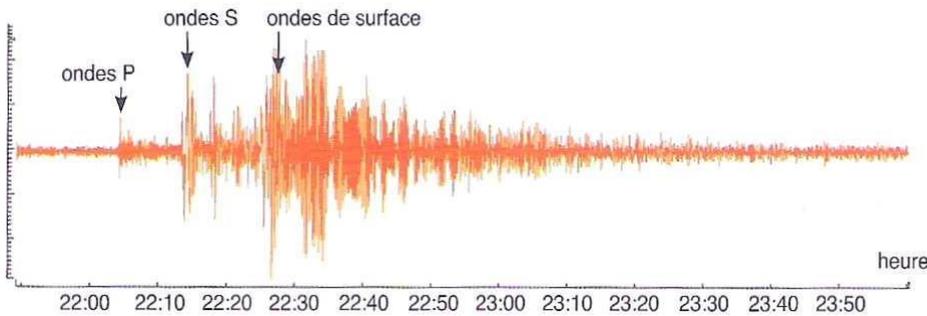


L'étude sismologique de la Terre

Caractéristiques des ondes sismiques

Document 1 : Les caractéristiques des ondes sismiques.



◀ Sismogramme enregistré en Allemagne, lors du séisme, de magnitude 7, survenu en Haïti le 12 janvier 2010, à 21 h 53 min (heure GMT).

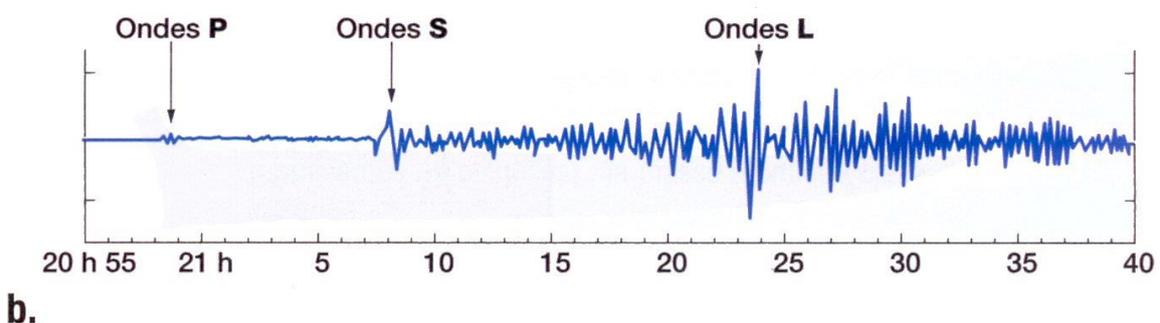
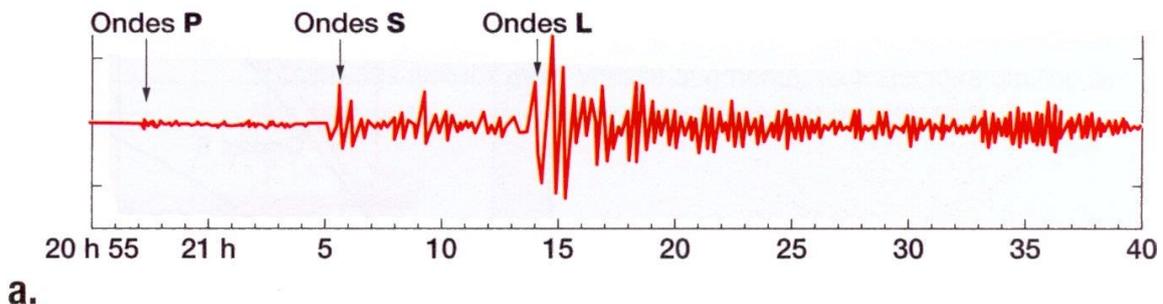
Il existe 3 types d'ondes sismiques :

- Les **ondes P**, ondes longitudinales, dites de compression-décompression ; les particules sont déplacées parallèlement à la direction de propagation des ondes. Elles se transmettent dans les milieux solides et liquides.
- Les **ondes S**, ondes transversales, dites de cisaillement ; les particules sont déplacées dans la direction perpendiculaire à la propagation. Elles se propagent uniquement dans les milieux solides.

Ces deux premières ondes sont dites ondes de volume car elles se propagent à l'intérieur du globe terrestre. On les oppose aux ondes L qui se propagent uniquement en surface du globe terrestre.

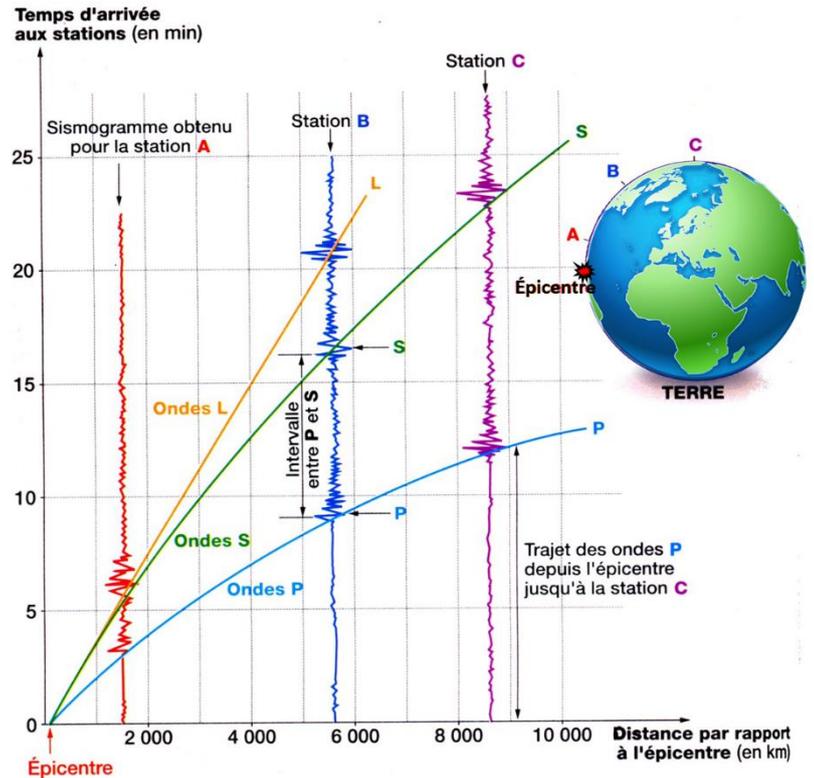
- Les **ondes L** ont une amplitude plus forte que les ondes S et P. Ce sont des ondes de surface complexes, tardives et responsables des principaux dégâts.

Document 2 : 2 Sismogrammes a et b enregistrés respectivement à Hawaii situé à **6630 km** de Kobé et en Australie situé à **7870 km** de Kobé. Le séisme de Kobé (Japon) a eu lieu le 17 janvier 1995 à 20h46.

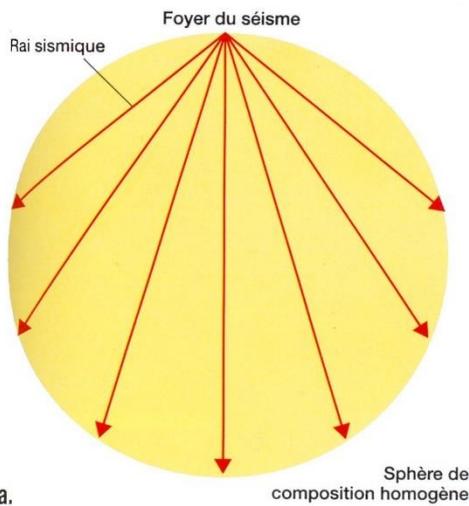


Informations apportées par les ondes sismiques ?

Document 1 - Hodographe : Graphique représentant les temps d'arrivée des différentes ondes sismiques à chaque station en fonction de la distance épacentrale (distance séparant l'épicentre de la station)

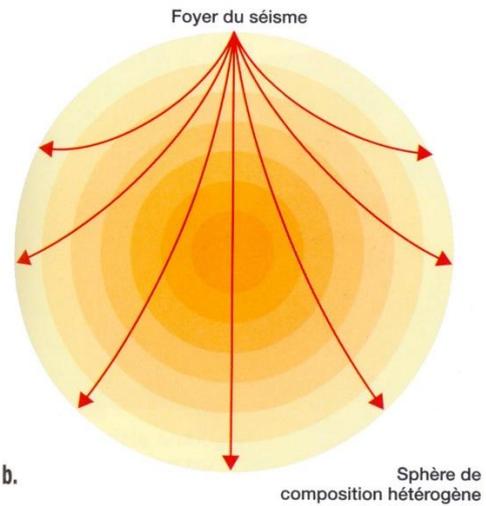


Document 2 : Représentation de deux planètes (a et b) de nature différente en profondeur.



a.

Cas d'une planète homogène dans son volume. La **vitesse** de propagation des ondes est **constante avec la profondeur**. Les rais sismiques sont en ligne droite.

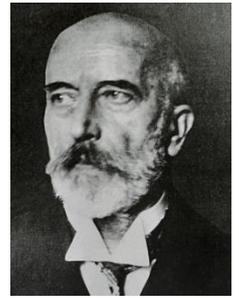


b.

Cas d'une planète hétérogène dont les caractéristiques sont telles que la **vitesse** de propagation des ondes **augmente avec la profondeur**.

Quelle sont les discontinuités de la Terre ?

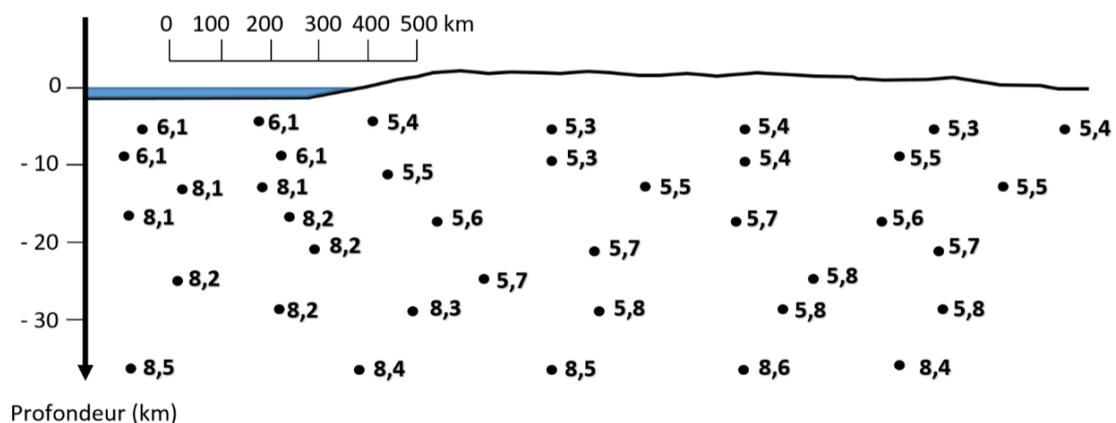
Andrija Mohorovičić (1857-1936) est un météorologue qui est devenu un pionnier de la sismologie et découvreur de la limite entre la croûte et le manteau terrestre.



« Au début du siècle la Yougoslavie crée son observatoire sismologique à Zagreb. Il est dirigé par A. Mohorovicic, le fils d'un forgeron croate. Ce remarquable géophysicien et organisateur hors pair installe 88 stations sismologiques réparties à travers tout le pays, dont les informations sont journalièrement centralisées dans son laboratoire. Le 8 octobre 1909, il observe les sismogrammes de ses instruments, quand tout à coup les stylets zigzaguent : voici les ondes P, puis les ondes S, puis... de nouveau des ondes P et de nouveau des ondes S ! Les ondes se sont dédoublées. Ses appareils sont pourtant parfaitement réglés, vérifiés chaque jour par le sismologue, très méticuleux. Le séisme est identifié, il a eu lieu sous la ville croate de Pokupsko au sud de Zagreb, à 40 kilomètres de profondeur. Mais pourquoi cette répétition des ondes P et S, comme un écho suit le son ? ... Les deux trains d'ondes sont partis en même temps du lieu du séisme ; s'ils sont arrivés avec un décalage c'est donc qu'ils ont dû emprunter deux chemins différents. Connaissant parfaitement la distance qui sépare ses sismographes de l'épicentre du séisme, ainsi que l'heure précise de la secousse, il calcul que le premier train d'onde P et S a circulé par le chemin le plus direct entre le foyer et l'observatoire à la vitesse prévue, celle qui correspond à la densité de l'écorce terrestre. En revanche, le deuxième groupe d'ondes P et S a dû rencontrer un milieu de densité différente qui l'a dévié et a modifié sa vitesse. Telles les ondes lumineuses, les ondes P et S ont dû subir des réflexions et des réfractions, ce qui prouve qu'elles ont atteint la surface de séparation de deux milieux de propriétés différentes. Les ondes ont été réfléchies, tels les rayons de lumière renvoyés par un miroir et réfractés comme l'image du bâton qui semble brisé quand on le plonge dans l'eau. De longs calculs mathématiques confirment l'hypothèse de Mohorovicic : l'intérieur de la Terre n'est pas homogène, il existe en profondeur une couche qui n'a pas la même densité ni les mêmes propriétés physiques, que l'écorce terrestre et qui réfléchit et réfracte les ondes sismiques. Selon les propres termes de Mohorovicic : une discontinuité sépare la croûte de ce qu'il y a en dessous... »

M. Kraft, « La Terre, une planète vivante » hachette.

Document : Vitesse des ondes P (en km/s) près de la surface du globe

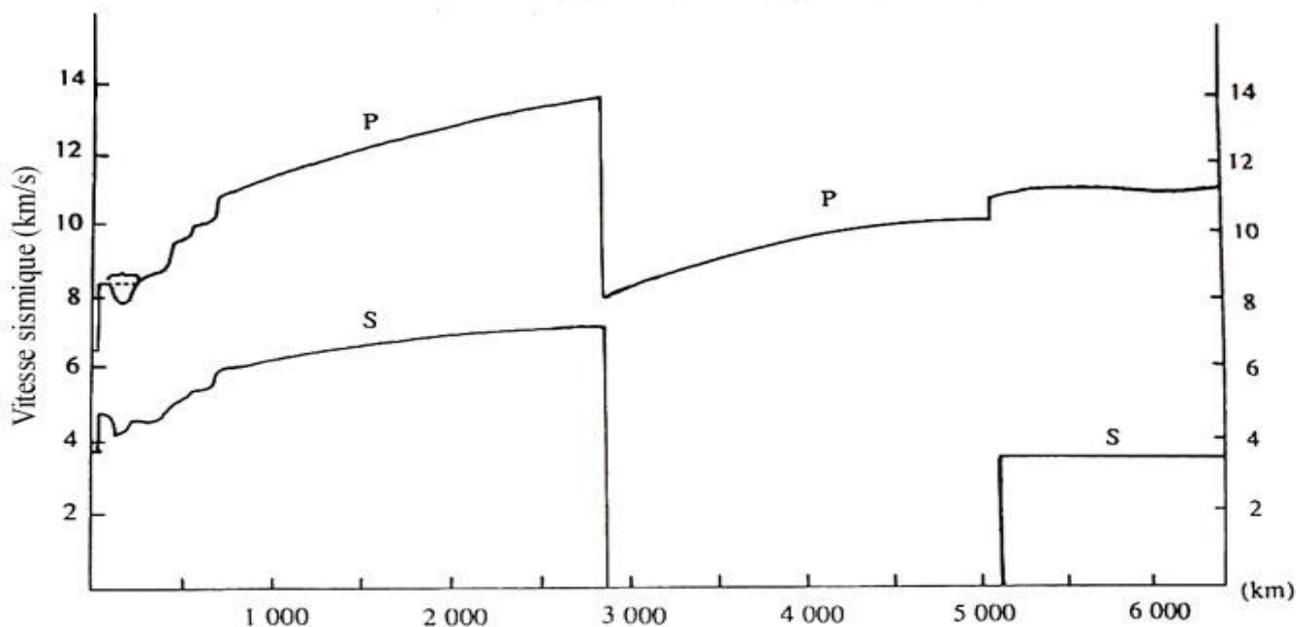
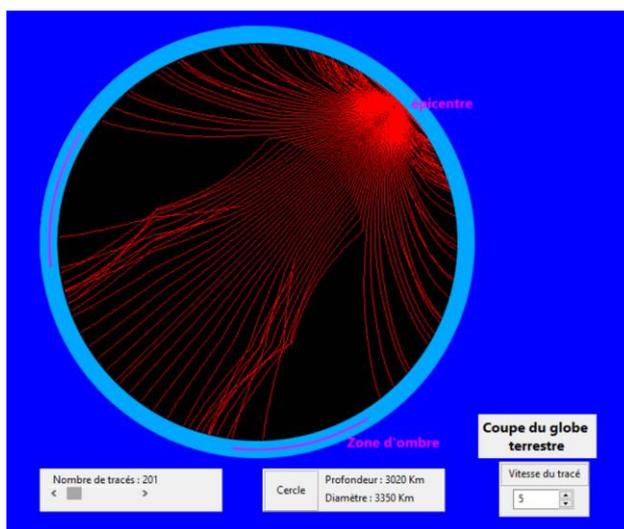


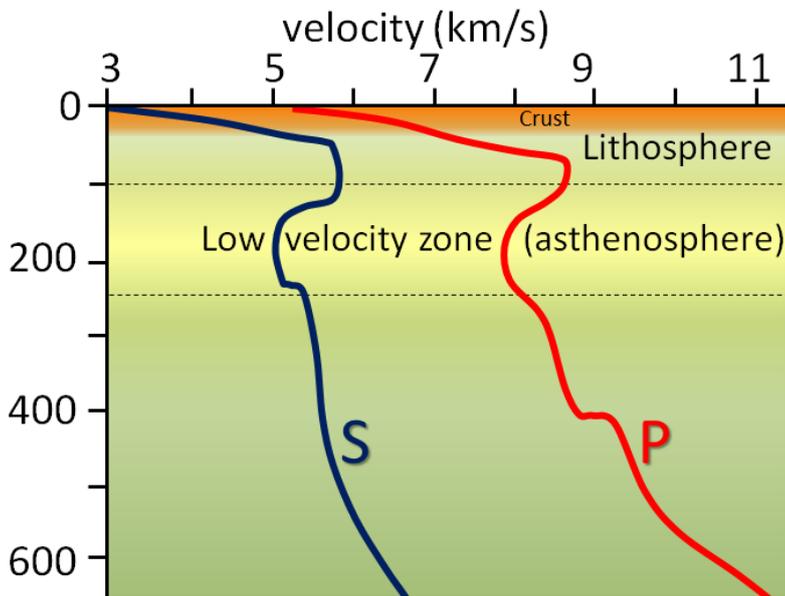
L'auscultation sismologique permet à partir du début du XX^{ème} siècle de renouveler entièrement les modèles de Terre. La détection des ondes de cisaillement (qui ne se propagent pas dans les liquides) montre que le globe se comporte comme un corps solide élastique, du moins dans toute sa partie supérieure. Les géologues doivent donc revoir leur copie et reprendre leurs explications des volcans et de la formation des montagnes !

Oldham (1858-1936) construit en 1906 un premier modèle de Terre sismologique. Sur les courbes temps-distances qu'il vient de tracer, il remarque que les ondes S subissent un retard d'une dizaine de minutes pour des distances épicentrales supérieures à 120-130°. Il l'explique en disant que ces ondes traversent une région centrale où la vitesse est sensiblement inférieure à celle existant dans l'enveloppe extérieure et il pense ainsi mettre en évidence une discontinuité sismologique majeure vers 3800 km de profondeur.



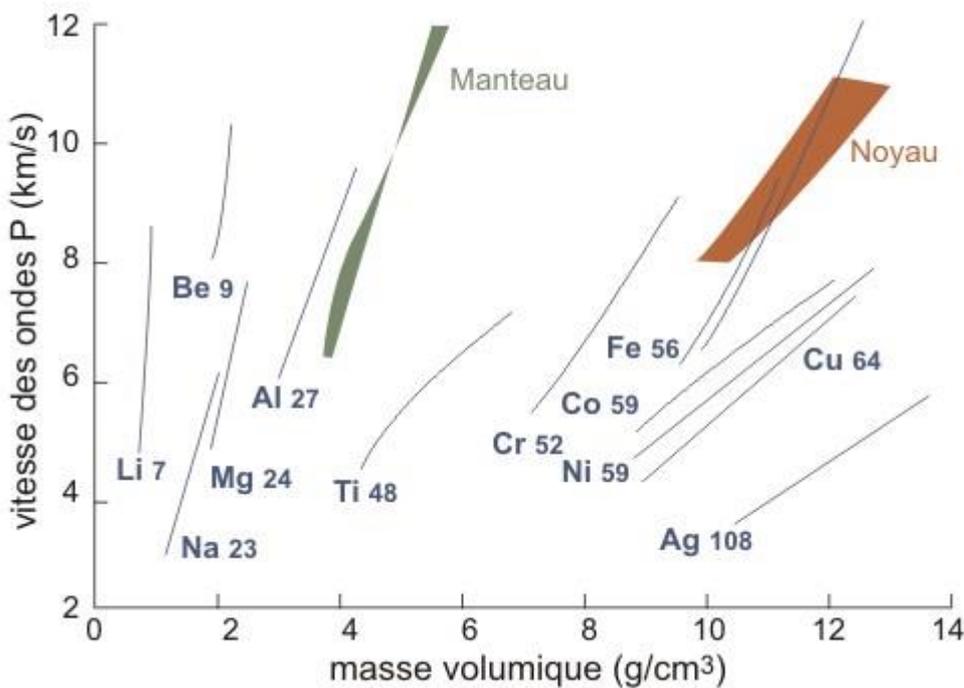
En 1912, Gutenberg (1889-1960) repositionne la discontinuité d'Oldham vers 2900 km de profondeur (qui est la valeur adoptée de nos jours). Il observe que les ondes P émises par un séisme sont enregistrées normalement jusqu'à la distance épicentrale de 105°. Entre 105 et 142°, les ondes P ne sont plus observées, puis à 142°, elles réapparaissent. C'est le phénomène de « zone d'ombre » que Gutenberg explique comme le résultat de la réfraction des ondes P à travers une discontinuité marquant une chute brutale de la vitesse des ondes. En 1923, il interprète cette discontinuité comme l'interface entre le noyau et l'enveloppe de Wiechert.





Entre 120 et 240 km de profondeur, les ondes sismiques ralentissent sans qu'on puisse parler de discontinuité ; il s'agit d'une zone à faible vitesse (ou "Low Velocity Zone" écrite LVZ en abrégé). Cette diminution de vitesse témoigne d'une zone plus ductile (moins cassante) au sein du manteau supérieur.

Cette zone marque la limite entre ce qu'on appellera la "lithosphère" (constituée de la croûte et de la partie superficielle rigide du manteau supérieur) et "l'asthénosphère" (le reste du manteau supérieur ou, selon les sources, uniquement cette zone des faibles vitesses).



Manteau et noyau n'ont pas la même composition comme on peut le voir à partir du document ci-contre qui nous montre la vitesse de propagation d'ondes P dans différents éléments en fonction de leur masse volumique.



Inge Lehmann est née en 1888 à Copenhague au Danemark. Son père Alfred Georg Ludvik Lehmann (1858-1921) était un psychologue expérimental à l'université de Copenhague. Chose rare, elle bénéficie d'un enseignement qui ne fait pas de différence entre les garçons et les filles, donné dans un établissement secondaire danois fondé par la tante de Niels Bohr, Hanna Adler. Au bout de trois années à l'université de Copenhague, où elle étudie aussi les mathématiques, la chimie, la physique et l'astronomie, elle passe haut la main tous ses examens, ce qui la conduit en 1910 au Newnham College de l'université de Cambridge au Royaume-Uni. Mal préparée pour passer l'épreuve du Mathematical Tripos, elle va jusqu'au surmenage dans ses tentatives pour se mettre rapidement à niveau, ce qui la conduit à retourner à Copenhague en décembre 1911 et y devenir employée dans un bureau d'actuaire où elle acquiert de grandes compétences en calcul. En 1918, elle reprend ses études supérieures à l'université de Copenhague. Après quelques années à travailler dans le commerce des assurances, elle devient l'assistante du géodésiste Niels Erik Nörlund qui lui donne comme mission d'installer des observatoires sismologiques au Danemark et



au Groenland. Intéressée par ce domaine scientifique, elle décroche un doctorat en géodésie, avec une partie consacrée à la sismologie en 1928. À la suite de ce doctorat, elle est nommée directrice du département de sismologie de l'Institut royal danois de géodésie. En 1936, elle montre que le noyau liquide à l'intérieur de la Terre, mis en évidence par Beno Gutenberg en 1912, doit contenir une « graine » solide pour expliquer l'arrivée de certaines phases sur les sismogrammes. Le nom de la sismologue a été donné à la discontinuité de Lehmann qui marque cette interface entre noyaux externe et interne. Elle part à la retraite en 1953 mais continue d'effectuer des recherches, participant notamment au Vela Uniform, programme militaire américain d'installation d'un réseau de sismomètres pour surveiller et localiser d'éventuels essais nucléaires en sous-sol. Indirectement, ce projet contribue à l'essor de la théorie de la tectonique des plaques.

