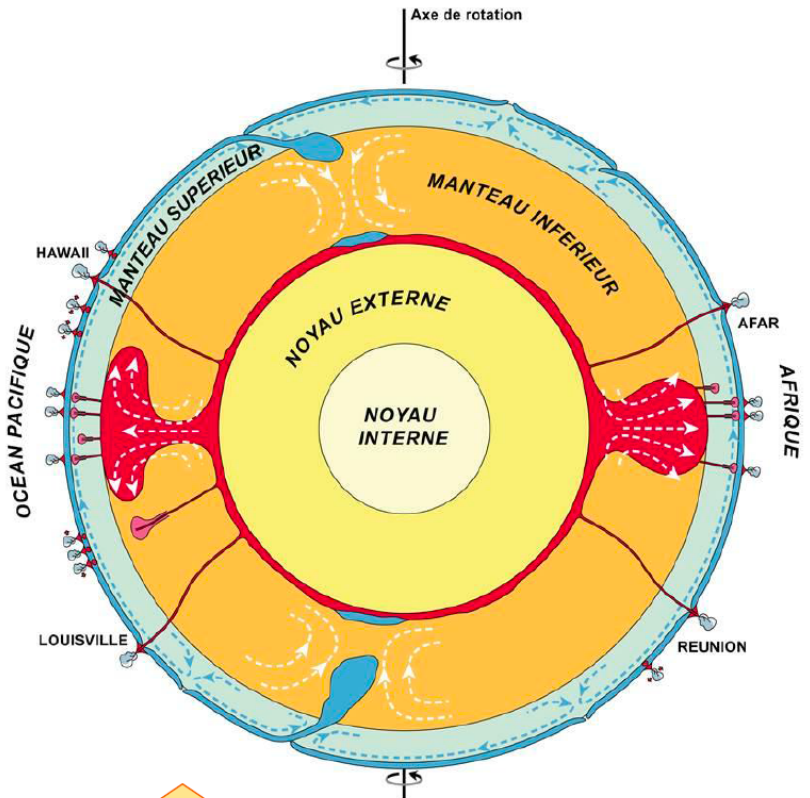


## LE CONTEXTE GEOLOGIQUE DE POINT CHAUD

Fait regrettable, mais incontournable, la résolution de la tomographie actuelle n'est pas capable d'imager les queues des panaches profonds, dont le diamètre est probablement de l'ordre de quelques centaines de kilomètres.

En revanche, la tomographie sismique (voir les diapositives suivantes) nous indique que la convection dans le manteau inférieur est dominée par un mode quadripolaire dans lequel deux **super-panaches** forment deux dômes qui s'élèvent sous l'Afrique et sous le Pacifique alors que le matériel plus froid redescend au niveau de deux ceintures méridiennes, dont l'enveloppe mime les zones de subduction circum-pacifique. C'est ce que représente cette coupe de la Terre. Les 3 points chauds profonds du Pacifique et les 4 points chauds profonds Indo-Atlantiques forment deux groupes de panaches qui sont ancrés de façon quasi-fixe à la bordure de ces deux super-panaches. On a montré que ces deux groupes dérivent lentement l'un par rapport à l'autre. Cependant la vitesse de déplacement des panaches reste faible.

Des **panaches secondaires** plus instables prennent naissance à l'endroit où les super panaches s'écrasent au niveau de la limite manteau inférieur/manteau supérieur. D'autres se forment à la limite lithosphère/asthénosphère.

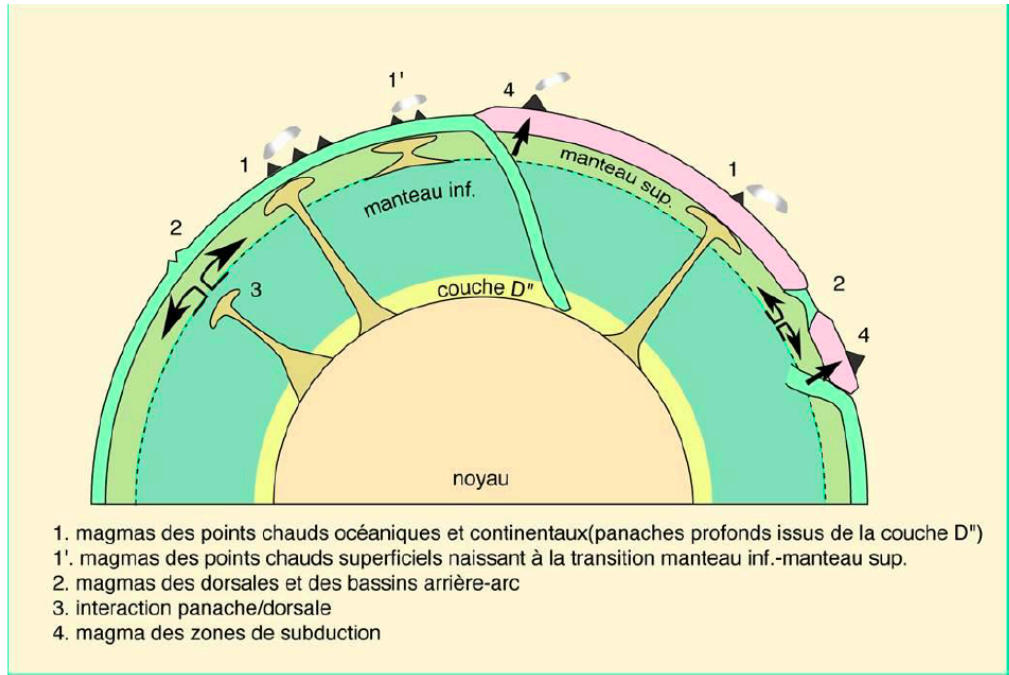


Coupe de la Terre selon le modèle de Courtillot et coll. (2003) montrant les panaches et les super-panaches.

V. Courtillot, A. Davaille, J. Besse and J. Stock, 2003. Three distinct types of hotspot in the Earth's mantle. Earth and Planetary Science Letters, 205, p. 295-308.

Sur cette coupe théorique de la Terre (sur laquelle seule la convection du manteau supérieur a été représentée), on peut situer les principaux types de panache :

- (1) origine à la couche D'',
- (1') origine à la limite entre manteau supérieur et inférieur,
- (2 + 3) interaction entre un panache et une dorsale.



- 1. magmas des points chauds océaniques et continentaux (panaches profonds issus de la couche D'')
- 1'. magmas des points chauds superficiels naissant à la transition manteau inf.-manteau sup.
- 2. magmas des dorsales et des bassins arrière-arc
- 3. interaction panache/dorsale
- 4. magma des zones de subduction

Pour décompter les points chauds profonds, V. Courtillot et coll. ont établi une liste de 5 critères appliquée à 49 points chauds candidats. Ces critères portent sur l'existence de trapps à l'impact, la présence d'une chaîne de volcans, un flux thermique élevé, des rapports isotopiques élevés en  $^4\text{He}/^3\text{He}$  et  $^{21}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$  (bons marqueurs du caractère primitif de la source), une zone à moindre vitesse des ondes S à la transition manteau supérieur/manteau inférieur. Les gagnants sont au nombre de 3 dans l'hémisphère Pacifique : **Hawaï, Ile de Pâques et Louisville** et de 4 dans l'hémisphère Indo-Atlantique : **Afars, Tristan da Cunha, Islande et La Réunion**.

## Qu'est ce qu'un point chaud ?

- Au sens « Hawaï » du terme, un point chaud est une **remontée convective ponctuelle, à l'état SOLIDE, d'un panache de manteau profond.**

En effet des anomalies thermiques dans le manteau inférieur ou à la base du manteau supérieur s'accompagnent d'anomalies de densité provoquant un mouvement d'ascension de la matière. Sous l'effet de la poussée d'Archimède, le manteau moins dense forme un panache mantellique (mantle plume) qui s'étale sous la lithosphère plus rigide.

La température à la base de la lithosphère est d'environ 1550°C au lieu de 1300°C.

La tête du panache **COMMENCE A FONDRE PAR DECOMPRESSION ADIABATIQUE VERS -100 A - 50 KM** générant la production d'un **MAGMA BASALTIQUE** qui stagne dans cette région. Dès que le volume est suffisant, il traverse la lithosphère et s'épanche en surface formant des volcans.

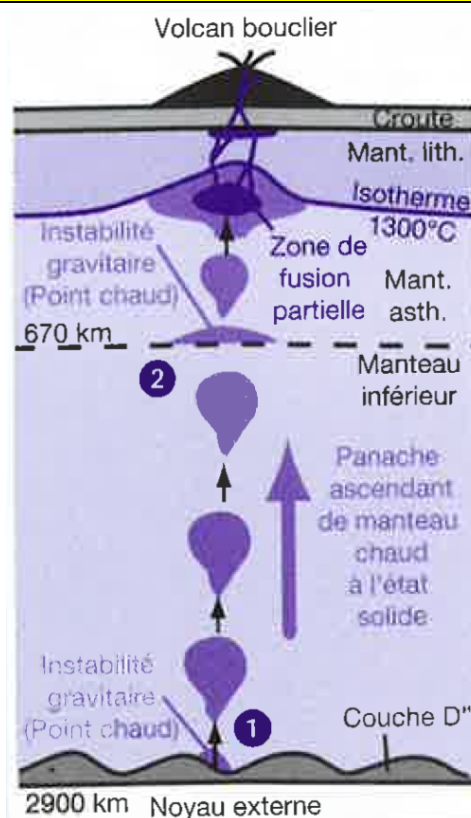
*Attention : erreur classique fait des **panaches** des venues de magmas. Il s'agit de **manteau SOLIDE**. La fusion partielle ne commençant pas avant 100Km de profondeur.*

- Les lieux de productivité magmatique sont intraplaques c'est à dire non installés en limite de plaques L'Islande fait exception en combinant la situation particulière de dorsale émergée et de point chaud.

- Quand un point chaud s'amorce, la montée du manteau chaud entraîne un **bombement de surface, qui s'accompagne de volcanisme, et qui peut s'accompagner ultérieurement de phénomènes d'extension et de sédimentation.**

- Le panache mantellique actif est déclenché par **une instabilité gravitaire (contraste de densité lié à un échauffement plus ou moins étendu) au niveau d'une zone de transition (1) frontière manteau inférieur – noyau ou (2) frontière manteau inférieur – manteau supérieur)**. Celui-ci remonte à l'état solide soit dans l'asthénosphère seule, soit dans l'ensemble du manteau convectif depuis la couche D'' Ainsi, le point chaud situé sous l'Islande semble s'ancrer à 2900 km au niveau de la couche D'' , tandis que d'autres semblent démarrer à la transition à 670 km.

### Schémas récapitulatifs des 2 types de points chauds selon la position de l'instabilité gravitaire



## Les marqueurs géologiques des points chauds

- Une anomalie thermique dans le manteau profond révélé par la tomographie sismique
- Un flux thermique élevé
- Une zone à moindre vitesse des ondes S à la transition manteau supérieur-manteau inférieur
- Un bombement du substratum
- Une extension avec graben, amincissement crustal et lithosphérique, avec éventuellement sédimentation
- La présence d'une chaîne de volcans
- L'existence de trapps à l'impact (grands épanchements basaltiques)
- **Généralement une série alcaline en domaine intraplaque. Les magmas alcalins sont assez pauvres, voire sous-saturés, en silice, donc à l'origine d'éruptions plutôt effusives et de volcans boucliers.**
- Fusion partielle par échauffement isobare ou décompression adiabatique (à grande profondeur donc à pression forte).

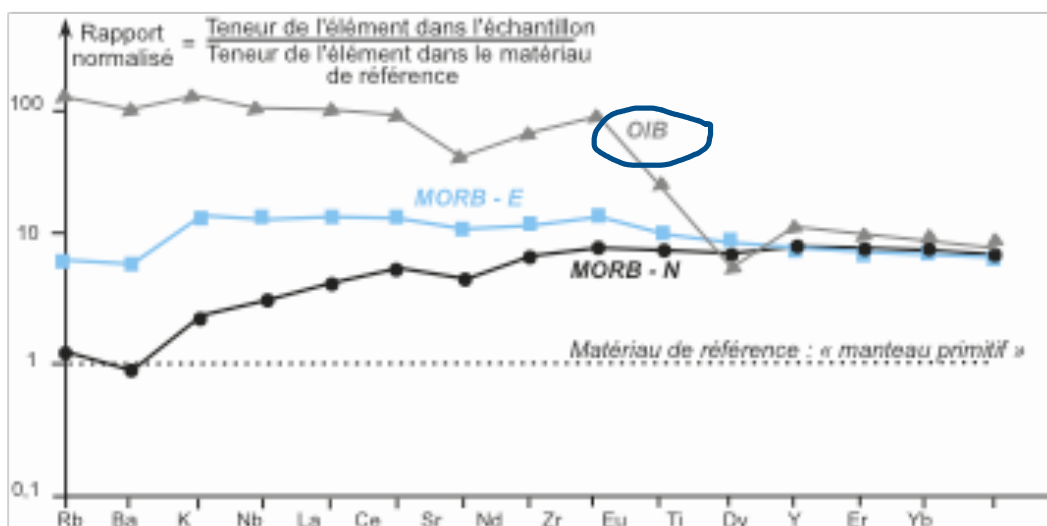
### Des roches magmatiques variées à l'affleurement

Un magmatisme **basaltique**, de chimie alcaline si la fusion partielle est faible (environ 5%) et profonde ou de chimie **tholéiitique** si la fusion partielle est plus poussée et moins profonde., Les roches les plus fréquemment observées y sont **des basaltes** ; cependant il est relativement fréquent d'observer **plusieurs types de basaltes dans un même contexte de point chaud** avec :

- des **basaltes alcalins**, basalte de composition chimique alcaline donc enrichie en éléments incompatibles (alcalins, terres rares légères), présentant des clinopyroxènes mieux exprimés que dans les MORB, notamment l'augite, et des plagioclases ; *Cf fiches comparaisons basaltes alcalins et tholéiitiques à la fin*
- des **basaltes tholéiitiques**, minéralogiquement assez voisins de ceux des dorsales si ce n'est souvent leur plus grande proportion de phénocristaux.

**Géochimiquement, ces OIB (Ocean Island Basalts) présentent en général une signature en éléments traces proche de celle des MORB-E soit un enrichissement en éléments traces fortement incompatibles .**

**Remarque :** Leur caractère « enrichi » est dû à la conjonction de 2 facteurs : tout d'abord le caractère « non appauvri » des péridotites dont les liquides qui les ont produits sont extraits, en second lieu le faible taux de fusion partielle subie par ces mêmes péridotites.



**Figure 5.2** Diagramme multi-élémentaire de basaltes de la croûte océanique.

La référence utilisée est le manteau primitif dont les caractéristiques sont, pour ces éléments, très proches de celles des chondrites ou de roches magmatiques archéennes (les komatiites) provenant de la fusion massive du manteau en raison d'un flux géothermique très supérieur à l'actuel à cette époque (taux de fusion moyen compris entre 60 et 70 %, à des températures voisines de 1 600 °C pour le sommet de l'asthénosphère).

- **Existence aussi des roches magmatiques témoignant de processus de différenciation.**

À la Réunion, par exemple au niveau du Piton des Neiges, des termes basaltiques sont surmontés à certains endroits de **niveaux trachytiques qui leur sont donc postérieurs : série magmatique, ici alcaline.**

- **Contamination crustale possible**

Enfin, au cours de leur remontée dans la lithosphère, les magmas peuvent être l'objet de contamination (surtout si la croûte est de nature continentale), mais aussi connaître quelques étapes de différenciation lors de séjours en chambres magmatiques.

### **SOURCE MANTELLIQUE TRÈS PROFONDE DONC ENRICHIE**

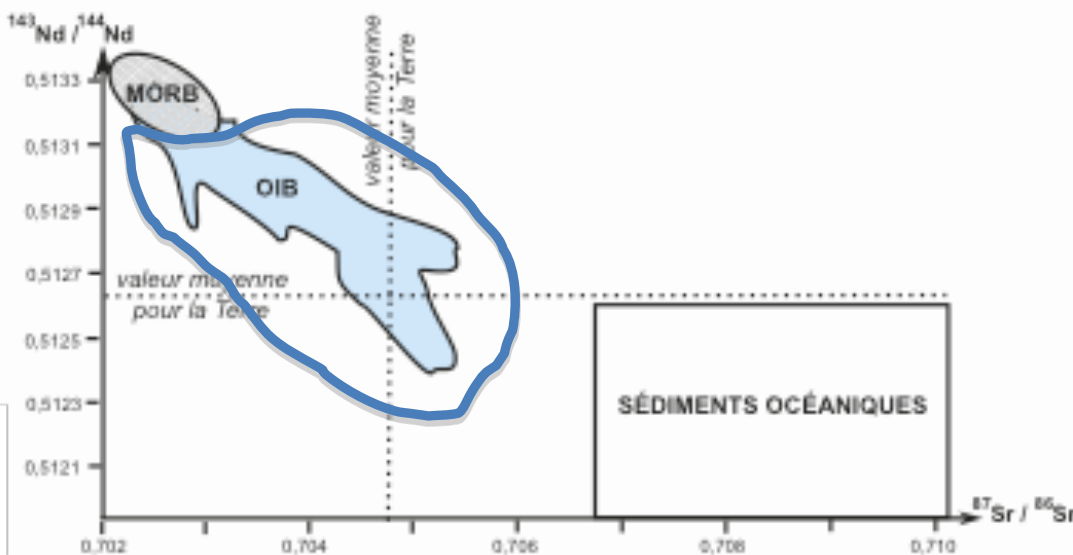
- **Laves essentiellement basaltiques qui attestent de l'origine mantellique.**

- **Teneur en alcalins relativement élevée** qui, d'après les expériences de fusion partielle au laboratoire, impose d'envisager la production mantellique de tels magmas sous des pressions de **1 500 à 3 000 MPa**, c'est-à-dire à des **profondeurs entre 50 et 100 kilomètres.**

Fusions bien plus profondes que celles envisagées pour les MORB et ce par le seul fait que la lithosphère qui bloque l'ascendance mantellique est ici beaucoup plus épaisse qu'à l'axe d'une dorsale.

- **Rapports isotopiques concernant le strontium et le néodyme montrent une hétérogénéité** sans commune mesure avec celle des magmas de type MORB extraits du sommet de l'asthénosphère.

Donc participation probable des couches plus profondes du manteau, base du manteau supérieur et manteau inférieur

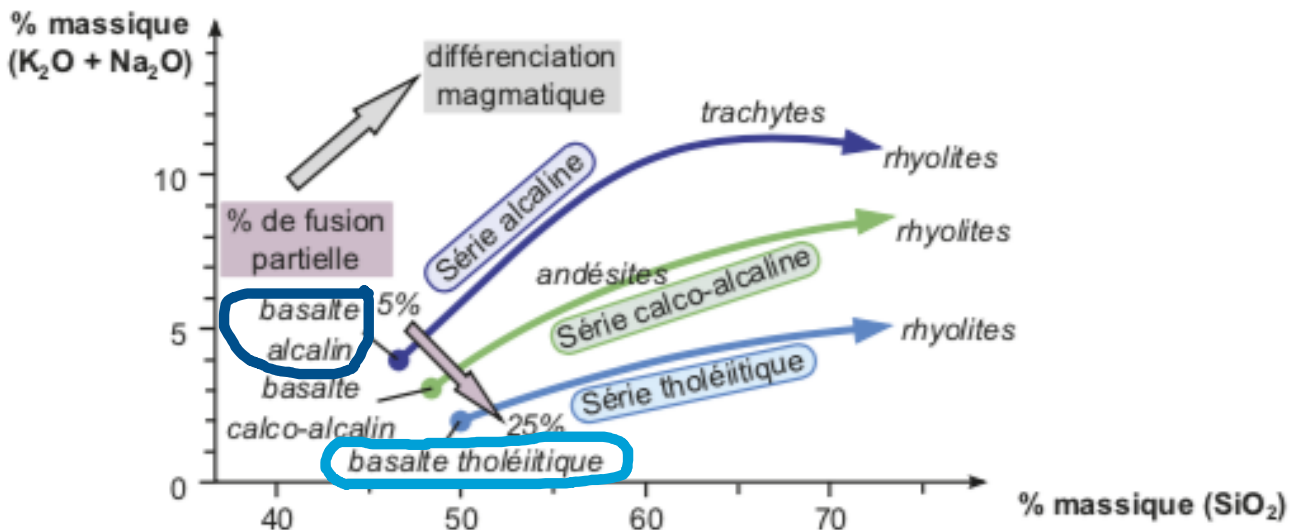


**Figure 5.1** Composition isotopique Sr – Nd des matériaux de la croûte océanique. Les MORB correspondent aux basaltes produits aux dorsales, les OIB aux basaltes des îles associées aux « points chauds ». Les sédiments ont quant à eux une signature isotopique qui est le reflet des matériaux des zones émergées qui en constituent la source essentielle, de nature continentale en général.

## BILAN

Pour les points chauds, on notera qu'ils génèrent aussi bien :

- des **basaltes alcalins** (cas "classiquement connu" mais pas exclusif)
- que des **basaltes tholéitiques** (volcans Mauna Loa et Kilauea à Hawaii, par exemple).



Des points chauds continentaux existent aussi (Yellowstone, Tibesti...) mais les laves émises dans un contexte continental peuvent aussi enregistrer des processus de contamination liés à la traversée de l'épaisse croûte continentale. C'est pourquoi l'étude des points chauds s'effectue principalement à partir des OIB dont les signatures géochimiques (isotopes, éléments traces) signent plus directement leur source mantellique.

### Un modèle géodynamique aux composantes locales fortes

Les données de tomographie sismique à l'aplomb des secteurs concernés permettent de contraindre localement tel ou tel modèle.

- Dans le cas du secteur central de l'**océan Pacifique**, ces données de tomographie sismique permettent d'envisager l'existence d'un **vaste panache montant depuis la couche D''** et susceptible de se ramifier en de multiples colonnes ascendantes voire d'en créer de nouvelles lors de la traversée de la frontière manteau inférieur - asthénosphère.
- Dans d'autres cas, comme en **Islande**, la tomographie sismique révèle un **ancrage du panache à la limite manteau inférieur - base de l'asthénosphère (-670 km)**. Cependant, au cours de cette remontée, le matériel profond peut toujours interagir avec les niveaux plus superficiels, s'accroître en volume et acquérir une signature géochimique plus particulière.

Le matériel du panache subit une fusion partielle avec un potentiel de production magmatique d'autant plus important qu'il se situe dans l'axe du panache. C'est ce qui peut expliquer que les laves d'un édifice volcanique à l'aplomb du panache ont souvent un caractère tholéitique lié à un taux de fusion élevé alors que les laves de volcans plus périphériques sont plutôt alcalines suite à un plus faible taux de fusion.

Cette dualité tient également à la vigueur du panache : un panache peu actif ne peut pénétrer profondément la base de la lithosphère d'où un faible taux de fusion ; un panache très actif est en revanche capable de réchauffer notablement la base de la lithosphère donc d'en réduire l'épaisseur (relèvement de l'isotherme 1 300°C) ce qui l'amène à fondre plus près de la surface soit avec un taux plus élevé.

**Évolution du magmatisme au cours du temps  
et du déplacement de la lithosphère à l'aplomb du point chaud**

