

ANNUAIRE du **COLLÈGE DE FRANCE** 2016 - 2017

Résumé des cours et travaux

117^e
année



COLLÈGE
DE FRANCE
— 1530 —

PHYSIQUE DE L'INTÉRIEUR DE LA TERRE

Barbara ROMANOWICZ

Membre de l'Institut (Académie des sciences),
professeure au Collège de France

Mots-clés : physique, Terre, tectonique des plaques, sismologie

La série de cours « Anisotropie sismique et écoulement dans le manteau terrestre » est disponible, en audio et/ou en vidéo, sur le site internet du Collège de France (<https://www.college-de-france.fr/site/barbara-romanowicz/course-2016-2017.htm>) ainsi que le colloque « Flow in the Deep Earth » (<https://www.college-de-france.fr/site/barbara-romanowicz/symposium-2016-2017.htm>).

ENSEIGNEMENT

COURS – ANISOTROPIE SISMIQUE ET ÉCOULEMENT DANS LE MANTEAU TERRESTRE

On trouve de l'anisotropie sismique dans différentes parties de la croûte et du manteau terrestre. Celle-ci se manifeste par des vitesses de propagation des ondes élastiques qui dépendent de leur polarisation et/ou de leur direction de propagation. La présence d'anisotropie dans la croûte est connue depuis le XIX^e siècle et due en partie à un alignement préférentiel des cristaux anisotropes des roches, et en partie à la distribution non uniforme de fractures et de pores. Dans le manteau supérieur, cette anisotropie est en majorité attribuée à l'alignement préférentiel des cristaux intrinsèquement anisotropes de l'olivine, le constituant majeur dans cette région de la Terre, au cours de la déformation à grande échelle associée à l'écoulement convectif lent qui y a lieu. Alors que le manteau inférieur est en majorité isotrope, la région D", qui représente les derniers 200-300 km à la base du manteau, présente une anisotropie forte, détectée à la fin des années 1980 par l'observation de biréfringence des ondes de cisaillement qui la traversent.

L'objectif de ce cours était de faire le point sur nos connaissances actuelles concernant l'anisotropie intrinsèque (microscopique) des cristaux des roches à différentes profondeurs du manteau, et l'anisotropie sismique macroscopique observée dans les enregistrements à la surface de la Terre, ainsi que sur la relation entre ces deux phénomènes, aux échelles spatiales très différentes.

Cours 1 – Introduction

Ce cours comprend une introduction générale, rappelant l'existence de la tectonique des plaques et de la convection mantellique sous-jacente, et illustrant les différents types de déformation de la croûte et de la lithosphère associés à la dynamique interne et observés à la surface de la Terre, principalement aux limites des plaques. Nous rappelons ensuite les différents types de déformation : élastique, plastique et cassante et formulons les relations entre les contraintes et les déformations correspondantes, et dans le cas de la déformation plastique, les lois de fluage. Nous introduisons les outils de la sismologie globale permettant d'observer et de mesurer l'anisotropie sismique à l'échelle macroscopique, puis nous introduisons les constituants principaux des roches du manteau en fonction de la profondeur. Enfin, nous introduisons les différentes échelles auxquelles nous allons examiner l'anisotropie élastique : à l'échelle du cristal, de la roche, et celle des observations géophysiques.

Cours 2 – Le manteau supérieur 1

Dans ce cours, nous introduisons les différentes sources d'anisotropie à l'échelle du cristal et de la roche, contribuant aux observations macroscopiques, puis les notions de bases de l'élasticité et de propagation des ondes sismiques dans un milieu anisotrope. Nous décrivons les propriétés de déformation de l'olivine.

Cours 3 – Le manteau supérieur 2

Ce cours est consacré aux différentes observations d'anisotropie sismique dans le manteau supérieur et leur interprétation dynamique :

- 1) tomographie sismique globale décrivant les résultats récents sur la distribution d'anisotropie de polarisation et d'anisotropie azimutale ;
- 2) observation de biréfringence des ondes SKS (ondes de cisaillement qui traversent le noyau liquide sous forme d'ondes de compression et sont sensibles à l'anisotropie dans le manteau supérieur du côté de la station d'observation), complémentées par les mesures sur d'autres ondes sismiques intervenant dans l'étude de la dynamique des zones de subduction.

Cours 4 – Le manteau supérieur (fin)

Dans ce cours, nous continuons la synthèse des observations d'anisotropie sismique dans les zones de subduction, puis nous passons aux expériences de laboratoire sur la déformation de l'olivine et son comportement anisotrope suivant différents facteurs, en particulier le degré d'hydratation de la roche. Nous introduisons à nouveau les lois de fluage et les mécanismes microscopiques contrastés de glissement selon que l'on se trouve en mode de diffusion et de dislocation, ce dernier étant le seul donnant lieu à de l'anisotropie macroscopique à un niveau significatif.

Cours 5 – La zone de transition et manteau inférieur 1

Ce cours est consacré à l'anisotropie dans la zone de transition du manteau supérieur (la région située entre 400 et 660 km de profondeur) : nous y donnons un aperçu de nos connaissances sur les propriétés intrinsèques des minéraux présents à cette profondeur (principalement les formes de haute pression de l'olivine : wadsleyite et ringwoodite), ainsi que les quelques études, actuellement controversées, qui proposent la présence d'anisotropie sismique dans cette partie du manteau. Nous y abordons également la minéralogie du manteau inférieur, l'absence notable d'anisotropie jusque dans la région D'', et pour finir, décrivons les méthodes sismiques actuelles qui donnent accès à l'observation et l'étude de l'anisotropie à la base du manteau et y démontrent sa présence.

Cours 6 – La zone de transition et manteau inférieur 2

Ce dernier cours résume les observations sismiques d'anisotropie radiale dans la région D'' au niveau global, montrant une corrélation entre les régions où celle-ci est présente et les zones de vitesse de cisaillement supérieures à la moyenne (interprétées comme représentant le cimetière des plaques tectoniques), suggérant la présence de post-pérovskite de magnésium (pPv, forme de haute pression de la pérovskite), dont les cristaux sont plus anisotropes que ceux de la pérovskite. On note également plusieurs études récentes qui semblent indiquer la présence d'anisotropie azimutale aux frontières entre ces régions et les deux zones de vitesse de cisaillement inférieures à la moyenne, situées aux antipodes l'une de l'autre, l'une sous l'océan Pacifique et l'autre sous l'Afrique, et qu'on surnomme les LLSVP (*large low shear velocity provinces*). La deuxième partie de ce cours est consacrée aux méthodologies de pointe en physique des matériaux pour l'étude des propriétés mécaniques des minéraux du manteau profond. En particulier, des progrès importants sont en cours sur les calculs numériques de la déformation dans ces minéraux, qui permettent d'atteindre un régime de déformation plus réaliste que ce que l'on peut faire par l'expérimentation en laboratoire aux pressions et températures du manteau inférieur. Enfin, nous présentons une approche récemment introduite permettant de combiner trois domaines de recherche : physique des matériaux (propriétés élastiques, plans de glissement), géodynamique (calcul de la forme des écoulements et de l'amplitude des déformations) et enfin sismologie pour apporter des contraintes nouvelles sur la dynamique du manteau profond par l'intermédiaire des observations sismologiques à la surface de la Terre.

COLLOQUE – FLOW IN THE DEEP EARTH

Ce cours a été suivi d'un colloque international de deux jours (1^{er}-2 décembre 2016), rassemblant des experts venant de plusieurs pays européens, ainsi que des États-Unis, et représentant les contributions de la sismologie, de la physique des matériaux et de la géodynamique à l'étude de l'anisotropie sismique depuis le manteau supérieur jusqu'à la limite noyau-manteau (https://www.college-de-france.fr/media/barbara-romanowicz/UPL7794802892185412132_Barbara_romanowicz_colloqueV2.pdf). En plus des présentations orales d'intervenants invités, nous avons organisé une session poster pour les étudiants et post-docs. Une discussion sur les défis actuels dans ce domaine, animée par un panel invité, a clôturé ce colloque.

PUBLICATIONS

ROMANOWICZ B., CAO A., GODWAL B., WENK R., VENTOSA S. et JEANLOZ R., « Seismic anisotropy in the Earth's innermost inner core: Testing structural models against mineral physics predictions », *Geophysical Research Letters*, vol. 43, n° 1, 2016, p. 93-100, DOI : 10.1002/2015GL066734.

BODIN T., LEIVA J., ROMANOWICZ B., MAUPIN V. et YUAN H., « Imaging anisotropic layering with Bayesian inversion of multiple data types », *Geophysical Journal International*, vol. 206, n° 1, 2016, p. 605-629, DOI : 10.1093/gji/ggw124.

TO A., CAPDEVILLE Y. et ROMANOWICZ B., « Anomalously low amplitude of S waves produced by the 3D structures in the lower mantle », *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, vol. 256, 2016, p. 26-36, DOI : 10.1016/j.pepi.2016.04.001.

CALÒ M., BODIN T. et ROMANOWICZ B., « Layered structure in the upper mantle across North America from joint inversion of long and short period seismic data », *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 449, 2016, p. 164-175, DOI : 10.1016/j.epsl.2016.05.054.

MASSON Y. et ROMANOWICZ B., « Fast computation of synthetic seismograms within a medium containing remote localized perturbations: a numerical solution to the scattering problem », *Geophysical Journal International*, vol. 208, n° 2, 2017, p. 674-692, DOI : 10.1093/gji/ggw412.

ROMANOWICZ B. et WENK H.-R., « Anisotropy in the deep Earth », *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, vol. 269, 2017, p. 58-90, DOI : 10.1016/j.pepi.2017.05.005.