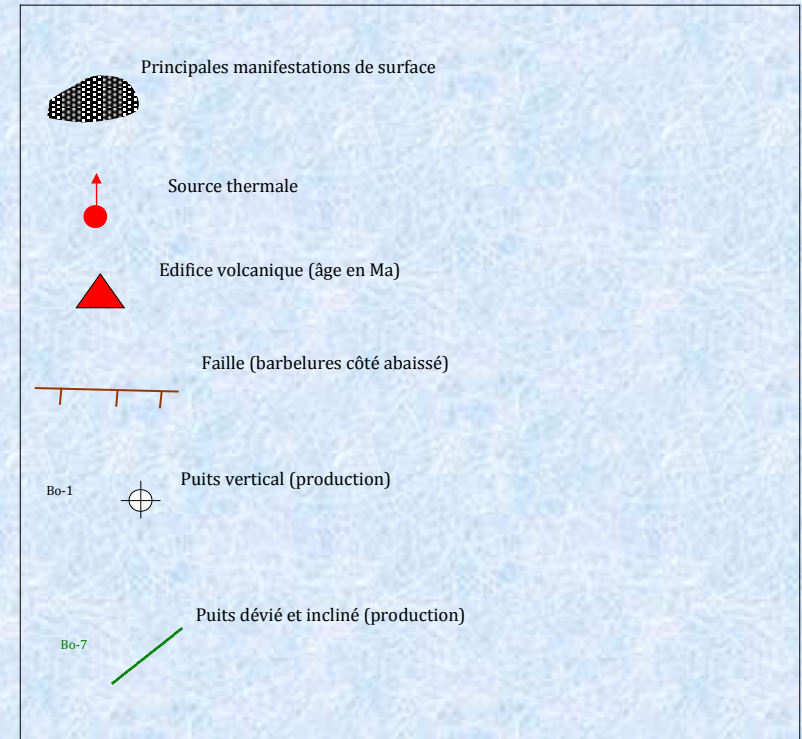
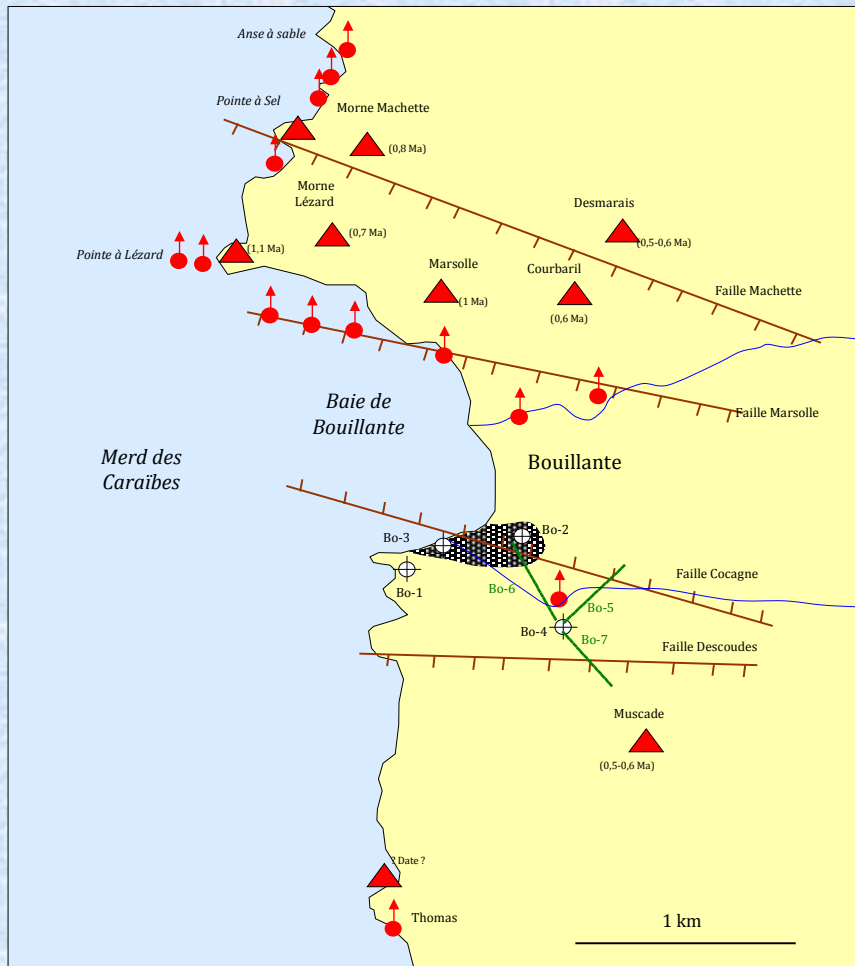
D'après BRGM-EDF

2- Les ressources géothermiques dépendent du
contexte géologique:

Livre p 226, 227 et 239

Bouillante (Guadeloupe) Cadre volcano-tectonique local

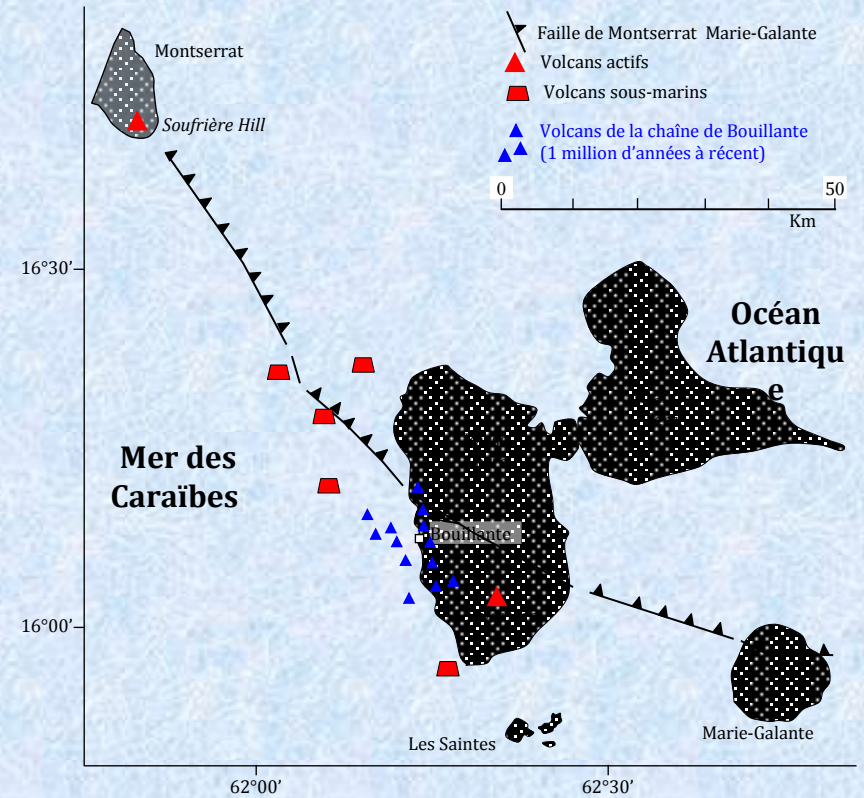
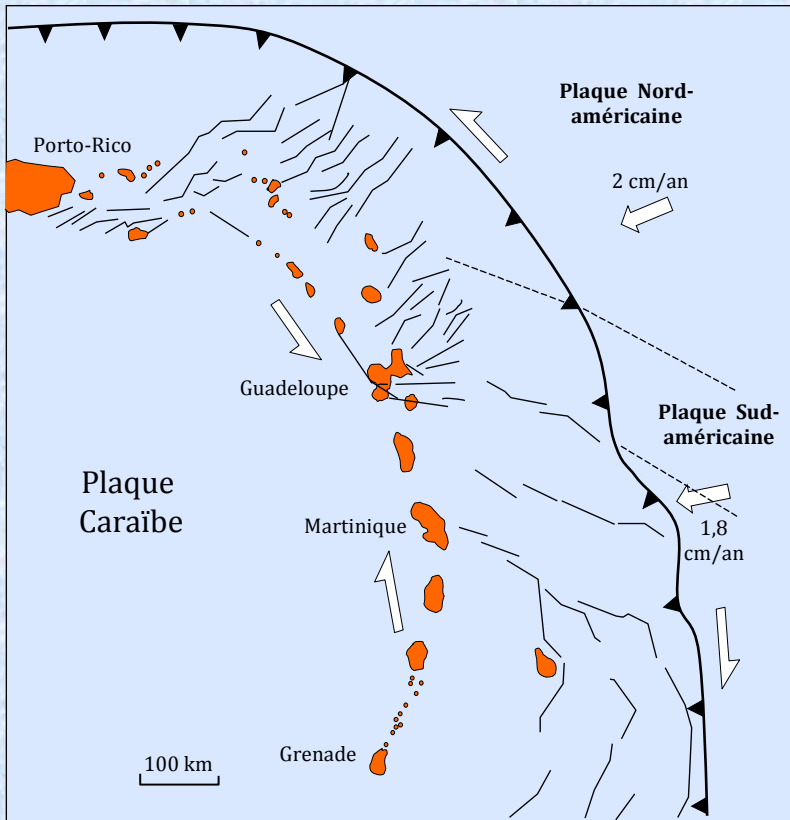
D'après étude BRGM reprise dans <http://unt.unice.fr/ued/bouillante/cours/ii.-etude-de-cas-la-centrale-geothermique-de-bouillante-en-guadeloupe/>



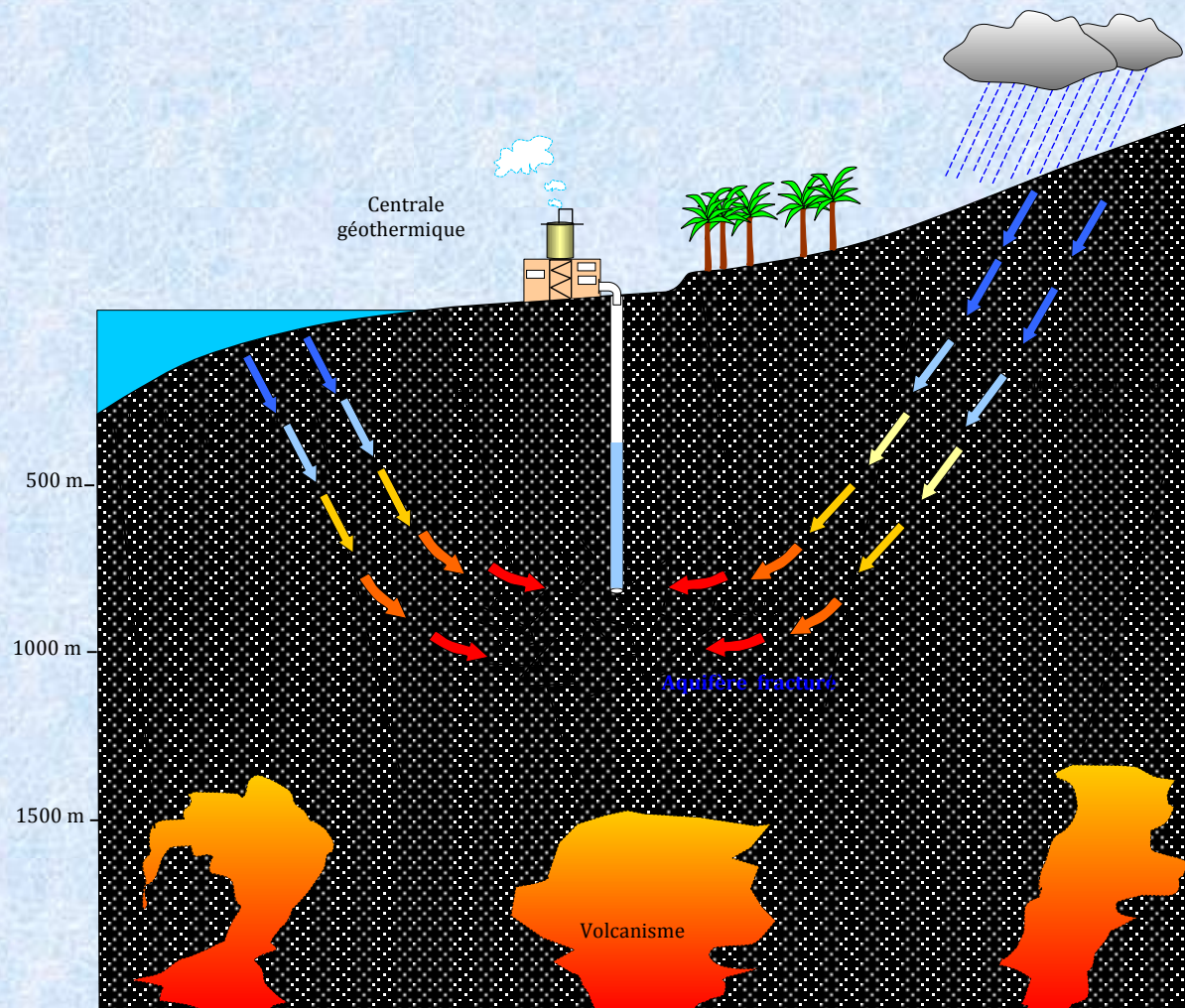
Bouillante (Guadeloupe): contexte géodynamique lithosphérique
D'après compilations diverses (BSGF,....)

Bouillante : origine de l'anomalie géothermique à l'échelle régionale
D'après

<http://www.brgm.fr/AgendaNews/dcenewsFile?ID=99>

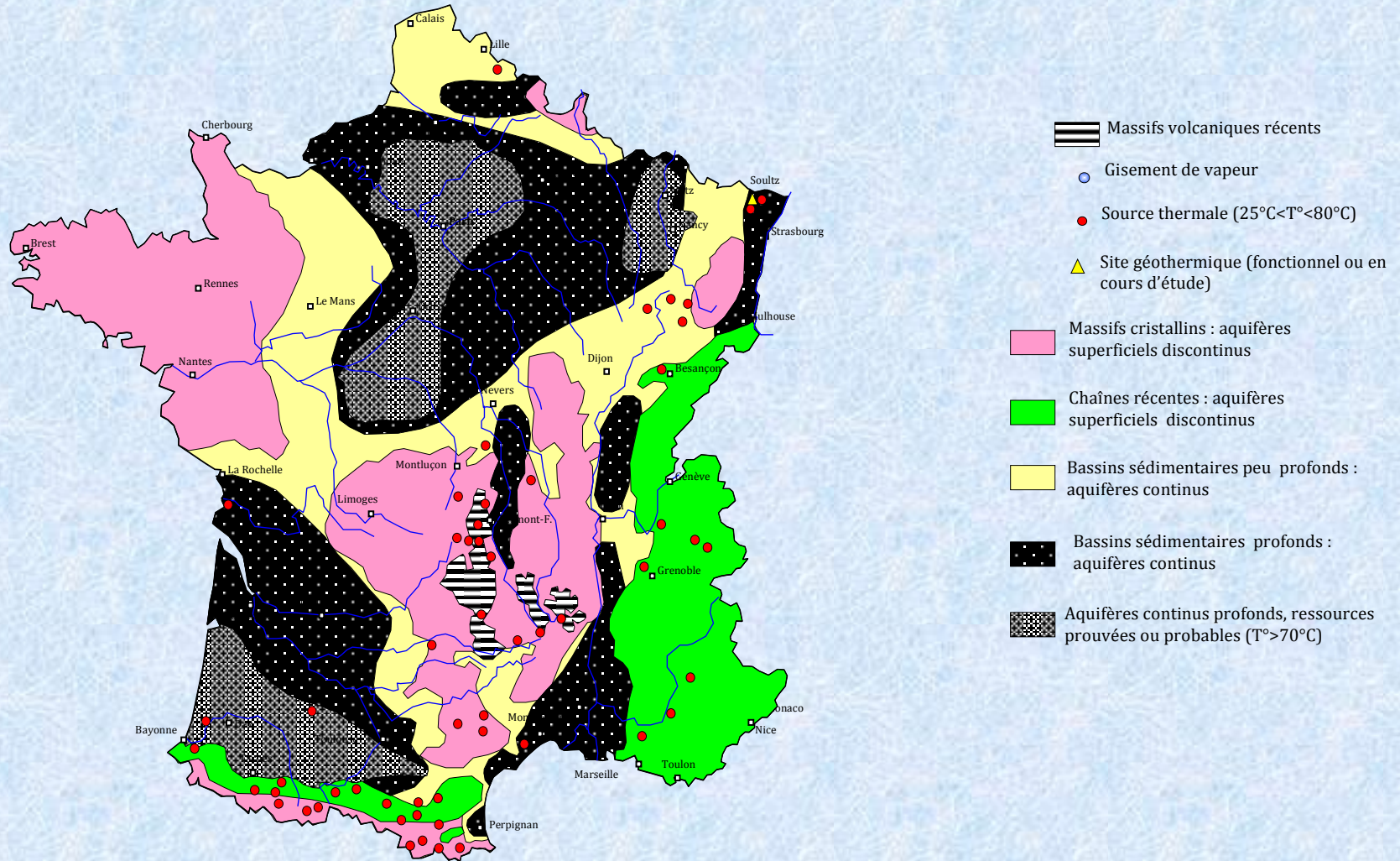


Champ géothermique de Bouillante (modèle simplifié) d'après BRGM et Géothermie Bouillante S.A.
<http://www.brgm.fr/AgendaNews/dcenewsFile?ID=99>

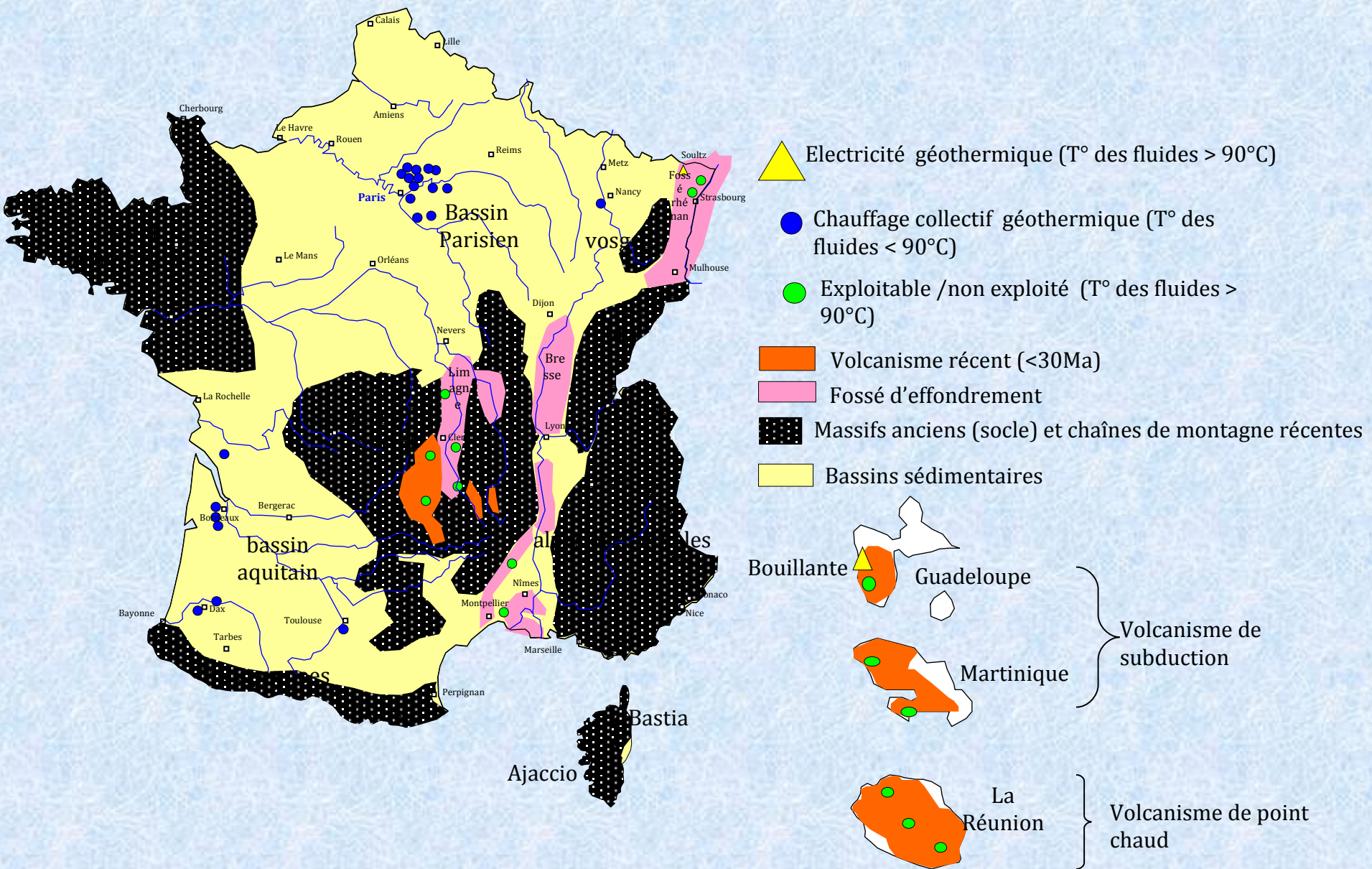


Cadre géologique des ressources géothermiques en France

Modifié d'après document ADEME repris du site du BRGM

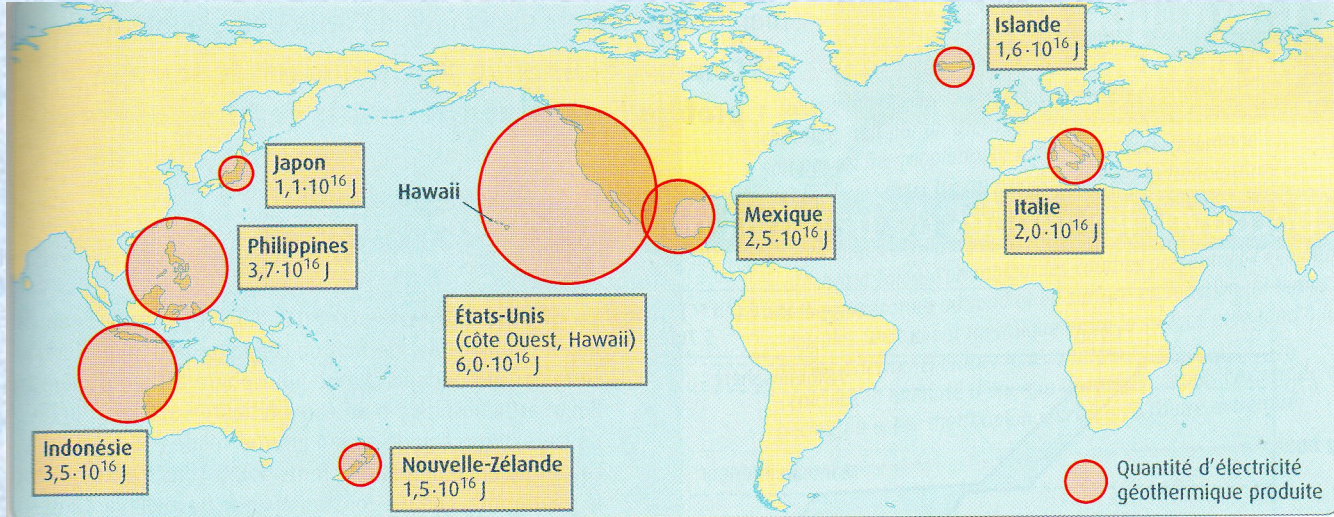


Cadre géologique simplifié des ressources géothermiques en France et potentiel de développement

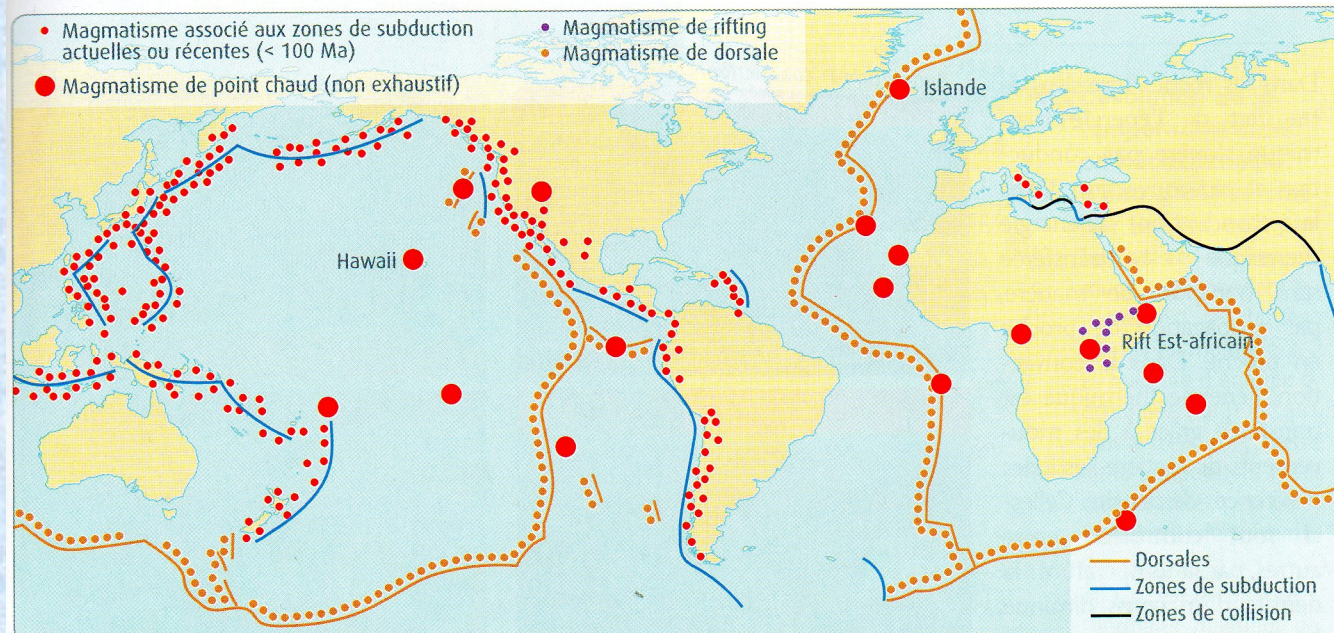


données géothermiques de 3 domaines géologiques (EEDD INRP)

paramètre domaine	gradient géothermique (°C /100 m)	température du fluide circulant (°C)
bassin sédimentaire	1 à 3	< 100
fossé d'effondrement	3 à 10	100 < T < 150
zone de subduction	10 à 50	> 150



5 Les huit premiers pays producteurs d'électricité géothermique en 2010. $2,42 \cdot 10^{17}$ J d'électricité d'origine géothermique ont été produits dans le monde en 2010. En moyenne, 5 J d'énergie géothermique sont nécessaires pour produire 1 J d'énergie électrique. Lors d'un congrès qui s'est tenu à Bali (Indonésie) en 2010, les spécialistes de la géothermie ont estimé que la production d'électricité d'origine géothermique pourrait atteindre $4,2 \cdot 10^{18}$ J en 2050.



6 Principales zones à activité magmatique actuelle ou récente dans le monde. L'est de l'Afrique est actuellement le théâtre d'une extension de la lithosphère continentale, à l'origine de la formation d'un **rift**. Ce phénomène est associé à un magmatisme, dit de rifting (voir doc. 5 p. 227). Quant au magmatisme de **point chaud**, il se manifeste aussi bien en milieu continental qu'océanique.