

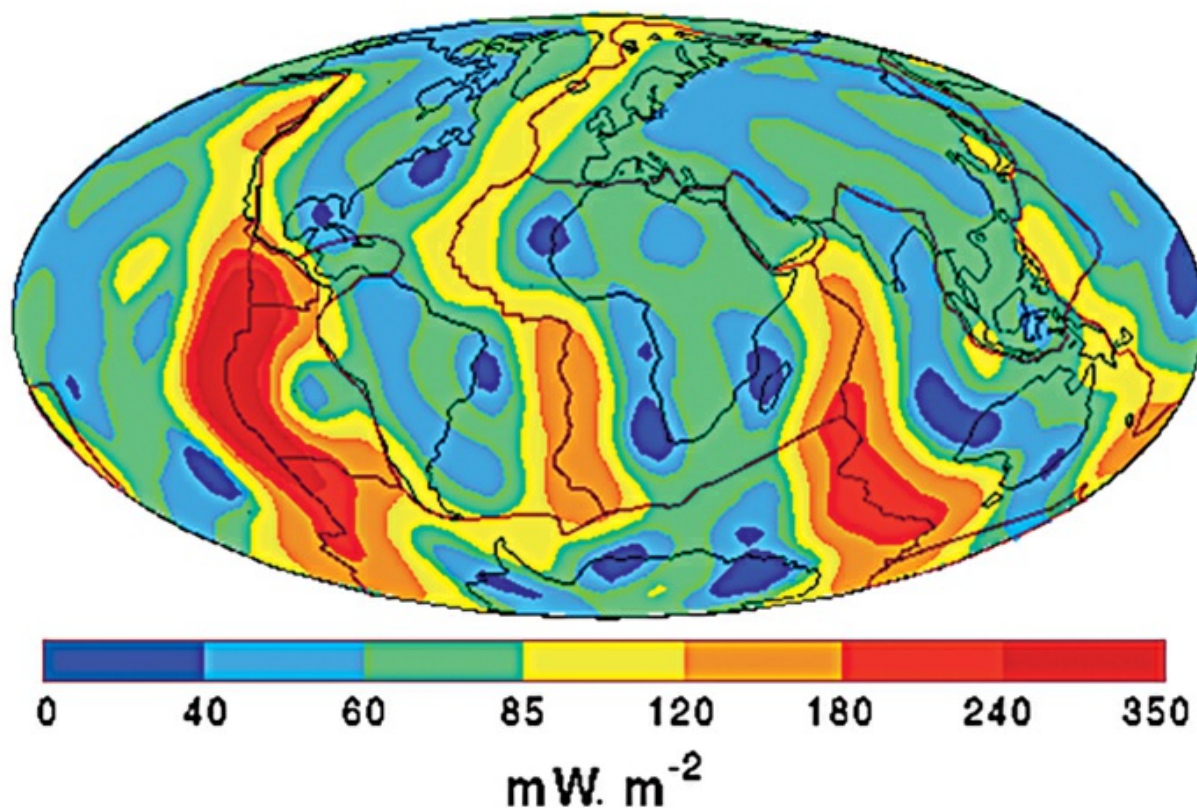
Fiche

La grande majorité de l'énergie actuellement utilisée (agriculture, industrie, transport, etc.) provient soit de la combustion d'énergies fossiles, comme le pétrole ou le charbon, ou du nucléaire. Or, les énergies fossiles ne sont pas renouvelables et pourraient manquer dans l'avenir. De plus, leur combustion, en faisant augmenter le niveau de CO₂ dans l'atmosphère, est à l'origine d'un effet de serre entraînant une augmentation de la température terrestre. Avec l'énergie nucléaire se posent le problème de sa sûreté et celui de la gestion des déchets à long terme. Le développement durable s'intéresse à d'autres filières énergétiques, plus respectueuses de l'environnement et quasiment inépuisables pour l'homme, comme la géothermie. Où et comment est exploitée l'énergie géothermique et quelle est son origine ?

1. Flux et gradient géothermiques : variations selon le contexte géodynamique

À la surface de la Terre, nous observons des manifestations traduisant la dissipation de l'énergie thermique interne de la Terre, comme les éruptions volcaniques, les geysers ou encore les séismes. Le flux géothermique est la quantité d'énergie thermique dissipée par unité de surface terrestre et par unité de temps. Le flux géothermique moyen est de l'ordre de 87 mW.m^{-2} pour $5,1 \cdot 10^{14} \text{ m}^2$ (surface totale du globe terrestre), mais il est différent sur les continents ($\sim 65 \text{ mW.m}^{-2}$) et sur les océans ($\sim 100 \text{ mW.m}^{-2}$).

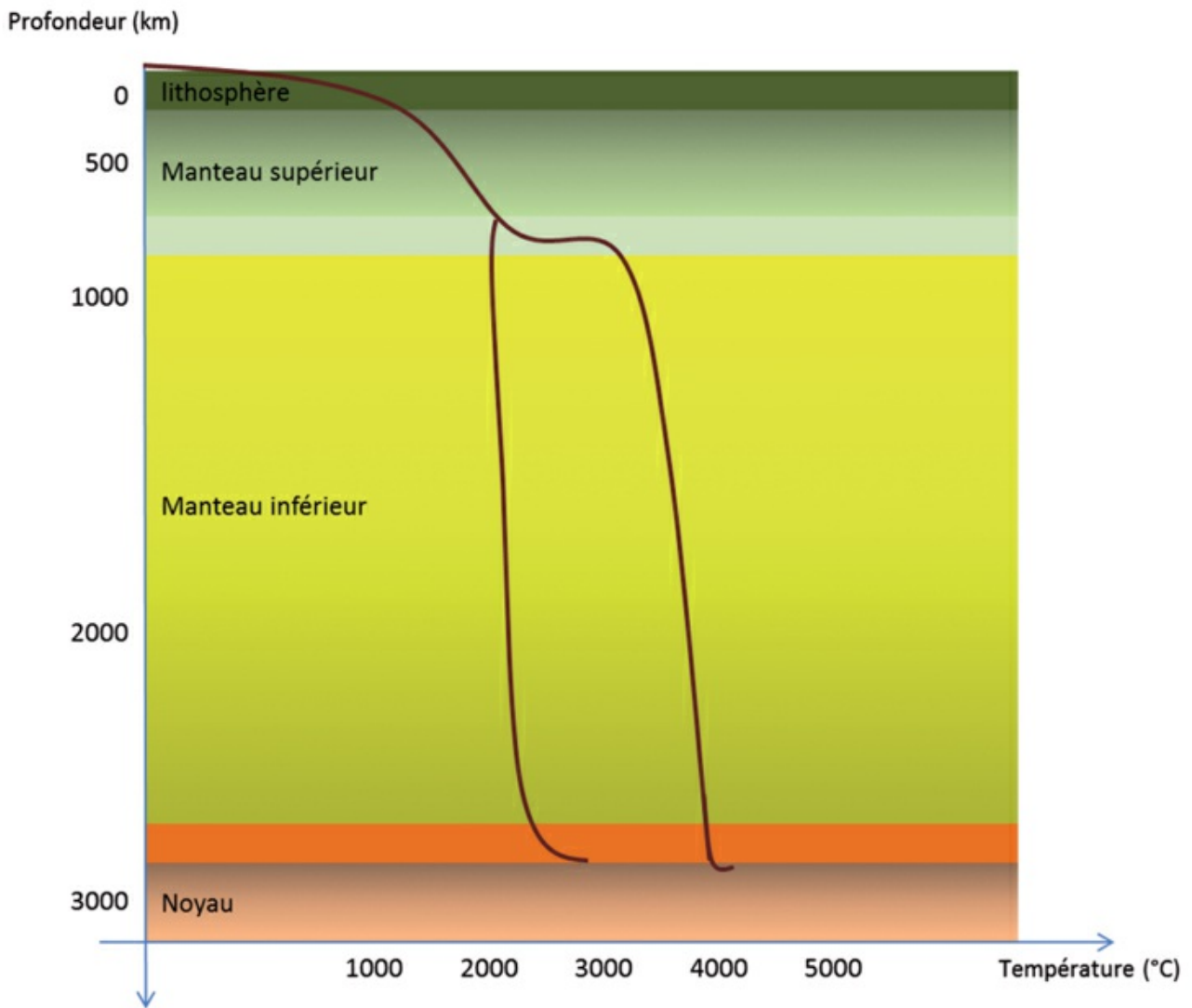
Carte Mondiale des variations du flux géothermique



La carte est établie à partir de plus de 24 000 données de terrain, aussi bien sur croûte continentale qu'océanique, complétées par des estimations dans les zones non étudiées (d'après le site planet-terre.ens-lyon.fr).

Entre l'intérieur de la Terre (dont la température au centre est estimée à plus de 4 000 °C) et la surface (dont la température est de 15 °C en moyenne), s'établit un gradient géothermique. Le gradient géothermique représente la variation de la température avec la profondeur. Le gradient géothermique moyen dans la croûte terrestre est de l'ordre de 30 °C par km.

Gradient géothermique



Le gradient géothermique représenté ici est le résultat d'une extrapolation à partir de certains points dits d'ancrage dont la température est estimée indirectement. Les valeurs des gradients et des flux géothermiques varient selon le contexte géodynamique. En domaine océanique, les flux géothermiques sont élevés au niveau des dorsales océaniques, des points chauds (île de La Réunion, par exemple) et des arcs volcaniques ou cordillères liés à la subduction (Japon, Andes, Antilles, etc.). En domaine continental, les flux géothermiques sont forts au niveau des zones avec magmatisme (vallée du rift africain). De plus, des bassins sédimentaires ayant une croûte amincie présentent un flux géothermique élevé, tels les bassins d'effondrement de l'Alsace ou de la Limagne en France. Quelle est l'origine de cette énergie thermique observable en surface ?

2. Origine de l'énergie géothermique

L'énergie thermique interne de la Terre provient de deux sources :

- Pour 25 %, de la chaleur primitive, relique de la formation de la Terre, il y a 4,55 Ga.
- Pour 75 %, de la radioactivité : trois éléments radioactifs à longue période (uranium, thorium, potassium) se désintègrent en libérant de l'énergie thermique.

Comment se dissipe cette énergie thermique interne jusqu'à la surface terrestre ?

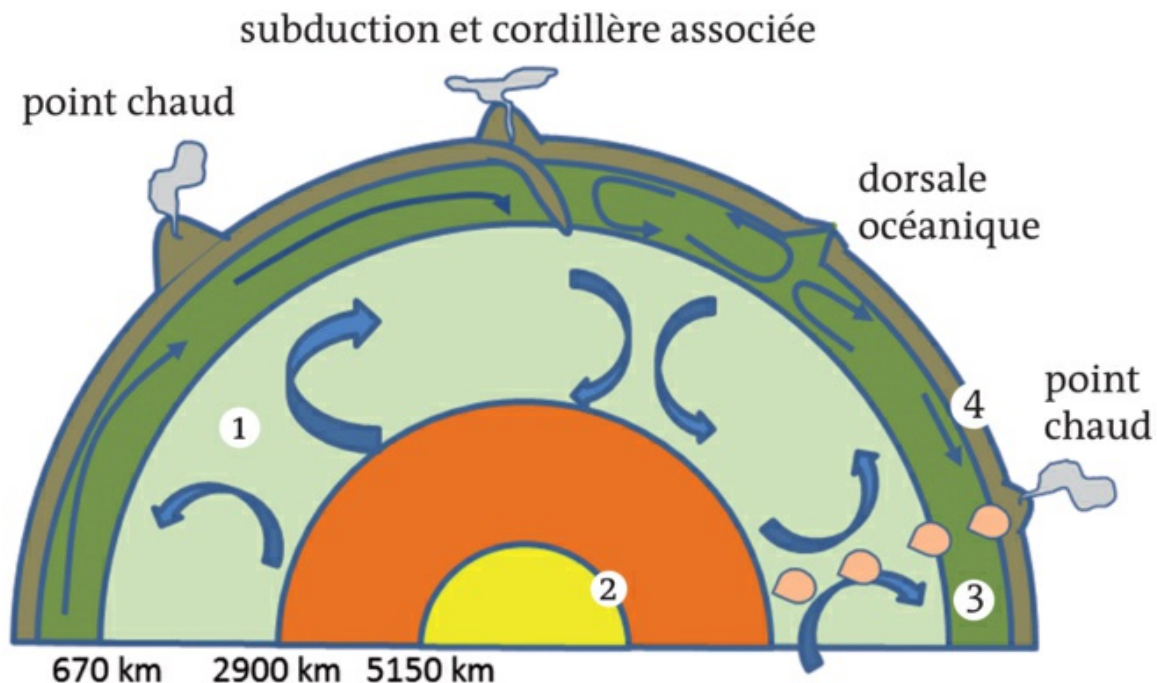
3. Dissipation de l'énergie géothermique

La tomographie sismique permet d'estimer la température des couches les moins profondes : des vitesses sismiques lentes sont interprétées comme preuve de matériel chaud, alors que des vitesses rapides montrent l'existence de matériel froid. L'énergie thermique interne de la Terre se dissipe selon deux modalités :

- La **conduction thermique** : elle permet le transfert d'énergie thermique des zones chaudes vers les zones froides sans transfert de matière, en particulier au sein de la lithosphère et à l'interface entre le manteau et le noyau. Les roches ayant une conductibilité faible, la conduction thermique ne peut à elle seule rendre compte de l'ensemble du transfert d'énergie thermique dans la terre.
- La **convection** : c'est un transfert d'énergie thermique avec déplacement de matière et qui constitue un mécanisme de transfert d'énergie efficace. La convection s'effectue au sein du manteau comme au sein du noyau.

Le manteau est animé de mouvements lents de convection : deux modèles existent, à un étage ou à deux étages de cellules de convection. Des arguments existent pour les deux hypothèses.

La convection dans le manteau (modèle à deux étages de cellules de convection)



1. manteau inférieur
2. noyau
3. asthénosphère
4. lithosphère

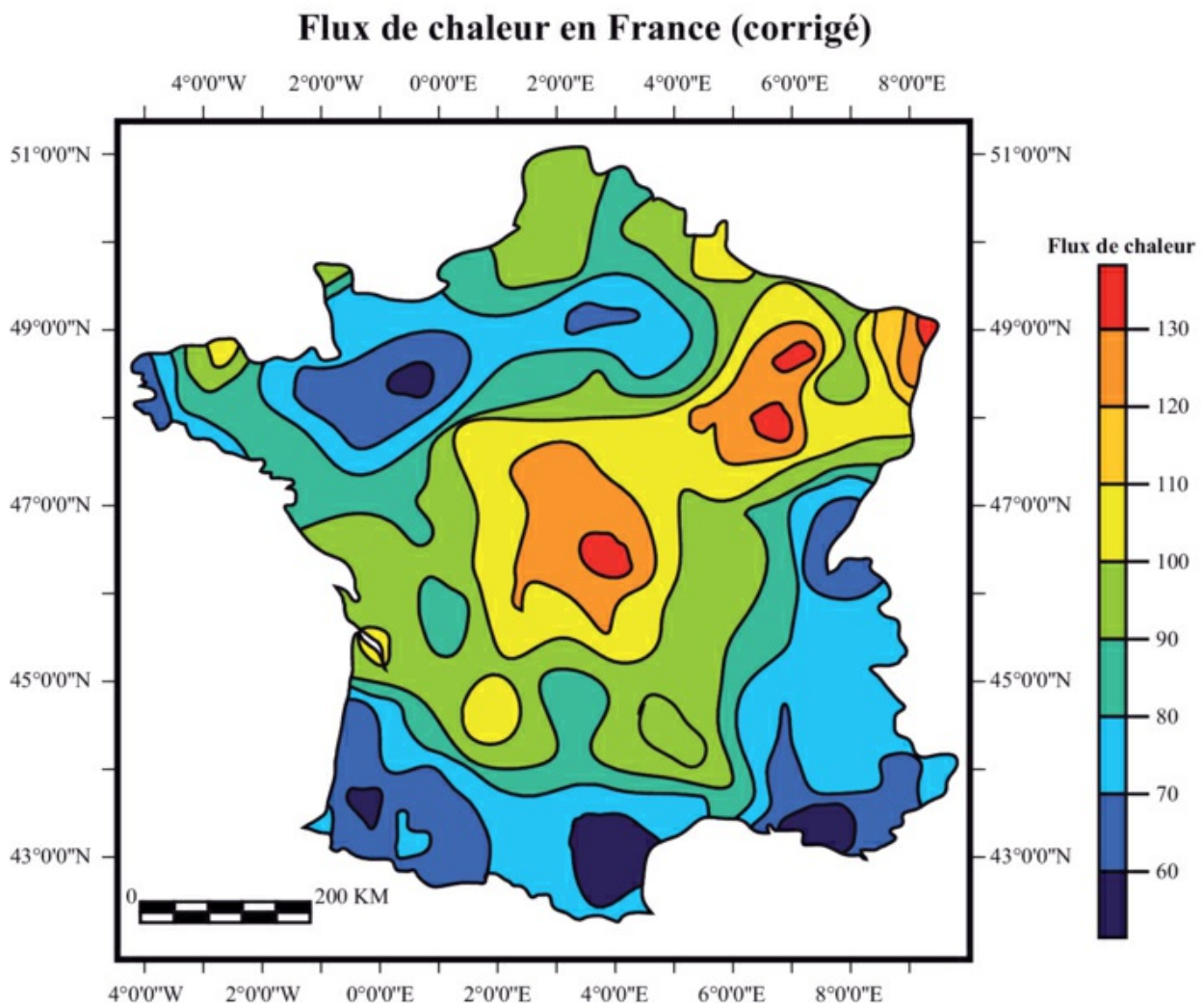
Le fort flux géothermique dans les dorsales s'explique par la remontée de matériel chaud

et la production de nouvelle lithosphère océanique. Dans les zones de subduction, la faible valeur du flux géothermique moyen s'explique par le plongement de la lithosphère océanique âgée, froide et dense. Localement, dans les zones de subduction, le magmatisme lié à la remontée de matériel chaud est à l'origine d'un flux thermique élevé au niveau des arcs volcaniques ou des cordillères. Ainsi, la Terre est une machine thermique, dont la dissipation de l'énergie interne constitue le moteur de la dynamique des plaques lithosphériques.

4. Utilisation par l'homme de l'énergie géothermique

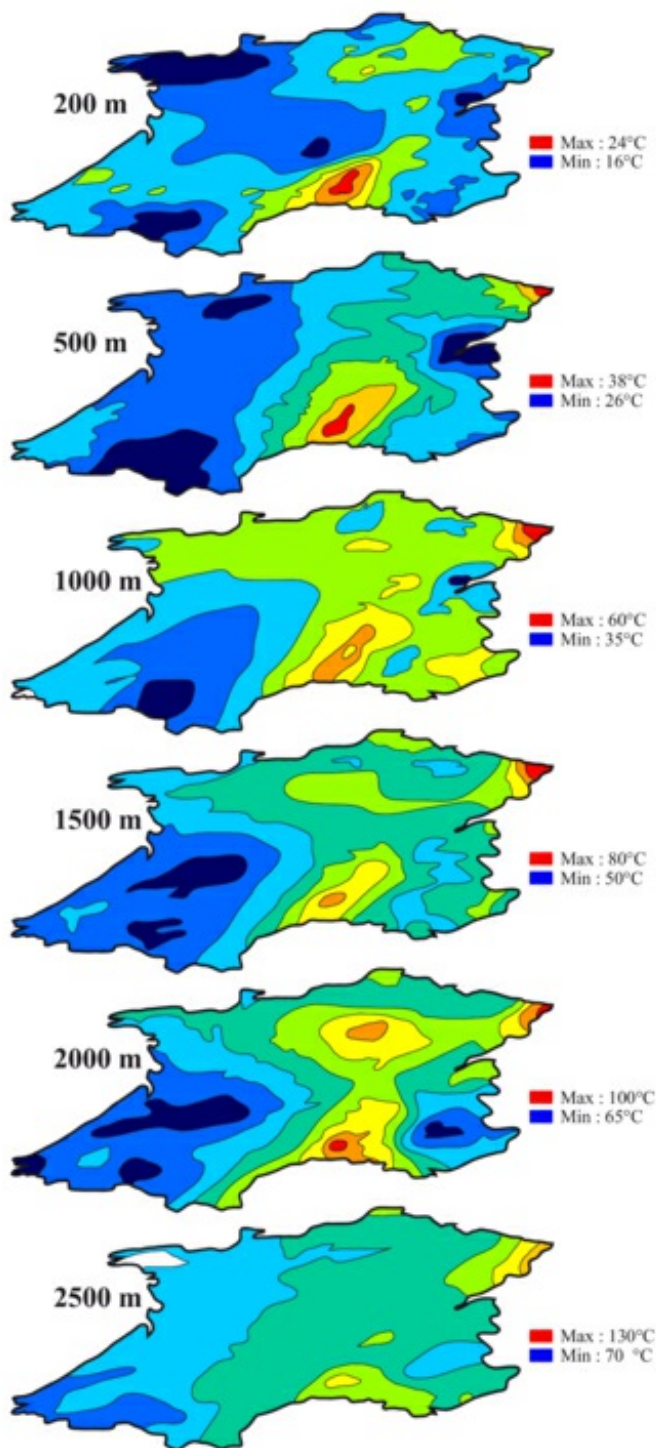
Les premières mesures de flux géothermique en France ont été réalisées dans les années 1960, alors que des sources chaudes comme à Dax étaient utilisées depuis l'Antiquité. Le flux géothermique que l'on mesure correspond au produit de la conductivité thermique par le gradient thermique vertical. La conductivité thermique se mesure en laboratoire sur des échantillons, et le gradient thermique se mesure en plongeant une sonde de température dans un forage.

Le flux géothermique en France



Carte obtenue à partir de 479 mesures et complétée avec des mesures en mer et dans les pays limitrophes – d'après Lucazeau et Vasseur, 1989.

Superposition des cartes des températures profondes en France



D'après le site du BRGM.

En comparant cette carte à la carte géologique de la France, on peut remarquer que les valeurs élevées du flux sont associées :

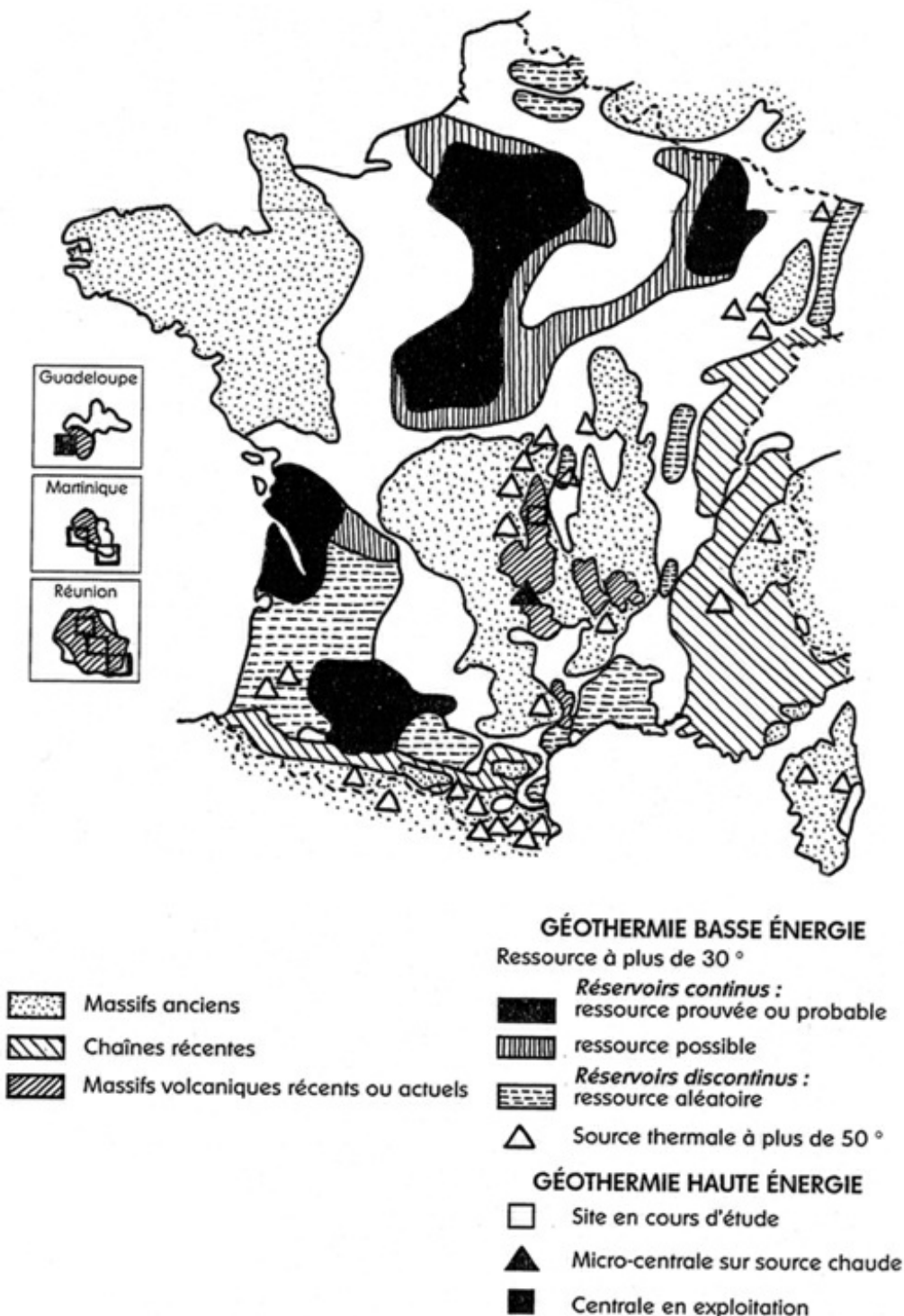
- aux remontées du socle : Massif central, Vosges ;
- aux structures d'effondrement : Alsace, Bresse, Limagne.

Les valeurs pour la Guadeloupe et la Réunion ne sont pas rapportées, mais ces îles présentent également un flux géothermique important, lié à un contexte de subduction pour

la Guadeloupe et un contexte de point chaud pour la Réunion. À titre de comparaison, dans le Bassin Parisien : à 1,5 km de profondeur, la température est de 70 °C ; en Alsace : à 1,5 km, elle est de 100 °C et à 5 km, de 200 °C ; en Guadeloupe : à 1 km, elle est de 250 °C.

Il est donc judicieux d'implanter des exploitations géothermiques à haute énergie, comme les centrales géo-thermo-électriques permettant la production d'électricité, dans les endroits où le flux thermique est le plus élevé.

La géothermie en France



La géothermie est une source d'énergie au service du développement durable : inépuisable à l'échelle humaine, propre, écologique, disponible presque partout et économique. La quantité moyenne de CO₂ émise dans l'atmosphère par les centrales géothermo-électriques dans le monde est estimée environ à 55 g/kWh, alors qu'une centrale au gaz naturel en produit dix fois plus.

La diversité des implantations géothermiques actuelles dans le monde montre l'importance de cette source d'énergie, que l'homme pourrait utiliser davantage qu'il ne le fait actuellement.

 [Exercice n°1](#)

 [Exercice n°2](#)

 [Exercice n°3](#)

 [Exercice n°4](#)

 [Exercice n°5](#)

Ce qui est attendu...

- Savoir exploiter des données extraites des atlas régionaux des ressources géothermales en France, concernant la température des fluides extraits dans ces zones.
- Savoir exploiter l'imagerie satellitale et les cartes de répartition mondiale du flux thermique pour replacer les exploitations actuelles dans le cadre structural : magmatisme de rifting, de subduction ou de points chauds.
- Savoir exploiter une modélisation analogique de convection en employant éventuellement des matériaux de viscosité différente.
- Savoir exploiter les imageries de tomographies sismiques.