

Chap.V Géothermie

L'Homme utilise pour une large part de ces besoins énergétiques (production d'électricité, chauffage...) les énergies fossiles, en particulier les hydrocarbures. Néanmoins d'autres types d'énergie sont amenés à une plus grande participation à ces besoins dans les années à venir. En effet, deux sources d'énergie inépuisables à l'échelle humaine sont disponibles: l'énergie solaire et l'énergie géothermique.

L'énergie géothermique provenant de l'intérieur du globe constitue le moteur de la tectonique des plaques. Bien que représentant une puissance disponible des milliers de fois plus faible que l'énergie solaire, cette énergie peut s'avérer une ressource intéressante pour subvenir aux besoins des populations humaines. La géothermie est une de ces énergies alternatives aux énergies fossiles.

- D'où provient la chaleur terrestre et comment est-elle évacuée ?

- En quoi la géothermie est-elle un enjeu du développement durable ?

I Gradients et flux géothermiques

La Terre libère de la chaleur d'origine profonde :

Le volcanisme, les sources d'eau chaude, les geysers ... sont autant de manifestations géologiques qui sont la conséquence de l'énergie interne de la Terre.

A) Le gradient et le flux géothermique mesurent cette libération d'énergie

Comment évolue la température en profondeur dans l'écorce terrestre ?

Le gradient géothermique correspond aux variations de températures en fonction de la profondeur. Les mesures de températures dans les mines et les forages profonds montrent que la température augmente de 3°C tous les 100 mètres (soit 30°C/km) dans la croûte continentale. Ce gradient n'est pas aussi fort dans toutes les couches terrestres. Le gradient est également plus fort au niveau des zones actives du globe.

Le flux géothermique correspond à l'énergie dissipée par la surface terrestre. Ce flux permet d'estimer la dissipation de la chaleur par le globe. Il dépend du gradient géothermique mais également de la conductivité thermique des roches.

La température croît avec la profondeur (gradient géothermique). Un flux thermique atteint la surface en provenance des profondeurs de la Terre (flux géothermique).

Flux géothermique : quantité de chaleur traversant une unité de surface par unité de temps

Gradient géothermique : rapport entre la variation de température entre deux points et la distance entre ceux-ci.

B) Gradient et flux géothermique varient selon le contexte géodynamique

Quels sont les contextes géodynamiques favorables à la géothermie ?

Le flux géothermique moyen est de l'ordre de 87mW/m² mais il est variable suivant le contexte géodynamique.

- faible sur les continents (30 km d'épaisseur de croûte)

- modéré dans les océans (6 à 8 km de croûte)

- élevé dans les zones volcaniques (200 à 300mW/m²) : au niveau des dorsales et des arcs volcaniques associées au zone de subduction (exemple: Guadeloupe), au niveau des points chauds.

- modéré dans certains bassins sédimentaires, notamment dans les régions où la croûte amincie caractérisée par une remontée du Moho (bassin d'effondrement. Exemple: Alsace avec le fossé rhénan).

=> Gradients et flux géothermiques varient donc selon le contexte géodynamique.

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

Quelle est l'origine de la chaleur interne de la Terre ? Comment est-elle libérée en surface ?

A) Une origine principale : la désintégration des éléments radioactifs

La Terre émet 4,2. 10¹³ Watts à sa surface. Cette chaleur de la Terre provient :

- de la désintégration des éléments radioactifs 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 chaleur primitive issue de l'accrétion terrestre (c'est-à-dire correspondant à l'énergie accumulée lors de la formation de la Terre) (10%)

=> Le flux thermique a pour origine principale la désintégration des substances radioactives contenues dans les roches.

B) Deux mécanismes de transfert inégalement efficaces

L'énergie thermique est propagée par conduction et par convection :

- **la conduction est un transfert de chaleur de proche en proche sans déplacement de matière.** L'échange thermique entre une région chaude et une région voisine plus froide se matérialise par un fort gradient géothermique (par exemple dans la croûte, 30°C/km). L'efficacité de ce transfert dépend de la conductivité du matériau.

- **la convection correspond à un transfert de chaleur par déplacement des matériaux dont la température varie peu.** Le gradient géothermique est alors très faible, de 0,3°C/km par exemple). La matière chaude a généralement tendance à s'élever (densité plus faible) alors que la matière froide a tendance à descendre (densité plus forte). Ces échanges de matière ont été identifiés par tomographie sismique et ont mis en évidence des flux de matière circulaires formant des cellules de convection. Ce transfert d'énergie est très efficace.

=> Deux mécanismes de transfert thermique existent dans la Terre : la convection et la conduction. Le transfert par convection est beaucoup plus efficace.

C) Un modèle thermique du globe

Deux mécanismes, la conduction et la convection, rendent compte de transferts thermiques depuis l'intérieur de la Terre vers la surface de la lithosphère.

Comment la Terre transfère-t-elle vers sa surface l'énergie libérée en profondeur ?

On peut considérer la Terre comme une sphère dans laquelle existe une convection lente dans le manteau à l'origine des remontées et des descentes asthénosphériques. Celles-ci sont à l'origine de la dynamique lithosphérique et donc aussi à l'origine des manifestations de surface. Ces cellules de convection sont repérables par tomographie sismique. Ainsi, la dissipation d'énergie interne du globe est responsable du déplacement des plaques lithosphériques.

De part et d'autre de cette zone convective existent deux couches où règne la conduction: la lithosphère et l'interface manteau inférieur/noyau externe.

⇒ Ainsi, l'énergie interne de la Terre est efficacement transférée par convection de la profondeur vers la surface dans le manteau puis dissipée par conduction à travers la lithosphère.

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

La production d'énergie thermique est une ressource renouvelable à l'échelle humaine.

Quelle part la géothermie peut-elle avoir dans l'approvisionnement énergétique de la France ?

L'énergie géothermique chauffe les roches et les fluides qui peuvent y circuler.

L'Homme peut alors réaliser des forages afin d'extraire les fluides présents dans les aquifères (nappes d'eau souterraine) et utiliser cette eau chaude pour le chauffage ou pour produire de l'électricité.

A Les différents types de géothermie

- La géothermie de très basse énergie

La géothermie de très basse énergie exploite des aquifères peu profonds.

Ceci permet de chauffer les habitations des particuliers et peut également servir de climatisation .

- La géothermie de basse énergie :

Dans les bassins sédimentaires (Bassin Parisien ou aquitain) on réalise des forages dans des couches situées entre 1500 et 2500 mètres de profondeur possédant des aquifères . Les fluides extraits possèdent une température généralement inférieure à 90°C. L'utilisation est principalement destinée au chauffage collectif.

- La géothermie profonde : Soultz sous Forêt

Dans des contextes de rifting (fossé rhénan), la remontée du Moho est associée à un gradient géothermique plus fort. Dans ce cas, les forages sont profonds (5000 mètres) et il n'est pas nécessaire de trouver des aquifères : l'eau est envoyée en profondeur puis est récupérée en surface. Les fluides prélevés ont une température de l'ordre de 200°C. En surface, ces fluides se vaporisent (diminution de la pression mais température constante). La vapeur produit entraîne des turbines qui permettent la production d'électricité.

- La géothermie haute énergie

Dans les zones magmatiques (Antilles, Réunion), la remontée de magma est associée à un gradient géothermique très élevé. Les fluides prélevés ont une température de l'ordre de 250°C et permettent la production d'électricité.

B) Le bilan géothermique en France et dans le monde

L'énergie géothermique utilisable par l'Homme est variable d'un endroit à l'autre. Le prélèvement éventuel d'énergie par l'Homme ne représente qu'une infime partie de ce qui est dissipé.

La France possède un bon potentiel géothermique dans certaines régions, notamment les bassins sédimentaires, le fossé rhénan et le massif central mais il est encore très largement sous-exploité.

Actuellement on dénombre 350 centrales géothermiques dans le monde (dont Bouillante en Guadeloupe) qui produisent de l'électricité. La part de l'énergie géothermique dans la production mondiale d'électricité a été estimée à 5,2% en 2013.