

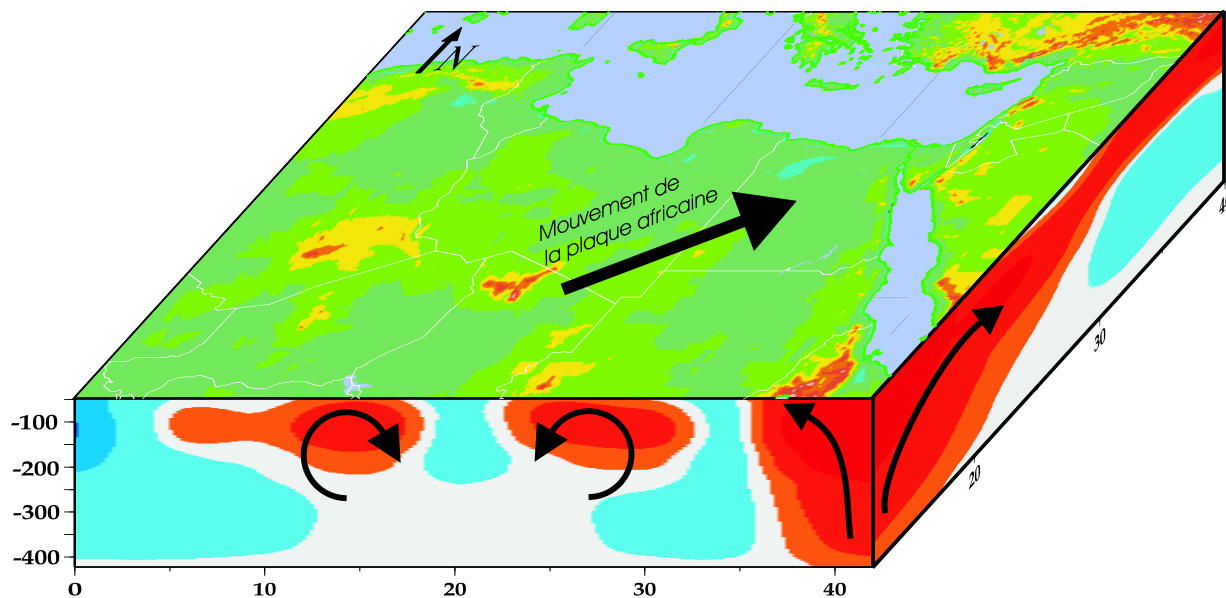


INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE DE PARIS
Laboratoire de sismologie globale

Deborah SICILIA

Tomographie anisotrope du manteau supérieur sous la Corne de l'Afrique:

Implications géodynamiques du point chaud de l'Afar



Thèse présentée en Mars 2003

INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE DE PARIS

Département de Sismologie, UMR CNRS 7580

Laboratoire de Sismologie Globale

Mars 2003

THÈSE

pour l'obtention du diplôme de

DOCTEUR EN GÉOPHYSIQUE

SPÉCIALITÉ : Géophysique Interne

présentée par

Deborah SICILIA

le lundi 17 Mars 2003, à 10 h, en salle bleue.

**Tomographie anisotrope du manteau supérieur sous la
Corne de l'Afrique:**

Implications géodynamiques du point chaud de l'Afar

Thèse soutenue publiquement devant le jury composé de:

M. Claude JAUPART Président du Jury
M. Michel CARA Rapporteur
M. Pierre-Yves GILLOT Rapporteur
M. Jeannot TRAMPERT Examineur
M. Jean-Paul MONTAGNER Directeur de Thèse

I.P.G.P., Tour 24, 4^e étage, 4 place Jussieu, 75252 PARIS CEDEX 05, FRANCE.

Tél: (+33) 1.44.27.48.96 Fax: (+33) 1.44.27.38.94

"Savoir que l'on sait ce que l'on sait et savoir que l'on ne sait pas ce que l'on ne sait pas, voilà la véritable Science."

Confucius

Table des matières

Introduction	7
1 L’Afar, paradis des géologues	11
1.1 Contexte géodynamique	11
1.2 Les Points chauds	19
1.2.1 Définition du terme “Point Chaud”	19
1.2.2 Evidence de l’existence des points chauds	23
1.2.3 Hypothèses sur la structure des panaches mantelliques	26
1.3 Projet “Corne de l’Afrique”: Pourquoi et comment?	29
1.3.1 Un point triple unique au monde	29
1.3.2 Le degré 2	29
1.3.3 Déploiement d’un réseau temporaire	32
2 Théorie et Méthodologie	35
2.1 Généralités	35
2.1.1 Ondes de surface	35
2.1.2 Anisotropie sismique	39
2.2 Calcul de la vitesse de phase	44
2.2.1 Sismogrammes synthétiques	44
2.2.2 Algorithme des “Montagnes russes”	50
2.3 Procédure tomographique	56
2.3.1 Introduction à la tomographie	56
2.3.2 Régionalisation	59
2.3.3 Inversion en profondeur	65
2.4 Origine des données	68
2.4.1 Les stations temporaires	70
2.4.2 Sélection des données	72
3 Modèles 2D de la région	77
3.1 Tests de résolution	77
3.1.1 Influence de la couverture des trajets	77
3.1.2 Influence de l’anisotropie sur un modèle isotrope	81
3.2 Choix d’une longueur de corrélation L_{cor}	81

3.3	Cartes de vitesses de phase	83
3.4	Cartes d'anisotropie	85
3.5	Comparaisons avec différents modèles	91
3.5.1	A partir du même jeu de données	91
3.5.2	A partir d'études antérieures	93
3.6	Calcul de vitesses de phase interstations	96
3.6.1	La méthode de calcul	96
3.6.2	Vitesses de phases pour des segments interstations	97
3.6.3	Comparaison avec les résultats de régionalisation	101
3.6.4	Confrontation avec des études antérieures d'interstations	101
3.7	Cartes de vitesses de phase des premiers modes des ondes de Rayleigh	102
4	Structure 3D de la Corne de l'Afrique	107
4.1	Test synthétique	107
4.2	Anomalies de vitesse et d'anisotropie en profondeur	108
4.2.1	Perturbations de vitesse des ondes S_V	109
4.2.2	Anisotropie azimutale	110
4.2.3	Anisotropie radiale	114
4.3	Comparaison des modèles de vitesses d'ondes S_V	114
4.4	Sections à travers le modèle 3D	116
4.5	L'anisotropie, un douloureux problème...	121
4.5.1	Influence des modes harmoniques sur les ondes de Love	121
4.5.2	Influence de l'inégalité des trajets sur ξ	127
4.5.3	Lien entre courants de convection et anisotropie	131
4.6	Comparaison avec des études d'ondes de volume	133
4.6.1	Les ondes SKS	133
4.6.2	Les ondes converties ou <i>receiver functions</i>	136
4.7	Interprétation géodynamique	137
4.7.1	L'Ouest de l'Afrique: Résultat d'une edge-driven convection?	137
4.7.2	Arguments pétrographiques et géochimiques	141
4.7.3	Un lien avec l'histoire?	143
	Conclusion et Perspectives	145
	A Echelle géologique	149
	B Inventaire des stations sismologiques	151
	Références Bibliographiques	153

Introduction

Cela fait maintenant plusieurs siècles que l'homme plonge vers la connaissance de la Terre, noyée depuis 4.5 milliards d'années dans un océan d'astres et de poussières. La complexité de cette minuscule tête d'épingle rend ce périple d'autant plus énigmatique pour les scientifiques toujours à la recherche de la moindre découverte qui leur permettrait de progresser dans leur passionnante quête terrestre. Parmi toutes les avancées subsistent encore nombre de questions. Nous ne sommes effectivement pas encore au seuil de prédire les tremblements de terre, cependant c'est à travers cette méconnaissance que la science puise son intérêt. A l'heure où il est déjà question de voyages touristiques dans l'espace, les sciences de la terre perdraient de leur intérêt si le "*Voyage au centre de la Terre*" était lui aussi d'actualité.

Cette science pluridisciplinaire a pour but de comprendre non seulement les phénomènes naturels agissant en surface et interprétables alors par observations de terrain, mais également ceux qui se produisent dans les entrailles de la Terre. Ceux-ci nécessitent par contre des moyens que seule la sismologie peut nous prêter. En effet, en l'absence de carte de l'intérieur de la Terre, seules les ondes sismiques provoquées par les tremblements de terre sont invitées à atteindre le cœur de la planète et à nous en donner une image qui se rapproche au mieux de la réalité. A travers la tomographie, la sismologie est ainsi l'une des rares disciplines qui puisse nous fournir des informations sur la structure profonde du globe. Les ondes de volume, capables de traverser le noyau terrestre, nous renseignent sur tous les niveaux de profondeur mais n'échantillonnent que le chemin parcourant le rai de la station à l'épicentre, alors que les ondes de surface, outil principal de cette thèse, ont l'avantage de fournir des indications sur un segment nettement plus épais. Ceci présente par ailleurs l'atout d'une bonne couverture des océans malgré le manque de stations en mer. Néanmoins et de par leur définition, leur limite de résolution ne dépasse pas la zone de transition entre manteau supérieur et manteau inférieur. A noter que ce sont les principales initiatrices des dommages causés à la surface de la terre par des séismes résultant du mouvement des plaques tectoniques. Cette mobilité est elle-même engendrée par des cellules de convection dans le manteau. Le refroidissement de la Terre dégage en effet de la chaleur dont l'énergie thermique est responsable de la dynamique planétaire. Des remontées ponctuelles de magma appelées "*points chauds*" prennent place en certains endroits de la Terre, souvent océaniques bien que quelques fois continentaux comme c'est le cas pour le point chaud de l'Afar. Ce dernier, situé à l'intersection de trois frontières de plaques, est considéré comme le lieu de prédilection pour étudier le phénomène interactif entre les points chauds et la lithosphère. Afin de surveiller de façon assidue le comportement de la plus jeune région émergée au monde, les scientifiques ont la chance de pouvoir disposer de l'observatoire

géophysique d'Arta (IPGP/ISERST) situé en République de Djibouti dans la dépression de l'Afar. Cet observatoire fut établi en 1976, neuf ans après qu'Haroun Tazieff ait dirigé la première expédition scientifique de l'Erta Alé (Ethiopie), un des rares volcans actifs à posséder un lac de lave en fusion. Dès lors, de nombreuses investigations ont succédé à celle de l'éminent volcanologue. Cette thèse entre justement dans le cadre d'un projet mené par l'INSU (Institut National des Sciences de l'Univers) sous le nom de "Corne de l'Afrique" dont le thème "Panaches" fut animé par I. Manighetti. L'objectif consiste à fournir une image de la structure tri-dimensionnelle du point chaud et d'en définir son origine ainsi que sa profondeur, autrement dit, de déterminer son rôle géodynamique. Le point fort de ce chantier repose sur le côté désertique de la région et par conséquent ses facilités d'accès aux observations géologiques, tandis que son handicap relève du plan politique et de la sécurité qui s'y rattache. L'installation de stations temporaires n'a d'ailleurs malheureusement pas toujours été à la hauteur des espérances escomptées.

L'Afrique est un continent géologiquement intéressant. A travers sa théorie de dérive des continents, A. Wegener révolutionna déjà la science grâce à la similarité entre la bordure occidentale de cette plaque et la bordure orientale de l'Amérique du Sud. De nombreux scientifiques se sont attardés à entreprendre des études tomographiques du continent, mais aucune d'entre elles ne s'était encore réellement consacrée à cette région limitée qu'est la Corne de l'Afrique. L'apport essentiel de cette thèse provient de sa présentation de modèles d'anisotropie, capables de répondre aux questions de flux de matière dans le manteau supérieur.

Cette thèse est divisée en quatre chapitres:

- Le premier chapitre servira de partie introductive à notre travail. Nous relaterons tout d'abord brièvement l'histoire géologique de la région à laquelle nous avons consacré cette étude, à savoir la Corne de l'Afrique. L'intérêt étant principalement dédié au point chaud de l'Afar, nous nous attarderons d'abord sur la définition de ce terme ainsi que sur la vision que l'on a d'un panache mantellique, avant de présenter les motivations d'un tel choix géographique.
- Le second chapitre sera quant à lui consacré à la partie théorique et méthodologique. Nous présenterons les outils utilisés pour l'élaboration des modèles; la dispersion des ondes de surface et l'anisotropie sont deux concepts fondamentaux en sismologie. Nous rappellerons les principes connus du calcul de sismogrammes synthétiques et exposerons une nouvelle méthode utilisée pour le calcul de la vitesse de phase. L'aspect théorique bien connu aujourd'hui de la procédure tomographique est présenté. Finalement, nous discuterons de l'origine et de la sélection des données.
- Le troisième chapitre sera destiné aux résultats de régionalisation du mode fondamental des ondes de Rayleigh et de Love. Des modèles de perturbations de vitesse et les distributions des directions d'axe rapide d'anisotropie seront comparés à des études antérieures. L'amplitude des anomalies de vitesse sous le point chaud de l'Afar sera vérifiée à l'aide de calculs interstations. Quelques cartes de vitesses

de phase des premiers harmoniques des ondes de Rayleigh figureront à la fin du chapitre.

- Le quatrième chapitre traitera de la structure 3D de la région étudiée. L'inversion simultanée des ondes de Love et Rayleigh nous livre les perturbations de vitesses d'ondes S_V et d'anisotropie azimutale et radiale. Des coupes à travers différents profils de la région seront illustrées afin de déterminer au mieux la structure sismique sous la Corne de l'Afrique. Les résultats d'anisotropie seront confrontés à des études d'ondes SKS et certains points problématiques seront discutés. Nos modèles nous conduiront à émettre quelques suggestions d'interprétation géodynamique.

