

Le rift Est-Africain: une fenêtre ouverte sur le manteau de la Terre

Angelika Kalt, Institut de Géologie, Université de Neuchâtel

Introduction: Le manteau terrestre et son importance

La croûte terrestre, fine pellicule entourant le globe, est bien connue des géologues car elle reste aisément accessible à l'homme. En revanche, le manteau de la Terre, qui représente un large volume inaccessible de notre planète, est bien moins connu. En effet, l'épaisseur de la croûte est de 6-7 km dans les domaines océaniques et peut atteindre environ 60 km dans les domaines continentaux. En revanche, le manteau, en dessous de la croûte, s'étend jusqu'à 2900 km de profondeur (Fig. 1).

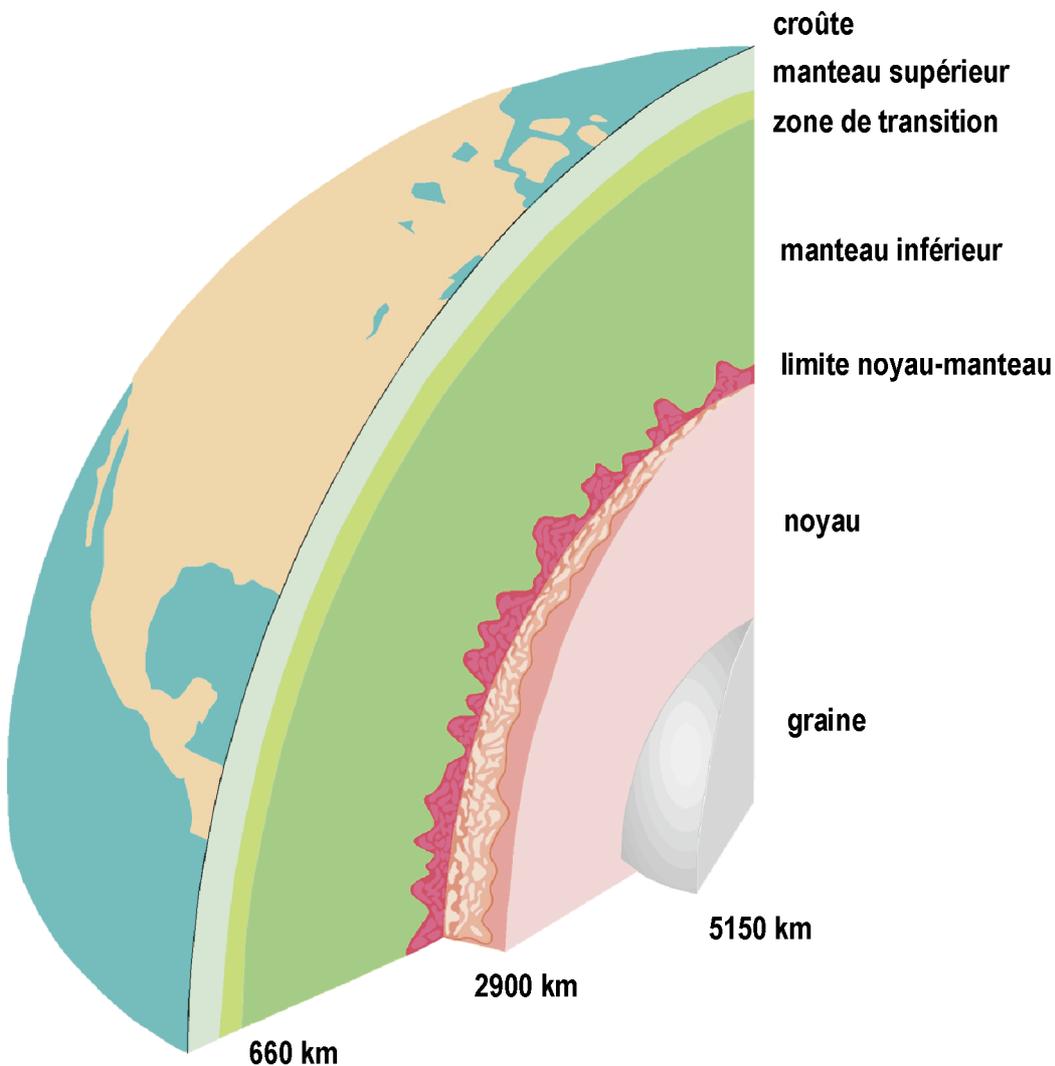


Fig. 1: Structure interne du globe terrestre

A première vue, on pourrait croire que les processus qui se déroulent à une telle profondeur n'aient pas de répercussion sur notre vie à la surface terrestre, mais ce n'est pas le cas. Le manteau, malgré son état solide, est en convection permanente et peut être comparé au mouvement de l'eau dans une casserole rechauffée par le bas. Ces cellules de convection mantelliques (Fig. 2) mettent en marche le processus principal qui crée la peau de notre planète: la tectonique de plaques. Cette dernière repartit la surface terrestre en océans et continents, hautes montagnes et bassins, et détermine ainsi les paysages habitables. La convection mantellique et la tectonique de plaques provoquent aussi du volcanisme (surtout aux marges des plaques), un phénomène global qui représente un risque pour l'homme mais qui lui sert en même temps dans sa vie économique (agriculture, construction, géothermie).

Comment donc étudier cette partie importante mais inaccessible du globe? Les sciences de la terre disposent de deux disciplines qui peuvent être employées dans ce but: la géophysique et la pétrologie. La géophysique enregistre les changements de vitesse et de direction des ondes sismiques qui sont provoquées par les tremblements de terre et qui traversent l'intérieur de notre globe. Ces changements ont lieu lorsque les ondes franchissent des discontinuités internes où les propriétés physiques sont modifiées, notamment la densité du matériel et son état d'agrégation, comme par exemple à la limite noyau-manteau. La géophysique nous transmet ainsi une image de la structure interne du globe, y compris du manteau (Fig. 1), sans déterminer la nature du matériel qu'y se trouve. Cette dernière question est abordée généralement par la pétrologie, discipline qui étudie les roches (petra = roche), et plus spécifiquement par la pétrologie du manteau qui se focalise, soit sur les roches du manteau même, soit sur les roches volcaniques primitives dont la source magmatique est le manteau. Les roches mantelliques sont formées en profondeur, mais dans certaines conditions peuvent être transportées à la surface terrestre.

La pétrologie: l'étude des roches formées en profondeur

La pétrologie étudie les roches et leurs constituants, les minéraux, dans le but de déterminer et de comprendre les processus géodynamiques à l'origine de leur formation en profondeur, ainsi que de quantifier les conditions physiques et chimiques qui y sont liées. Autrefois les pétrologues ne possédaient que des microscopes pour accomplir cette tâche. Depuis la deuxième moitié du 20^{ème} siècle, des appareils sophistiqués ont continuellement été développés, permettant l'analyse précise de la composition chimique et de la structure de très petites quantités de matériel, comme par exemple un minéral. La pétrologie est donc devenue une discipline plus 'chimique' et plus quantitative et ne se distingue plus nettement de la géochimie. C'est aussi depuis cette époque que la pétrologie expérimentale a beaucoup évolué, permettant aujourd'hui de simuler dans les laboratoires et à petite échelle, les conditions pression-température-matériel qui règnent dans la zone inaccessible de notre globe. Grâce à ce complément, nos connaissances sur le matériel à l'intérieur du globe ont beaucoup avancé. En outre, les résultats expérimentaux permettent aux géologues 'de terrain' de quantifier les conditions physiques et chimiques de formation des roches provenant des profondeurs, mais retrouvées aujourd'hui à la surface, et de déterminer ainsi le lieu et le processus de leur genèse.

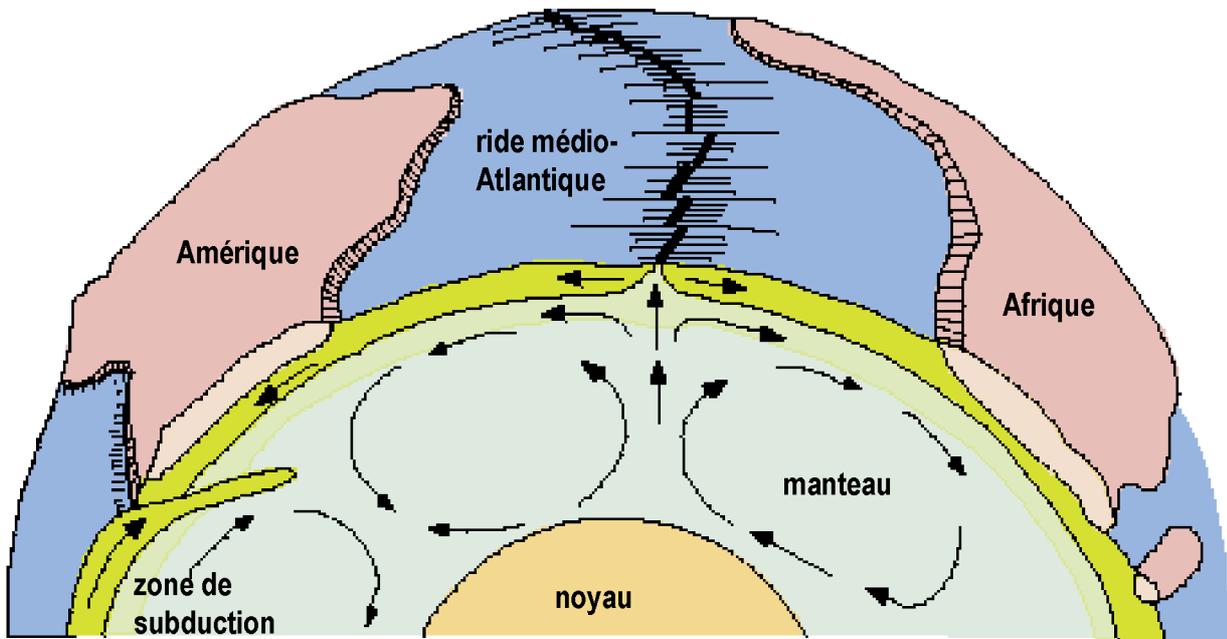


Fig. 2a: Cellules de convection et tectonique de plaques

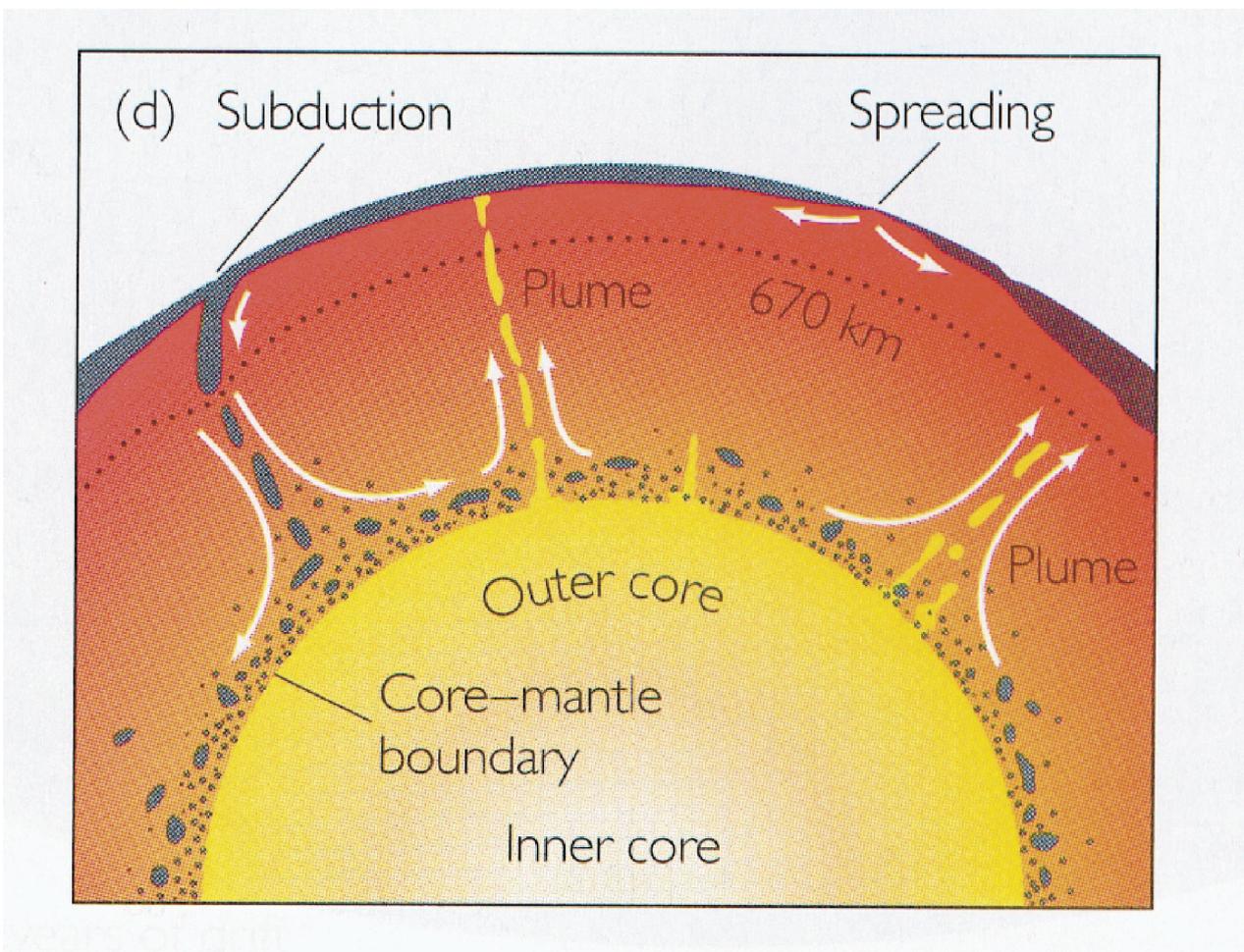


Fig. 2b: Panaches mantelliques (plumes) et subduction profonde

La dynamique du manteau terrestre

En ce qui concerne le manteau terrestre, la complémentarité de la géophysique, de la géochimie et de la pétrologie nous a menés à un modèle de sa structure (Fig. 1), composition et de sa dynamique interne (Fig. 2), tout en essayant d'expliquer les phénomènes de surface qui y sont liés. Ce modèle semble complet et concluant, mais il reste très controversé au niveau de plusieurs aspects majeurs. Il est généralement reconnu que la remontée de matériel mantellique dans les cellules de convection conduit à la création de nouvelles plaques océaniques (Fig. 2a) par la fusion partielle et par l'extrusion de volumes importants de magma, par exemple au niveau de la ride médio-Atlantique. Il est également reconnu que les zones de subduction, où les plaques plongent dans le manteau (Fig. 2a), sont situées au-dessus des parties descendantes des cellules de convection. Toutefois il reste la question de savoir s'il s'agit d'un système de convection simple ou de deux systèmes séparés (manteau supérieur et manteau inférieur), la zone de transition représentant une barrière de densité.

La communauté géologique reconnaît également qu'un système dynamique plus large, moins régulier et peu prévisible existe dans le manteau. D'un côté, les observations géophysiques mettent en évidence, que dans les zones de subduction, les plaques descendantes peuvent plonger jusque dans le manteau inférieur en traversant la zone de transition. D'un autre côté, les données géochimiques et les modélisations géophysiques indiquent la remontée de matériel mantellique profond et anormalement chaud (les panaches mantelliques ou plumes, Fig. 2b). Cependant, le débat reste ouvert sur par exemple deux points : dans quelle mesure ces panaches provoquent-ils le magmatisme intra-plaque dans les domaines océaniques et continentaux, et de quelle profondeur provient-ils (limite noyau-manteau ou zone de transition?).

Les rifts continentaux

Les rifts continentaux sont de grandes structures d'extension allongées (Fig. 3) qui recoupent la lithosphère terrestre, c'est-à-dire la croûte et une partie du manteau supérieur (Fig. 1). Lors du processus de 'rifting', la lithosphère est amincie et l'asthénosphère (Fig. 1), qui est plus chaude et plus souple, monte et prend sa place. Une fois la lithosphère séparée en deux parties, le rift passe d'un stade continental à un stade océanique, comme par exemple la mer Rouge actuelle, et peut par la suite devenir un océan (par exemple l'océan Atlantique). D'autres rifts sont encore au stade continental, mais s'ouvrent progressivement, par exemple le rift Est-Africain. D'autres encore ont cessé leur extension (les fossés du Rhin et du Limagne).

Reste une question fondamentale et débattue : pourquoi un rift se forme-t-il à un certain endroit sur le globe et par quel processus ? Généralement, deux mécanismes peuvent être distingués: le rifting passif et le rifting actif. Le modèle du rifting passif se fonde sur la tectonique de plaques. Pour chaque plaque continentale de notre globe, on peut calculer si elle se trouve en régime compressif ou extensif en considérant toutes les forces externes appliquées aux marges de cette plaque par les plaques adjacentes. Si le régime global est extensif, il est compréhensible que des structures d'extension (des rifts) puissent se former à l'intérieur du continent concerné, préférentiellement dans des zones mécaniquement affaiblies. Le modèle du rifting actif s'applique surtout aux plaques sous stress compressif et place les panaches mantelliques à l'origine des rifts. La remontée de matériel mantellique profond, anormalement chaud, réchauffe la lithosphère et la transforme ainsi en asthénosphère. Comme la lithosphère est amincie, elle s'étend en raison de la compensation isostatique. Le résultat final est donc le même que pour le rifting passif et un rift peut passer d'un stade actif à un stade passif ou vice-versa.

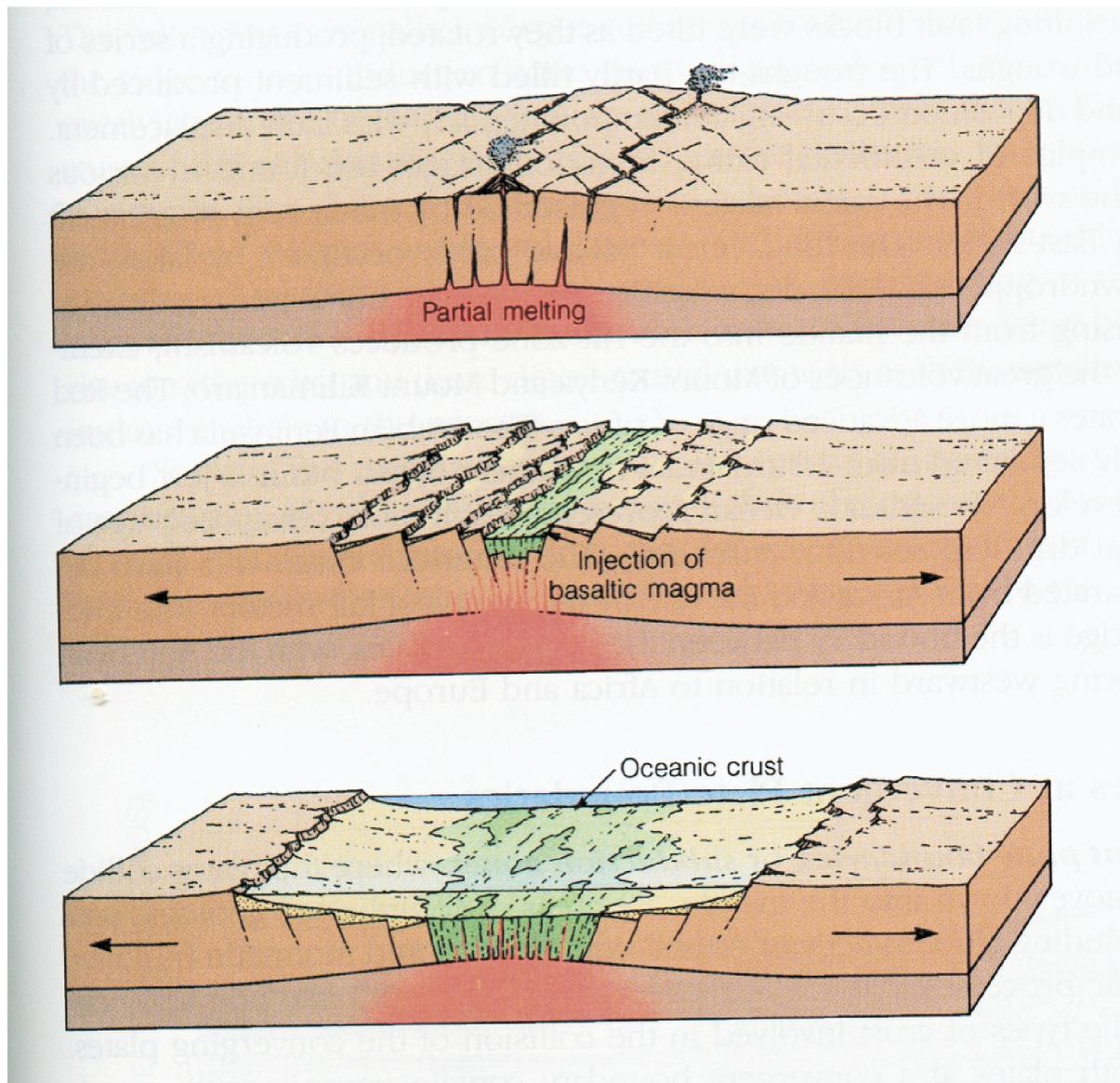


Fig. 3: Formation d'un rift

Lors de leur genèse, les rifts sont caractérisés par un volcanisme actif, expression de la présence de matériel mantellique chaud à faible profondeur. Celui-ci fond partiellement en produisant des magmas qui montent vers la surface. Un problème scientifique principal dans ce contexte, et que les pétrologues essaient de résoudre, est celui de la provenance précise de ces magmas: Sont-ils formés dans l'asthénosphère, dans la lithosphère, dans un panache mantellique ou ont-ils des sources diverses? Les roches volcaniques primitives, c'est-à-dire celles qui représentent des magmas peu changés lors de l'ascension vers la surface, ont enregistré les empreintes chimiques et isotopiques de leur(s) source(s) mantellique(s). En analysant et interprétant leurs compositions minéralogiques, chimiques et isotopiques, les pétrologues / géochimistes arrivent à éclaircir le problème des sources du volcanisme.

Le fait que sous les rifts se trouvent un manteau chaud et peu profond, ainsi qu'une lithosphère mince, ouvre encore une autre possibilité de recherche pétrologique sur le manteau. En raison de l'épaisseur réduite de la lithosphère, les magmas peuvent la traverser relativement vite lors de leur ascension. Ceci leur permet de transporter des fragments lithosphériques (appelés xénolithes) à la surface, dont une partie provient du manteau (Fig. 4). Plus rarement, des xénolithes asthénosphériques arrivent à la surface. Les pétrologues s'intéressent au décryptage du message minéralogique, chimique, et isotopique contenu dans les xénolithes du manteau. Ces messages contiennent de précieuses informations sur la structure thermique et chimique du manteau situé sous le rift.

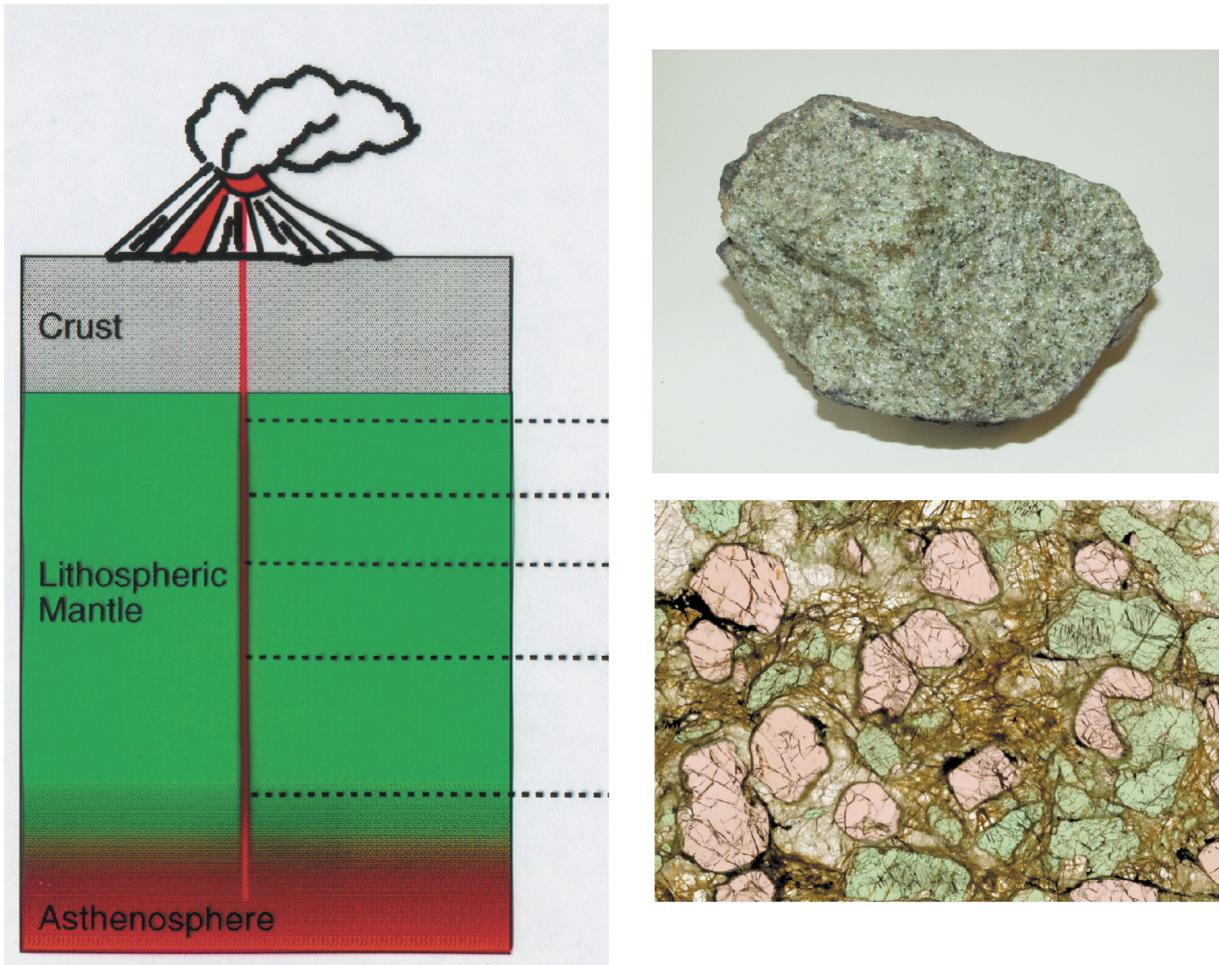


Fig.4: Volcan, remontée de magma, et xénolithes (échantillon et lame mince)

Le rift Est-Africain

Le rift Est-Africain est l'un des plus larges et des plus étudiés rifts actifs du monde. Il s'étend de la mer Rouge au nord jusqu'au Mozambique au sud (Fig. 5) et peut être séparé en différentes branches. Sa partie nord-centrale, notamment le rift kenyan, est abordé plus en détail dans cette présentation. Son ouverture a commencé il y a environ 50 millions d'années au nord dans la partie Afar / rift éthiopien et s'est poursuivie ensuite vers le sud dans les secteurs kenyan et Albert. Actuellement, l'ouverture / l'extension débute dans les parties sud des branches kenyanne et Albert. Cette ouverture du nord au sud se traduit également par du volcanisme. Les roches volcaniques les plus anciennes se trouvent dans le rift éthiopien, celui-ci ne présentant plus de volcanisme actif aujourd'hui. En revanche, les parties sud des branches kenyanne et Albert montrent du volcanisme actif ou récent, et leurs roches volcaniques les plus anciennes se sont formées il y a environ 2 millions d'années. Les données géophysiques indiquent que la phase de rifting est principalement due à un ou plusieurs panaches mantelliques. Cette interprétation est soutenue par le fait que le continent africain est globalement sous stress compressif et qu'il n'y a donc pas de raison pour l'ouverture d'un rift de ce côté.

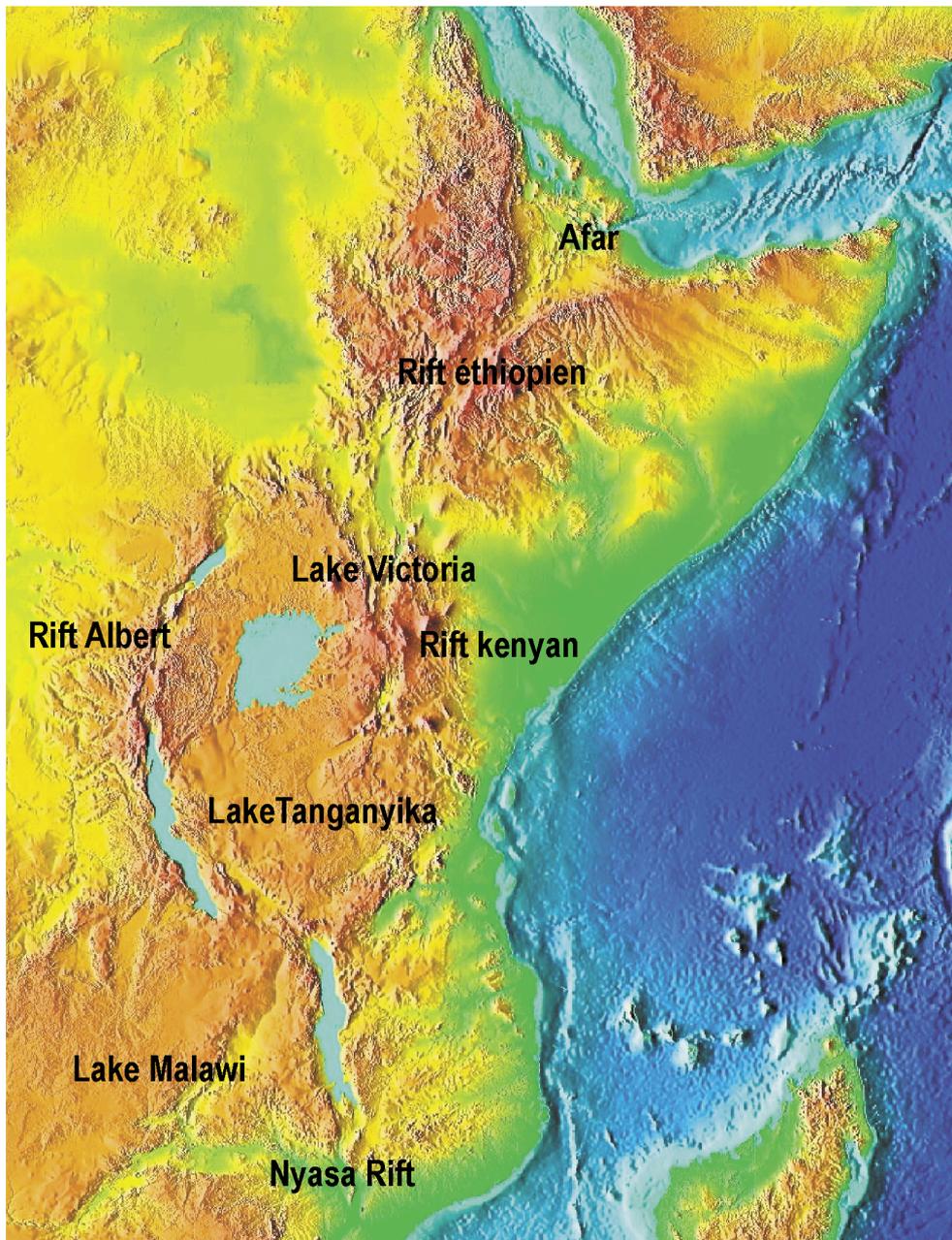


Fig. 5: le rift Est-Africain

L'étude des roches volcaniques du rift kenyan

L'étude s'est concentrée sur les roches volcaniques primitives et relativement jeunes dans le but d'obtenir des informations sur le manteau actuel en dessous du rift. Celles-ci n'affleurent que sur l'épaulement oriental et forment plusieurs champs volcaniques indépendants le long de l'axe du rift kenyan. Les compositions en éléments majeurs et en traces des laves primitives de ces champs volcaniques indiquent que, pour chaque champs volcanique, la source mantellique a changé de profondeur avec le temps. Les compositions isotopiques (Sr, Nd, Pb) suggèrent la présence de magmas issus de différentes sources mantelliennes de compositions distinctes : le manteau lithosphérique sous-continentale hétérogène et l'asthénosphère. Une source associée aux panaches mantelliennes ne peut être identifiée sans ambiguïté.

L'étude des xénolithes mantelliques du rift kenyan

Les xénolithes ne sont transportés à la surface que par des magmas primitifs. On les trouve donc dans plusieurs champs volcaniques qui ont été échantillonnés pour l'étude des roches volcaniques, situés le long l'axe du rift sur l'épaulement oriental. L'étude minéralogique des xénolithes permet de calculer la profondeur (c'est-à-dire la pression) à partir de laquelle ils ont été prélevés, ainsi que la température qui y règne. Les résultats indiquent que la lithosphère du rift kenyan a été amincie lors du rifting dans sa partie septentrionale mais reste très épaisse dans sa partie méridionale. Les compositions minéralogiques et chimiques des xénolithes provenant de la partie méridionale indiquent que le manteau lithosphérique et la croûte situés sous les épaulements du rift sont relativement anciens et n'ont été que très faiblement modifiés, voire inchangés, par le panache. Par contre, les compositions minéralogiques et chimiques de beaucoup de xénolithes de la partie septentrionale ont enregistré une infiltration de magma relativement jeune, liée au magmatisme ayant produit les laves hôtes. Les empreintes géochimiques de cette infiltration ne peuvent pas être attribuées à un panache mantellique avec certitude.

Conclusions

L'idée générale que l'on peut retenir de ces résultats pétrologiques obtenus à partir des roches volcaniques et des xénolithes du manteau du rift kenyan consiste en le fait que le(s) panache(s) mantellique(s) constituent probablement une source de chaleur pour l'activité magmatique, mais qu'en revanche les empreintes géochimiques sur le manteau lithosphérique restent peu prononcées, jusqu'à preuve du contraire. L'exemple présenté montre dans une optique plus générale la façon dont sont conduites les recherches en pétrologie, souvent à l'échelle du minéral, voire sub-minérale, et au moyen de techniques modernes et performantes d'analyse *in situ*. Toutes ces techniques constituent un outil fondamental pour la compréhension et la quantification des processus géodynamiques à petite échelle de notre planète.