

CHAPITRE 9. Structure et composition

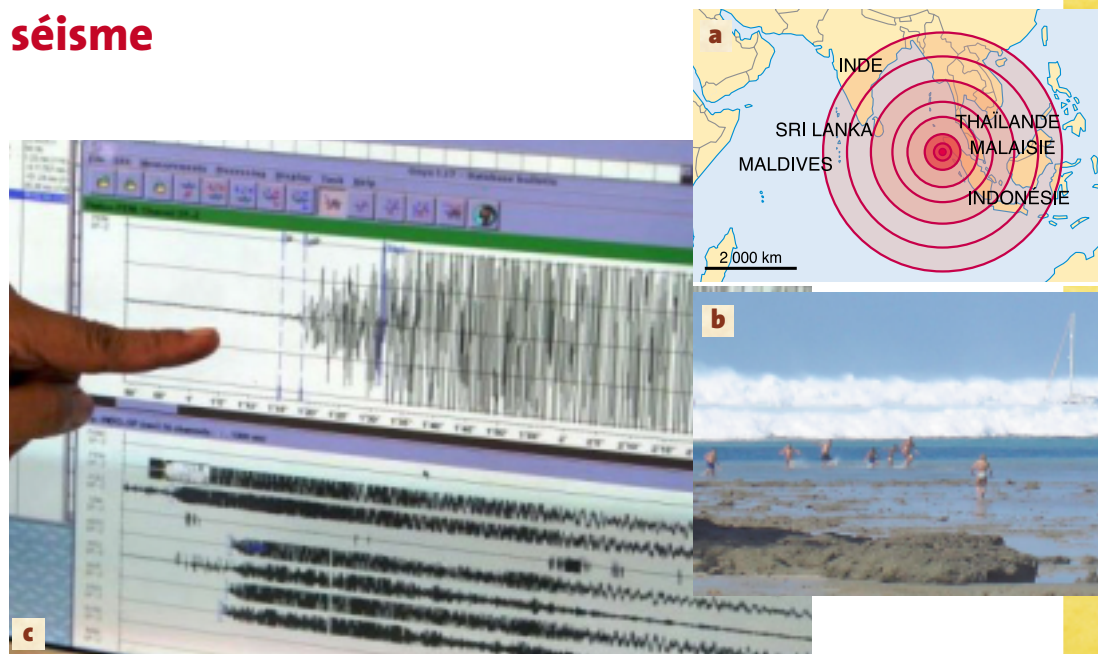
chimique de la Terre interne

Rappels des connaissances

1. Un exemple de séisme

[Vu en classe de Quatrième]

Un séisme de magnitude 9 s'est produit le dimanche 26 décembre 2004, à 0 h 58 min 53 s en Indonésie, l'épicentre > **Doc. 1a** se trouvant au nord-ouest de la côte de l'île de Sumatra. Il a provoqué également un important raz-de-marée ou tsunami > **Doc. 1b**. Les ondes sismiques se sont propagées sur tout le globe terrestre et ont pu être enregistrées sur les stations sismiques situées dans le monde entier > **Doc. 1c**.

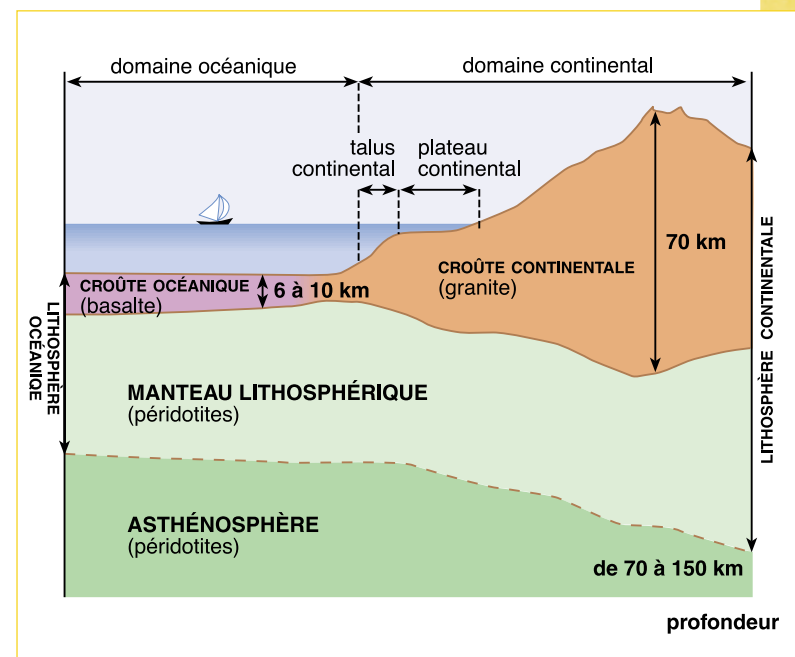


> **Doc. 1** Enregistrement des ondes sismiques du tremblement de terre, en Asie du Sud-Est, le 26 décembre 2004.

2. Un modèle de la structure interne du globe

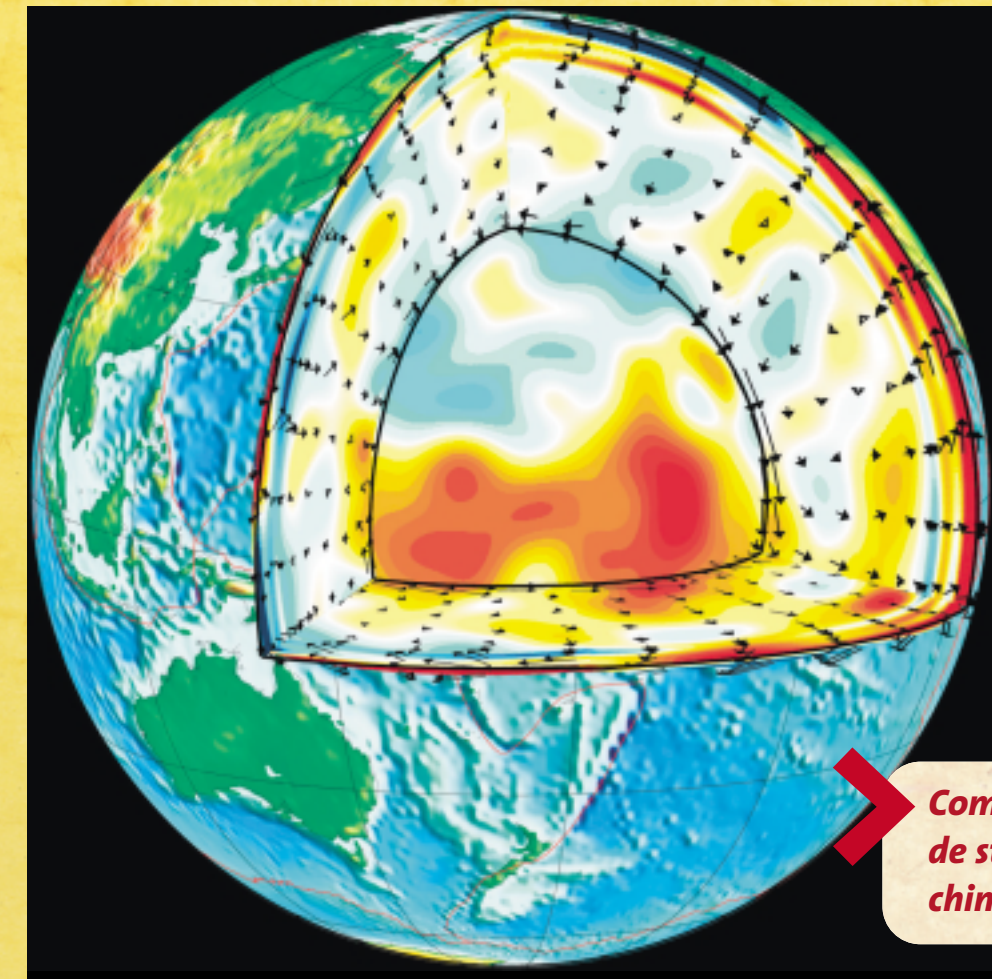
[Vu en classe de Quatrième]

Un premier modèle simplifié de la structure interne du globe a été construit à partir de l'étude de la propagation des ondes sismiques > **Doc. 2**.
À la surface du globe, des zones étroites, marquées par une forte activité sismique et volcanique, délimitent les frontières des plaques lithosphériques. Celles-ci, d'une épaisseur de 70 à 150 km, sont formées par la croûte terrestre continentale ou océanique et le manteau supérieur. La lithosphère solide et à comportement rigide repose sur l'asthénosphère, partie moins rigide du manteau supérieur. La croûte continentale est constituée en grande partie de granite et la croûte océanique, essentiellement de basalte. Le manteau supérieur ainsi que l'asthénosphère sont constitués de péridotites.



> **Doc. 2** Coupe simplifiée de la Terre jusqu'à 200 km de profondeur.

La Terre, planète tellurique, est constituée d'enveloppes concentriques dont les plus externes, croûtes océanique et continentale, et la partie superficielle du manteau supérieur sont accessibles à l'observation et à l'échantillonnage.



Cela a permis aux géologues de proposer un modèle simplifié de la structure du globe. La structure profonde de la Terre est moins accessible et ne peut être connue qu'indirectement.

Comment préciser le modèle de structure et de composition chimique de la Terre ?

Les couleurs représentent les écarts entre la vitesse de propagation réelle des ondes sismiques et celle d'un modèle de référence. Par convention, les zones rouges sont celles où la vitesse des ondes est la plus lente, les zones bleues sont celles où la vitesse est la plus rapide.

Sommaire des séquences

1. Les ondes sismiques et le modèle de structure de la Terre
2. Les données sismiques et les discontinuités majeures
3. Les propriétés géophysiques des enveloppes terrestres
4. Les matériaux de la croûte océanique
5. Les matériaux de la croûte continentale
6. La composition minéralogique et chimique de la Terre profonde
7. La structure hétérogène de la Terre et son histoire

Séquence 1 > Les ondes sismiques et le modèle de structure de la Terre

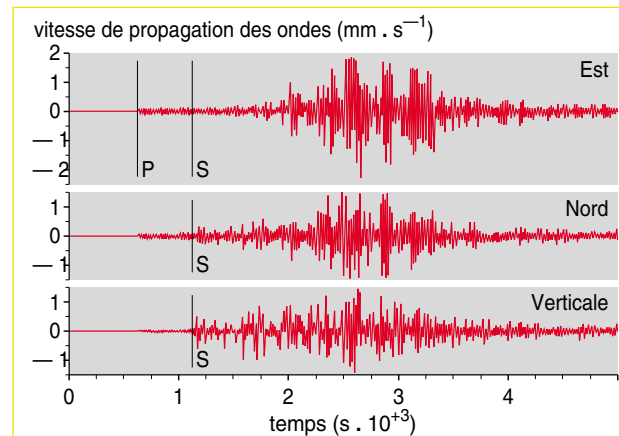
Le forage le plus profond, effectué en Russie, ne dépasse pas 13 km alors que le rayon de la Terre est d'environ 6 400 km. N'en déplaie à Jules Verne et à son *Voyage au centre de la Terre*, le géologue n'a pas accès aux profondeurs terrestres. Il est donc nécessaire de recourir aux méthodes géophysiques qui permettent une exploration indirecte du globe.

> **Comment l'étude de la propagation des ondes sismiques permet-elle de modéliser la structure du globe ?**

1. Les principales caractéristiques des ondes sismiques

Les séismes sont liés à des trains d'ondes élastiques, ou ondes sismiques, qui se propagent à partir du foyer ou hypocentre > **Doc. 1 et 2.**

> **Doc. 1** Ondes sismiques enregistrées lors du tremblement de terre de Sumatra.



On distingue les ondes de volume P et S qui se propagent dans toutes les directions et traversent la planète selon des **rais sismiques** et les ondes de surface L qui circulent parallèlement à la surface terrestre. Celles-ci sont les plus dangereuses et les plus amples.

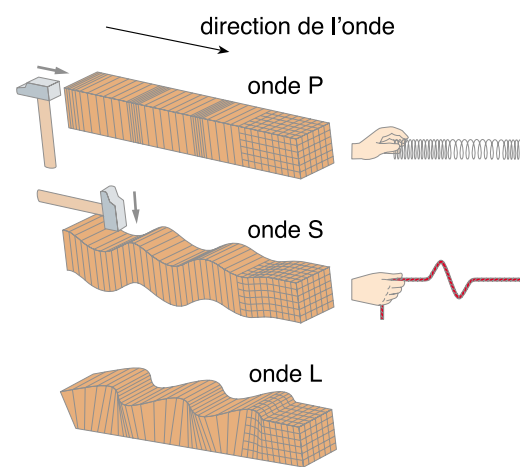
Les ondes P, ou premières, se déplacent en créant successivement des zones de dilatation et des zones de compression. Les particules se déplacent selon un mouvement avant-arrière dans la direction de la propagation de l'onde. Les ondes P sont les plus rapides.

Dans le cas des ondes S, ou secondes, les particules oscillent dans un plan vertical perpendiculairement au sens de propagation de l'onde. Ce sont des ondes de cisaillement ; celles-ci ne se propagent pas dans les liquides.

Les vitesses de propagation des ondes de compression et de cisaillement V_p et V_s dans un solide dépendent de trois paramètres qui sont la densité ρ (ou masse volumique), le module d'incompressibilité K (lié à l'élasticité des matériaux) et le module de cisaillement μ (lié à la rigidité des matériaux et qui est nul dans les liquides) :

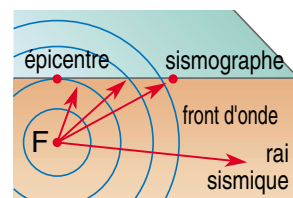
$$V_p = \sqrt{\frac{K + 4/3 \mu}{\rho}} \quad \text{et} \quad V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

> **Doc. 2** Des informations pour mieux comprendre les caractéristiques des ondes sismiques.



VOCABULAIRE

Rais sismiques (ou direction de propagation de l'onde) : lignes perpendiculaires au front d'ondes issues du foyer. Les rais sismiques sont assimilables aux rais lumineux. On peut leur appliquer les lois de Descartes.



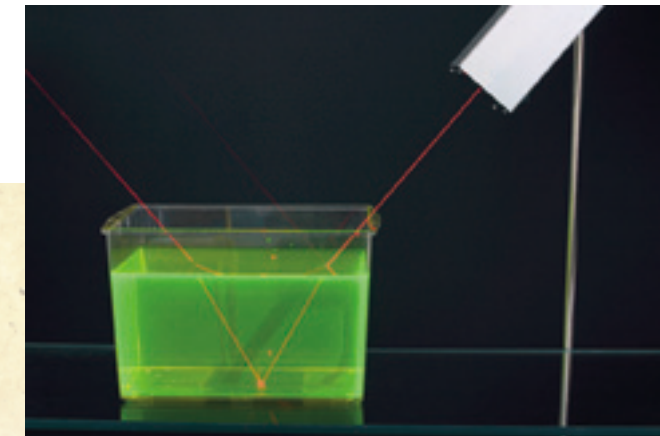
2. Des informations fournies par l'enregistrement des ondes sismiques

a. Observation des rais lumineux

MATÉRIEL À DISPOSITION : un grand aquarium avec un miroir sur le fond, un pointeur laser, un support élévateur, de l'eau colorée type fluoescéine, du papier calque.

Protocole expérimental

- Remplir aux 2/3 l'aquarium d'un mélange d'eau et de fluoescéine.
- Faire le noir dans la salle et pointer le laser à la surface du liquide > **Doc. 3.**
- Se mettre sur le côté, plaquer le papier-calque sur une face de l'aquarium et tracer le trajet des rais lumineux.

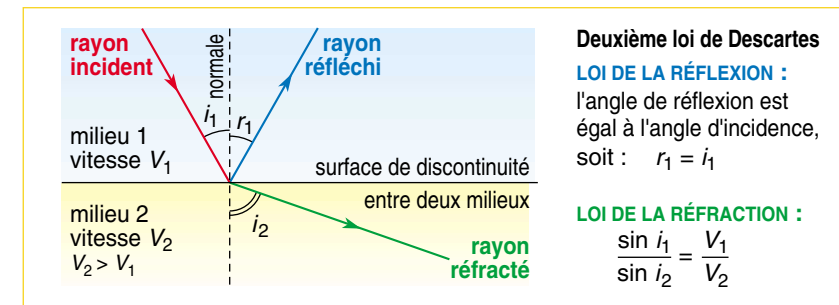


> **Doc. 3** Dispositif expérimental permettant l'observation des rais lumineux.

b. Trajet d'un rai lumineux et trajectoire de rais sismiques

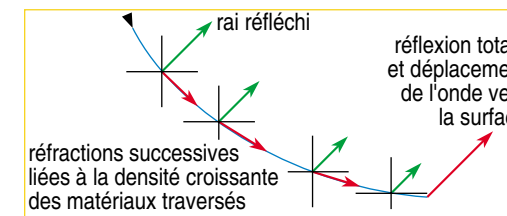
Les lois de Descartes concernant la réflexion et la réfraction s'appliquent ici pour calculer les modifications de trajectoire du rai sismique :

$$\sin i_1 / \sin i_2 = V_1 / V_2 \quad \text{> Docs. 4 et 5.}$$



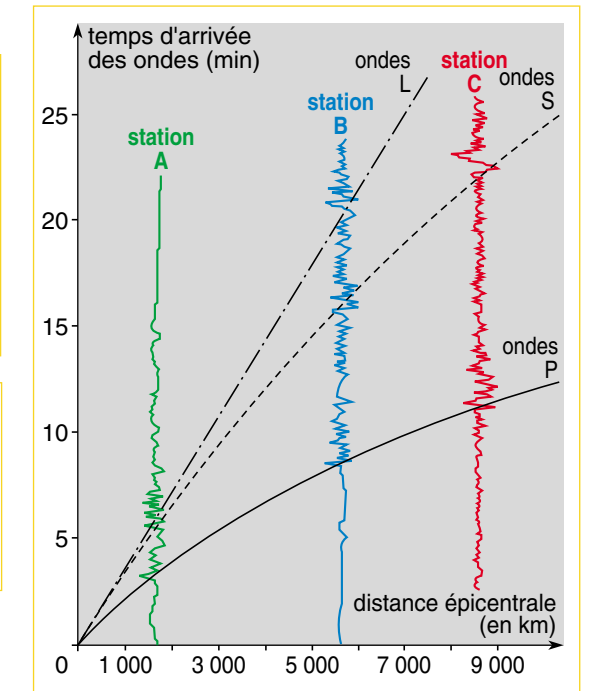
> **Doc. 4** Trajet d'un rai lumineux au niveau d'une surface de discontinuité entre deux milieux aux propriétés différentes.

> **Doc. 5** Trajectoire courbe des rais sismiques au niveau d'interfaces successives.



c. Le temps d'arrivée d'une onde

Connaissant la distance d'une station de réception à l'épicentre et le temps d'arrivée des ondes, on peut construire les courbes de vitesse des ondes, qui constituent un hodographe > **Doc. 6.**



> **Doc. 6** Hodographe : diagramme du temps d'arrivée d'une onde en fonction de la distance séparant la station de réception de l'épicentre.

1. Repérer les ondes P, S et L sur l'un des sismogrammes de Sumatra, enregistrés par une station du réseau géoscope dans les Vosges (doc. 1).
2. Expliquer le comportement d'un rai lumineux au niveau d'une interface ou surface de discontinuité (doc. 3, 4 et 5).
3. Préciser pourquoi seules les ondes P et S sont utiles pour connaître la structure profonde du globe (doc. 6).

SYNTHÈSE

Expliquer dans quelle mesure l'enregistrement des ondes sismiques fournit des informations sur la structure interne de la Terre.

Séquence 2 > Les données sismiques et les discontinuités majeures

Les renseignements fournis par l'étude des données sismiques confirment que la Terre est constituée d'enveloppes concentriques.

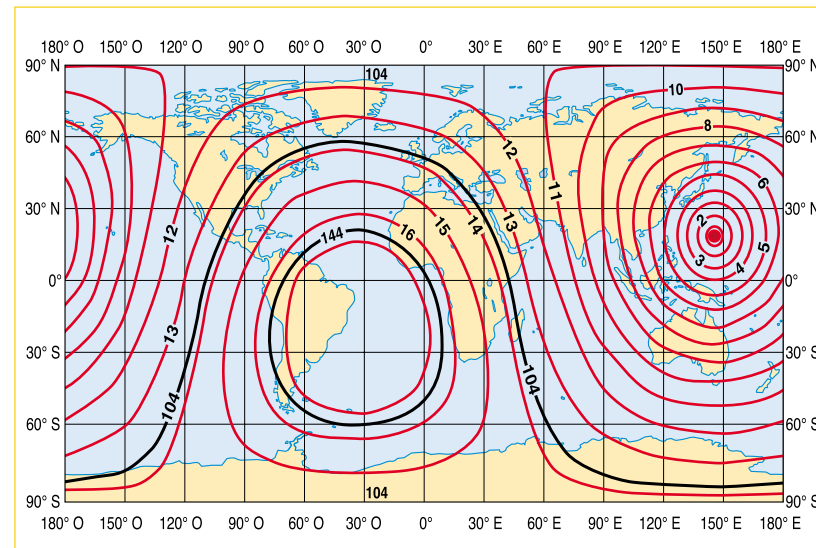
> Comment situer les frontières entre ces différentes enveloppes ?

1. Des renseignements fournis par les séismes lointains

Quel que soit le lieu du séisme, les sismographes situés entre 11 500 et 14 500 km de l'épicentre (entre 104° et 144°, angle au centre de la Terre) ne reçoivent aucune onde directe : c'est la zone d'ombre sismique > **Doc. 1**.

De plus, au delà de 14 500 km, on ne reçoit pas d'ondes S.

L'hypothèse de l'existence en profondeur d'une discontinuité de nature chimique ou physique, responsable de cette zone d'ombre, peut être validée grâce à un modèle numérique obtenu en appliquant les lois de Descartes, ou un modèle analogique > **Doc. 2**. La zone d'ombre correspond à la présence vers 2 900 km de profondeur d'une discontinuité appelée discontinuité de Gutenberg.

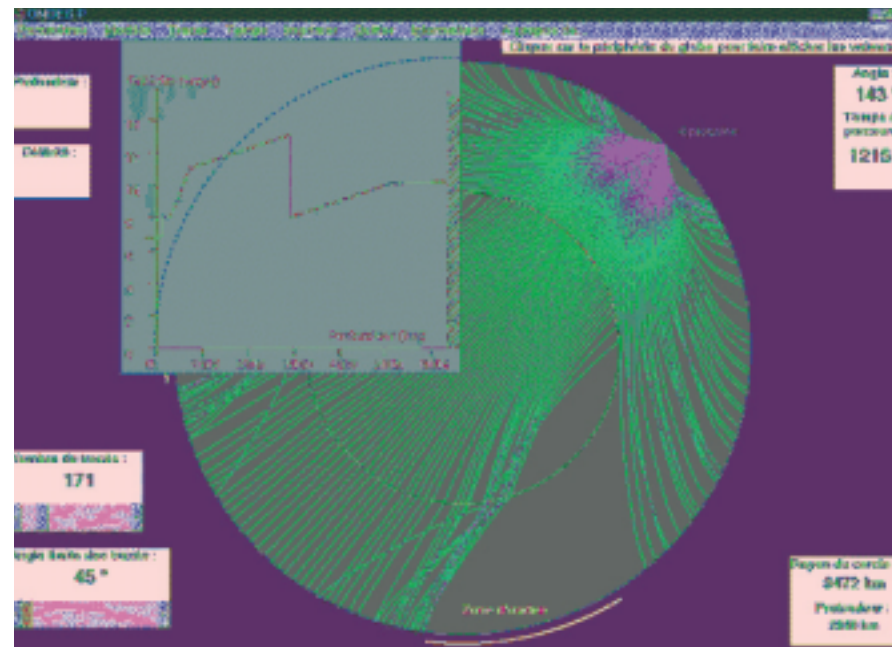


> **Doc. 1** Planisphère montrant la zone d'ombre à la suite d'un séisme (magnitude 4,8) survenu dans les îles Mariannes, le 26 avril 2000.

VOCABULAIRE

Discontinuité : surface séparant deux milieux aux propriétés physiques et/ou chimiques très différentes.

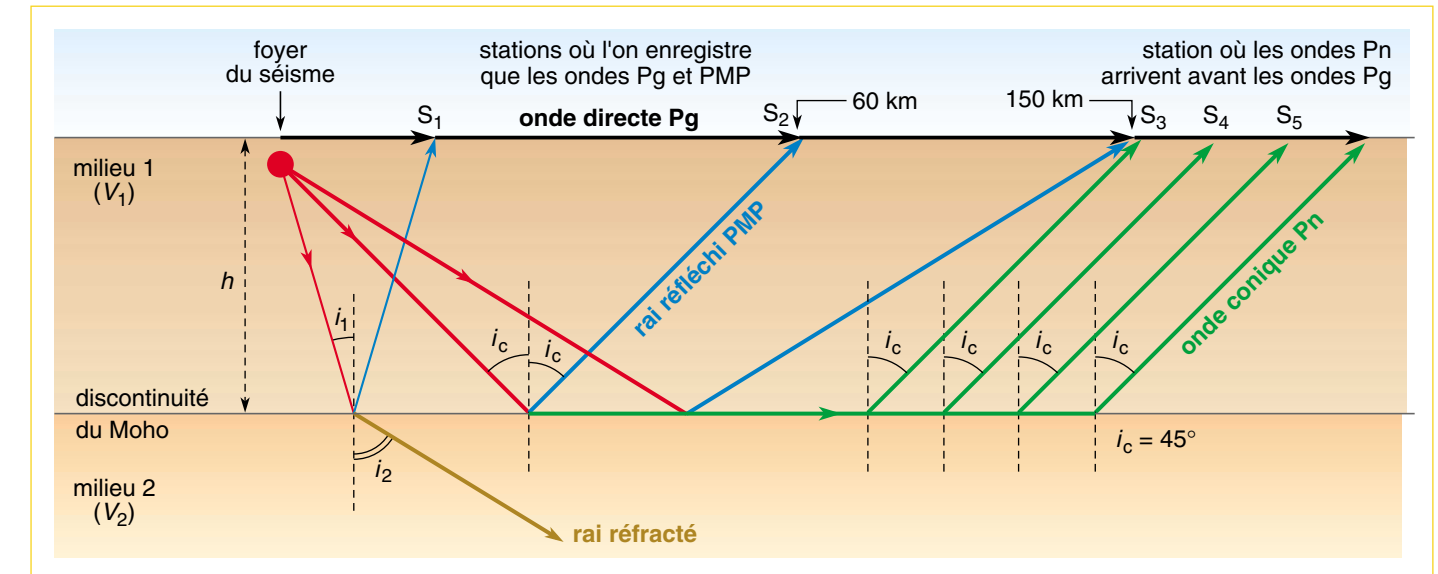
> **Doc. 2** Copie d'écran du logiciel Ondes P de J.-F. Madre, montrant un exemple de modèle obtenu à partir de la célérité des ondes P choisies en fonction de la profondeur.



2. Des informations fournies par les séismes proches de l'épicentre

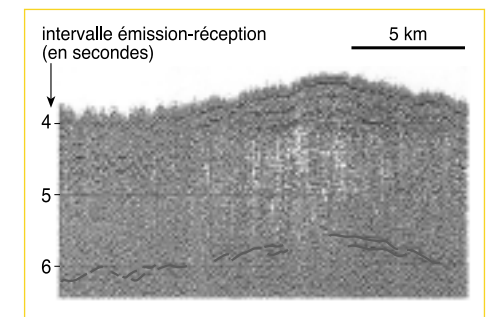
En 1909, à l'occasion d'un séisme, A. Mohorovicic, géologue croate, enregistre sur ses sismographes des ondes P, puis des ondes S, ensuite de nouveau des ondes P. Or, ces trains d'ondes successifs sont partis d'un même lieu ! Mohorovicic émet alors l'hypothèse que les ondes P, parties en même temps du foyer sismique, ont emprunté des trajets différents > **Doc. 3**. Parmi les ondes P, on distingue plusieurs

sortes d'ondes, chacune se propageant jusqu'aux stations sismiques selon des parcours différents. La sismique réflexion a permis de repérer la discontinuité de Mohorovicic, ou le Moho, sous les continents comme sous les océans. Les résultats des enregistrements permettent de construire un profil sismique > **Doc. 4**.



> **Doc. 3** Schéma d'interprétation des observations de Mohorovicic.

Seules les ondes P ont été représentées : les ondes P_g sont directes et ont une vitesse de l'ordre de $5,6 \text{ km}\cdot\text{sec}^{-1}$; les ondes PMP sont réfléchies sur le Moho et ont une vitesse de l'ordre de $6 \text{ km}\cdot\text{sec}^{-1}$; les ondes P_n , ou ondes coniques réfractées, ont une vitesse de l'ordre de $8,2 \text{ km}\cdot\text{sec}^{-1}$.



> **Doc. 4** Profil sismique au niveau de la dorsale du Pacifique-Est. Le bombement au sommet représente la crête de la dorsale. Le réflecteur, qui correspond à une durée de parcours des ondes de 6 secondes, est le Moho sismique. La cassure de ce réflecteur sous l'axe de la dorsale peut marquer la présence de magma.

1. Proposer une explication à l'existence de la zone d'ombre, située entre 104° et 144° de distance angulaire de l'épicentre (doc. 1 et 2).
2. Proposer une explication aux tracés et aux vitesses des ondes Pn, PMP et P_g (doc. 3).
3. Exploiter le document 3 pour proposer une méthode de calcul de la profondeur du Moho.
4. Estimer la profondeur moyenne du Moho sous la dorsale du Pacifique-Est (doc. 4).

SYNTHÈSE

Montrer comment les données sismiques permettent de positionner, en profondeur, les discontinuités majeures du globe terrestre.

Séquence 3 > Les propriétés géophysiques des enveloppes terrestres

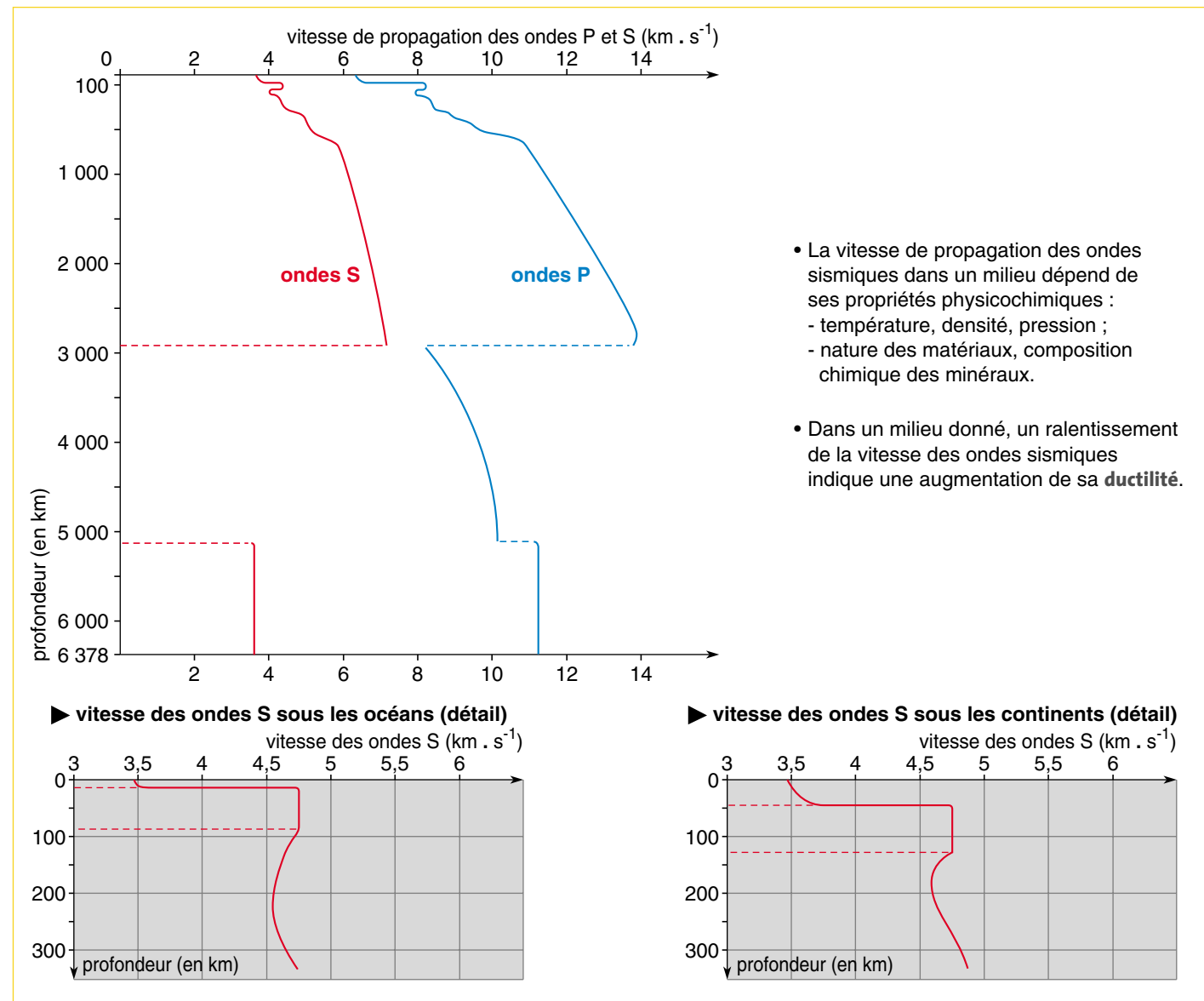
Des données sismiques ont permis de mettre en évidence la présence de deux discontinuités majeures au sein du globe terrestre, la discontinuité de Gutenberg et le Moho, qui séparent les enveloppes concentriques constituant notre planète.

> Comment l'étude des propriétés physiques de ces enveloppes par les géophysiciens permet-elle de valider le modèle sismologique du globe terrestre ?

1. Les variations de la vitesse des ondes sismiques

VOCABULAIRE

Ductile : se dit d'un matériau qui peut s'étirer sans se rompre.

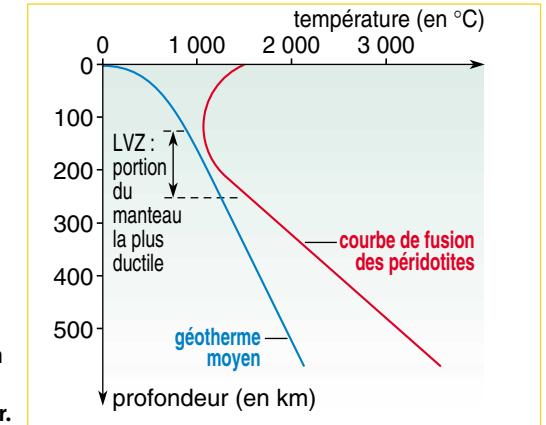


- La vitesse de propagation des ondes sismiques dans un milieu dépend de ses propriétés physicochimiques :
- température, densité, pression ;
- nature des matériaux, composition chimique des minéraux.
- Dans un milieu donné, un ralentissement de la vitesse des ondes sismiques indique une augmentation de sa ductilité.

> Doc. 1 Variations de vitesse des ondes sismiques P et S en fonction de la profondeur.

VOCABULAIRE

Géotherme : courbe qui décrit l'évolution de la température avec la profondeur.



> Doc. 2 Courbe de fusion des péridotites du manteau en fonction de la profondeur.

L'observation minutieuse des sismogrammes permet de détecter une diminution de la vitesse des ondes entre 100 et 250 km de profondeur. La comparaison de l'état physique (solide ou liquide) des péridotites, roches constituant le manteau à cette profondeur, avec la température du globe (**géotherme**) permet d'expliquer cette zone de faible vitesse des ondes > Doc. 2.

2. Le modèle PREM

L'ensemble des données sismiques a permis de construire en 1981, un modèle de structure de la Terre, le modèle PREM (Preliminary Reference Earth Model).

Profondeur (km)	30	80	150	220	400	400	500	600	670	670	771	1 071	1 571
Vitesse des ondes P (km.s ⁻¹)	5,6	8,1	8,0	8,6	8,9	9,1	9,7	10,2	10,3	10,8	11,1	11,6	12,3
Vitesse des ondes S (km.s ⁻¹)	3,4	4,5	4,4	4,6	4,8	4,9	5,2	5,5	5,6	5,9	6,2	6,4	6,7
Masse volumique (kg.dm ⁻³)	2,70	3,37	3,37	3,44	3,54	3,72	3,85	3,98	3,99	4,38	4,44	4,62	4,90
Pression (kbar)	10	25	48	71	134	134	171	210	238	238	283	419	655

Profondeur (km)	2 071	2 571	2 891	2 891	3 071	3 571	4 071	4 571	5 150	5 150	5 571	6 071	6 371
Vitesse des ondes P (km.s ⁻¹)	12,9	13,5	13,7	8,1	8,4	9,1	9,6	10,0	10,4	11,0	11,2	11,2	11,3
Vitesse des ondes S (km.s ⁻¹)	7,0	7,2	7,3	0	0	0	0	0	0	3,5	3,6	3,7	3,7
Masse volumique (kg.dm ⁻³)	5,16	5,41	5,57	9,90	10,18	10,85	11,39	11,81	12,17	12,76	12,95	13,07	13,09
Pression (kbar)	908	1 173	1 359	1 358	1 547	2 056	2 521	2 922	3 299	3 289	3 497	3 617	3 639

> Doc. 3 Tableau des mesures présentant le modèle PREM.

1. Retrouver les arguments permettant de situer les principales discontinuités du globe terrestre (doc. 1).
2. Comparer les profondeurs du Moho sous les océans et sous les continents (doc. 1).
3. Justifier la séparation asthénosphère/lithosphère, proposée par les géophysiciens (doc. 1 et 2).
4. Construire le graphique représentant la vitesse de propagation des ondes P et S en fonction de la profondeur et, sur le même graphique, l'évolution de la masse volumique et celle de la pression en utilisant deux autres axes (doc. 3).

SYNTHÈSE

Déterminer les propriétés physiques des enveloppes concentriques constituant la Terre.

Séquence 4 > Les matériaux de la croûte océanique

La sismologie a montré que la Terre est composée d'enveloppes concentriques dont la croûte océanique est l'une des plus externes. Les matériaux constitutifs de la croûte océanique sont difficilement accessibles.

> Comment connaître la composition minéralogique et la composition chimique de la croûte océanique ?

1. Les roches de la croûte océanique

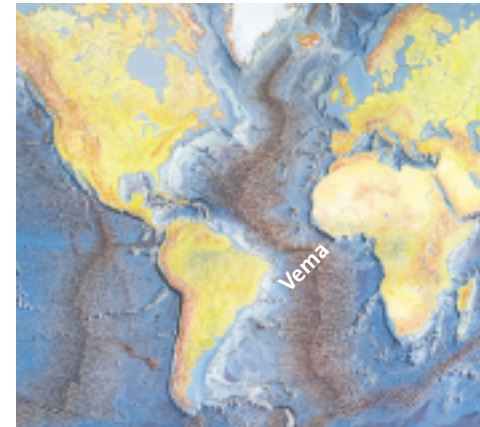
Des forages sous-marins comme celui réalisé au sud de la dorsale du Costa-Rica et l'observation par des submersibles de certains affleurements ont permis d'établir la structure et la composition de la croûte océanique

> **Doc. 1 et 2.**

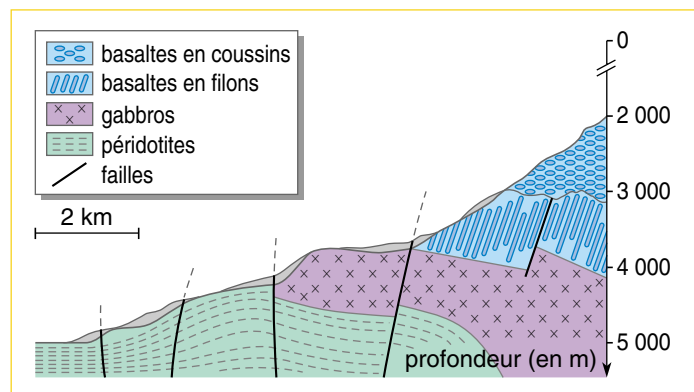
Celle-ci est constituée de basaltes et de gabbros.

Des basaltes en coussins, ou pillow-lavas, sont observés à proximité des dorsales où la couverture sédimentaire est peu importante

> **Doc. 3 et 4.** Les gabbros apparaissent au-dessus de la discontinuité de Mohorovicic ; ils sont massifs ou lités > **Doc. 5.**



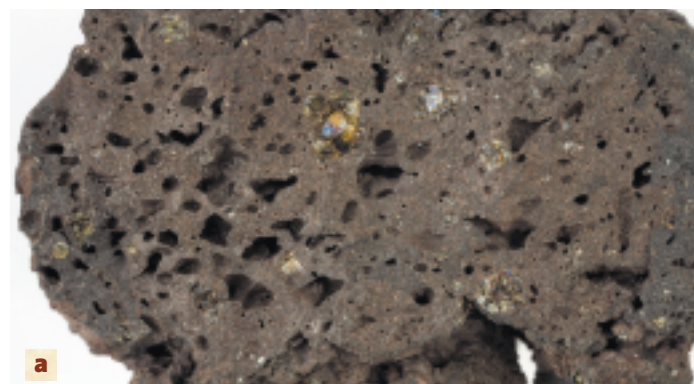
> **Doc. 1** La faille Vema située au niveau de la dorsale Atlantique.



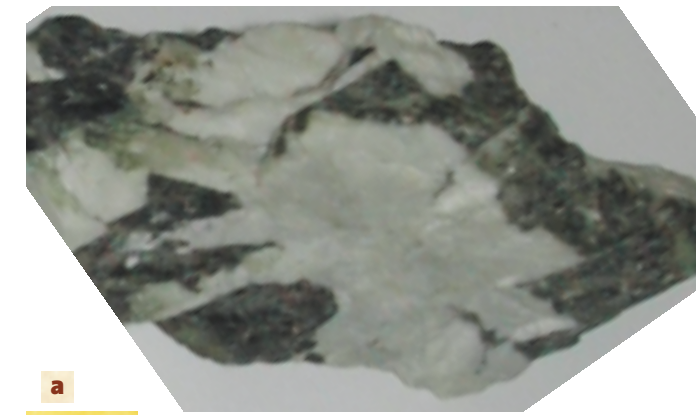
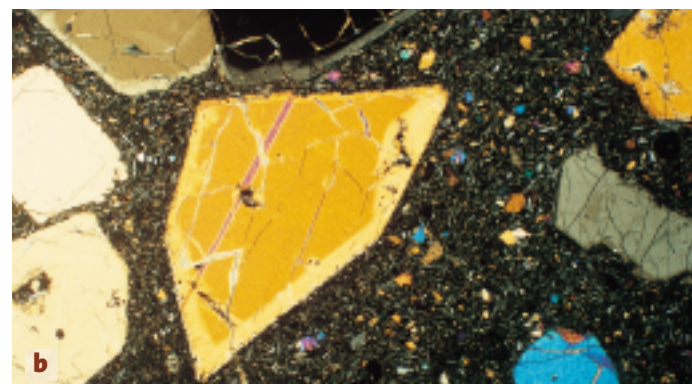
> **Doc. 2** Coupe géologique de la croûte océanique établie à partir de relevés du submersible Nautille dans l'océan Atlantique le long de la faille Véma.



> **Doc. 3** Basaltes en coussins de la croûte océanique de la dorsale Atlantique.



> **Doc. 4** Basalte : (a) échantillon macroscopique, (b) lame mince observée au microscope en lumière polarisée et analysée (x 400).



> **Doc. 5** Gabbro : (a) échantillon macroscopique ; (b) lame mince observée en lumière polarisée et analysée (x 400).

- La **structure microlitique** est celle d'une roche magmatique volcanique qui est caractérisée par la présence de nombreux **microlites** englobés dans une pâte non cristallisée, le verre.
- La **structure grenue** est celle d'une roche montrant un assemblage de cristaux tous en grains visibles à l'œil nu.

A. Foucault et J.-F. Rault, *Dictionnaire de géologie*, Dunod, 2005.

> **Doc. 6** Les structures des roches magmatiques.

VOCABULAIRE

Microlite :
cristal en forme de baguette, non visible à l'œil nu.

Pourcentage massique (% m) :
unité de mesure utilisée pour rendre compte de la composition chimique d'un mélange, d'une roche ou d'un alliage.

2. La composition chimique de la croûte océanique

Les échantillons prélevés permettent de déterminer la composition chimique des basaltes et des gabbros. La moyenne de la composition chimique des minéraux est exprimée en **pourcentage massique** > **Doc. 7.**

Éléments chimiques* (% massique)	O	Si	Fe	Al	Ca	Mg	Na	K
Basalte	43	23	11,5	7,6	6,9	3,1	2,1	0,6
Gabbro	44,6	23,7	6,5	8,8	8	5,5	2,2	0,2
Composition globale de la croûte océanique	43,7	22	6,5	8,5	7,1	7,6	1,6	0,33

> **Doc. 7** Composition chimique globale de la croûte océanique et des roches qui la constituent.

* Tous les éléments ne figurent pas dans le tableau.

1. Donner les structures des différentes roches de la croûte océanique (doc. 1 à 6).
2. Indiquer la composition minéralogique du basalte et du gabbro en vous aidant de la **fiche de détermination** fournie en fin d'ouvrage (doc. 3 à 5).
3. Comparer les compositions chimiques des roches de la croûte océanique (doc. 7).

SYNTHÈSE

Récapituler les caractéristiques des roches de la croûte océanique (structure, compositions minéralogique et chimique).

Séquence 5 > Les matériaux de la croûte continentale

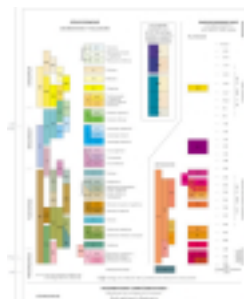
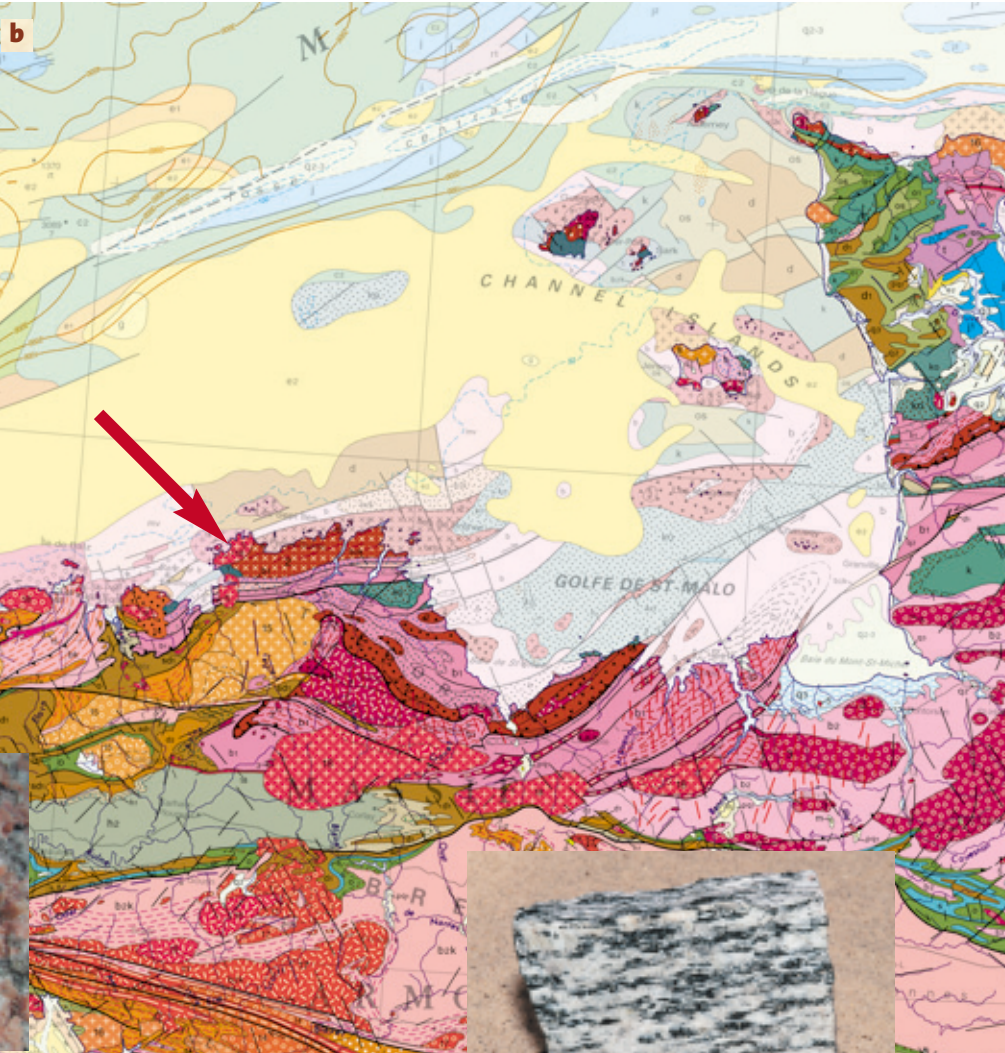
La croûte continentale correspond à 45 % de la surface du globe terrestre comprenant les terres émergées, mais aussi les talus continentaux et les plateformes. Les affleurements et les sondages montrent l'extrême variété des roches.

> *Quelle est la composition minéralogique et chimique de la croûte continentale ?*

1. Les roches de la croûte continentale



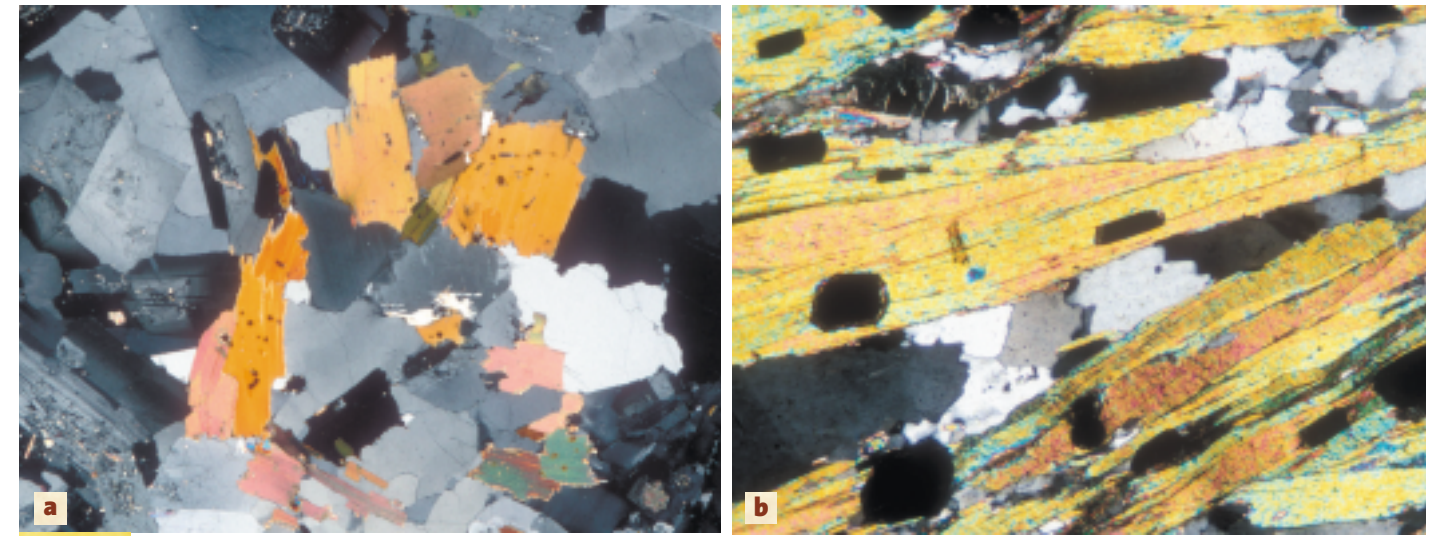
Sous une couverture sédimentaire, on trouve des roches de natures variées qui constituent la majeure partie de la croûte continentale, des roches magmatiques comme le granite et d'autres ayant subi des transformations comme le gneiss > **Doc. 1**.



> **Doc. 1** (a) Ploumanach et sa côte de granite rose ; (b) extrait de la carte géologique de la France au 1/1 000 000 (BRGM) ; (c) échantillon de granite ; (d) échantillon de gneiss.

2. La composition minéralogique de la croûte continentale

La croûte continentale est essentiellement constituée de granite et de gneiss. On peut assimiler sa composition à celle de ces deux roches > **Doc. 2**.



> **Doc. 2** Échantillons de granite (a) et de gneiss (b), observés en lame mince au microscope en lumière polarisée et analysée (x 100).

3. La composition chimique de la croûte continentale

Les roches de la croûte continentale peuvent être facilement échantillonnées. Le laboratoire *Microsonde* est un ensemble de moyens très performants qui permet la détermination qualitative et quantitative des éléments chimiques contenus dans les différents minéraux du granite et du gneiss.

Éléments chimiques* (% massique)	O	Si	Fe	Al	Ca	Mg	Na	K
Granite	49,4	32,4	2	7,4	1	0,6	2,6	4,6
Gneiss	48,75	32	3,35	8,55	1,30	0,75	2,80	2,50
Composition globale de la croûte continentale	46,9	32,2	2,9	7,7	1,9	0,7	2,9	3,2

> **Doc. 3** Composition chimique globale de la croûte continentale et des roches qui la constituent.

* Tous les éléments ne figurent pas dans le tableau.

1. Indiquer la composition minéralogique du granite et du gneiss en vous aidant de la **fiche de détermination** fournie en fin d'ouvrage (doc. 2 et 3).
2. Comparer les compositions minéralogiques et chimiques du granite et du gneiss (doc. 3).
3. Utiliser les données de la séquence 4 pour comparer la composition globale de la croûte océanique à celle de la croûte continentale.

SYNTHÈSE

Récapituler les caractéristiques des roches de la croûte continentale (structure, compositions minéralogique et chimique).

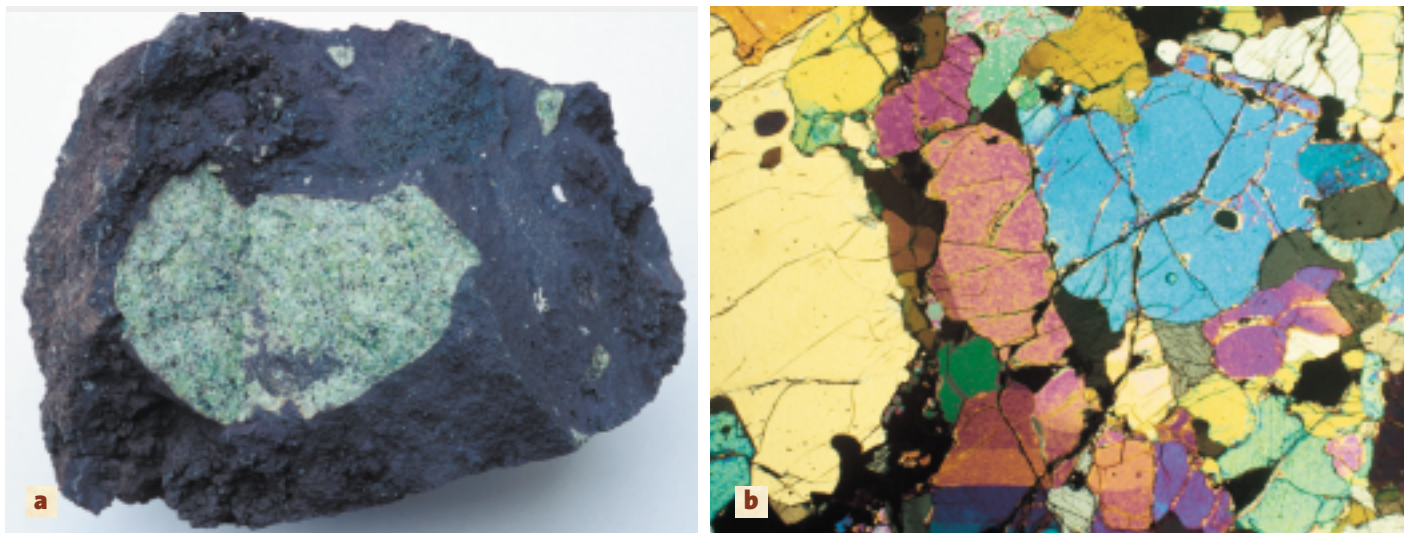
Séquence 6 > La composition minéralogique et chimique de la Terre profonde

La croûte océanique ou continentale repose sur le manteau supérieur ; la discontinuité de Mohorovicic les sépare. Grâce aux remontées magmatiques, les roches du manteau les plus externes sont accessibles. Le noyau demeure inaccessible par observation directe. On a donc recours à des méthodes indirectes pour déterminer sa composition.

> **Quelle est la composition minéralogique et chimique du manteau et du noyau ?**

1. La composition minéralogique et chimique du manteau

Lors de leur remontée vers la surface, des magmas basaltiques peuvent inclure des enclaves de péridotites > **Doc. 1**, c'est ainsi que l'on peut observer les roches du manteau. Dans le Massif central, certains affleurements de basalte présentent de nombreuses enclaves de péridotites. D'autres péridotites sont visibles en Maurienne, dans les Alpes. Toutes ces péridotites sont les roches représentatives du manteau, qu'il soit sous la croûte océanique ou sous la croûte continentale. Leur composition chimique moyenne est exprimée en pourcentage massique > **Doc. 2**.



> **Doc. 1** Enclave de péridotite (a) dans du basalte et échantillon de péridotite (b) observé en lame mince au microscope en lumière polarisée et analysée (x 400).

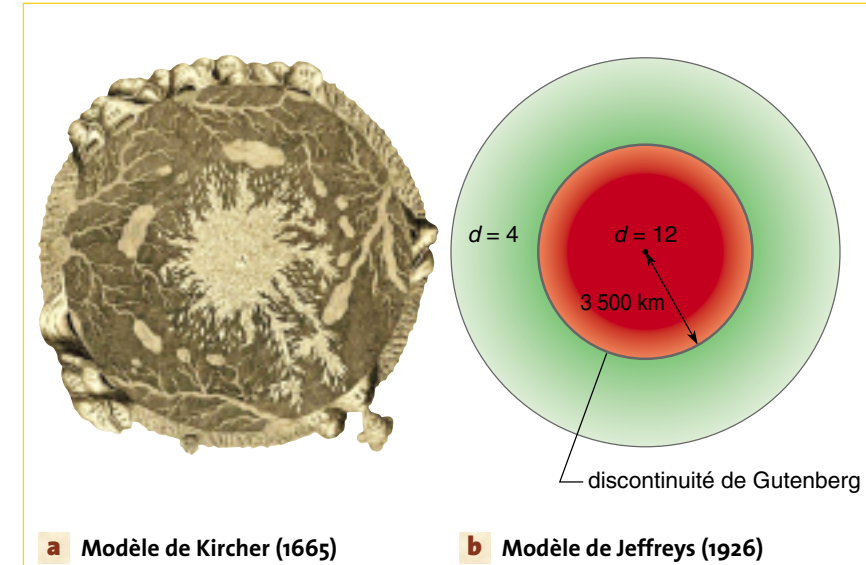
Éléments chimiques	O	Si	Fe	Al	Ca	Mg	Na	K
% massique	43,5	21,1	6,5	1,9	2,2	22,5	0,5	0,02

> **Doc. 2** Composition chimique moyenne des péridotites.

2. La composition minéralogique et chimique du noyau

a. Données historiques

Au XIX^e siècle, les « fluidistes », avec la théorie du feu central, s'opposèrent aux « solidistes » pour qui la Terre, à l'origine en fusion, est maintenant solide. Le géophysicien français É. Roche a proposé en 1881 un modèle de Terre à deux couches : un noyau de fer de densité entre 7 et 7,5, entouré d'une couche rocheuse de densité 3. En 1896, E. Wiechert, géophysicien allemand, observa que le moment d'inertie de la Terre est inférieur à celui d'une sphère homogène et proposa lui aussi un modèle à deux couches. R. D. Oldham, sismologue britannique, identifia en 1906 un noyau central grâce aux ondes sismiques et B. Gutenberg, sismologue allemand, localisa en 1912 la limite du noyau-manteau à 2 900 km de profondeur en considérant une zone d'ombre. L'existence d'un noyau liquide fut montré en 1926 par H. Jeffreys, géophysicien britannique, et la sismologue danoise Inge Lehmann mit en évidence en 1936 une région centrale, la graine.

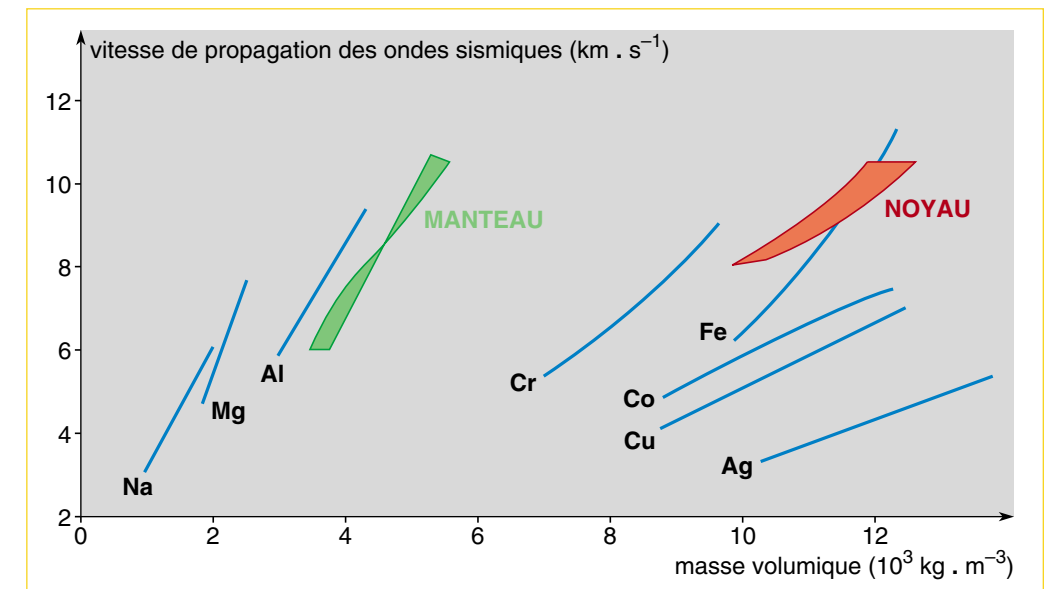


a Modèle de Kircher (1665) b Modèle de Jeffreys (1926)

> **Doc. 3** Deux modèles historiques de structure du globe !

b. Données récentes

Des études expérimentales ont permis d'évaluer la vitesse de propagation d'ondes de choc, apparentées aux ondes P, dans des corps purs chimiques soumis à des conditions de température et de pression proches de celles qui règnent dans le manteau et le noyau (courbes bleues). Les résultats sont comparés à la vitesse de propagation des ondes sismiques effectivement mesurées dans le manteau (en vert) et dans le noyau (en rouge) > **Doc. 4**.



> **Doc. 4** Variation de la vitesse de propagation des ondes sismiques en fonction de la masse volumique (loi de Birch).

1. Donner la composition chimique et minéralogique des péridotites du manteau (doc. 1 et 2). La comparer à celle de la croûte océanique.
2. Montrer comment les études expérimentales récentes valident le modèle historique de Jeffreys (doc. 3 et 4).

SYNTHÈSE

Donner la composition minéralogique et chimique du manteau et du noyau.

Séquence 7 > La structure hétérogène de la Terre et son histoire

La Terre, planète du système solaire, est constituée d'enveloppes concentriques : un noyau de fer et de nickel, un manteau de silicates ferromagnésiens et la croûte. Le système solaire a environ 4,5 milliards d'années.

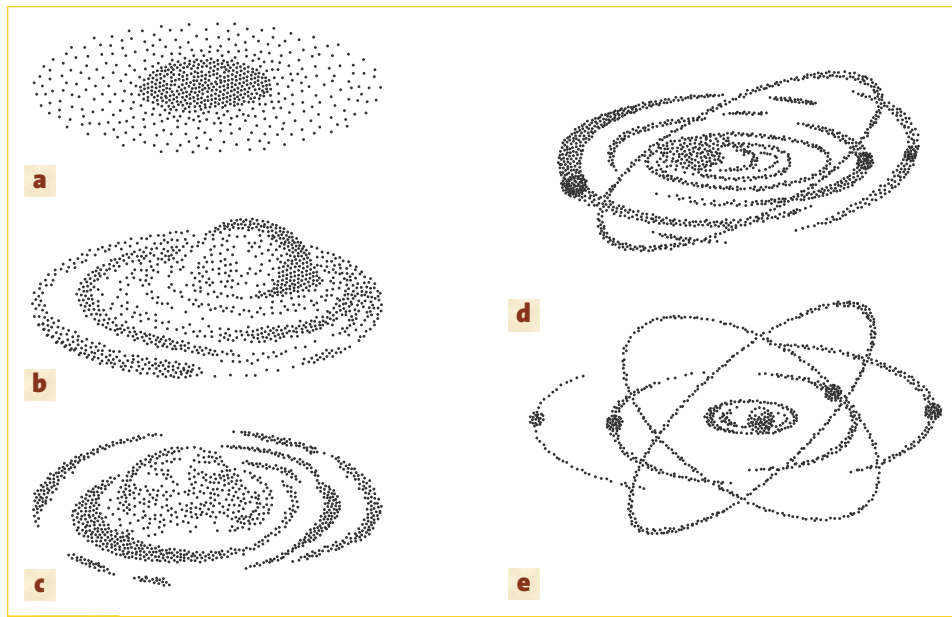
> Comment la reconstitution de l'histoire de la Terre peut-elle expliquer l'hétérogénéité du globe terrestre ?

VOCABULAIRE

Accrétion : accroissement du volume d'un corps par addition de matière extérieure.

1. Origine du système solaire et formation des planètes

En 1755, E. Kant, philosophe allemand, imaginait que le Soleil et les planètes étaient nés en même temps à partir d'un nuage interstellaire. En 1796, P.S. Laplace, mathématicien et astronome français, développa et illustra cette idée > **Doc. 1**. La formation du système solaire s'est réalisée durant une courte période, il y a 4,6 milliards d'années. À partir d'un nuage de gaz et de poussières > **Doc. 1a**, un disque au centre renflé et au bord aplati est apparu > **Doc. 1b**. Le Soleil s'est formé au centre, les gaz et les poussières se sont agglomérés autour : c'est l'**accrétion** qui donne naissance aux planètes externes, puis aux planètes telluriques. Pendant 500 millions d'années, les planètes ont été bombardées avec une intensité décroissante par des restes de poussières météoritiques > **Doc. 1c à 1e**. L'exploration de la Lune a permis de conforter ce scénario.



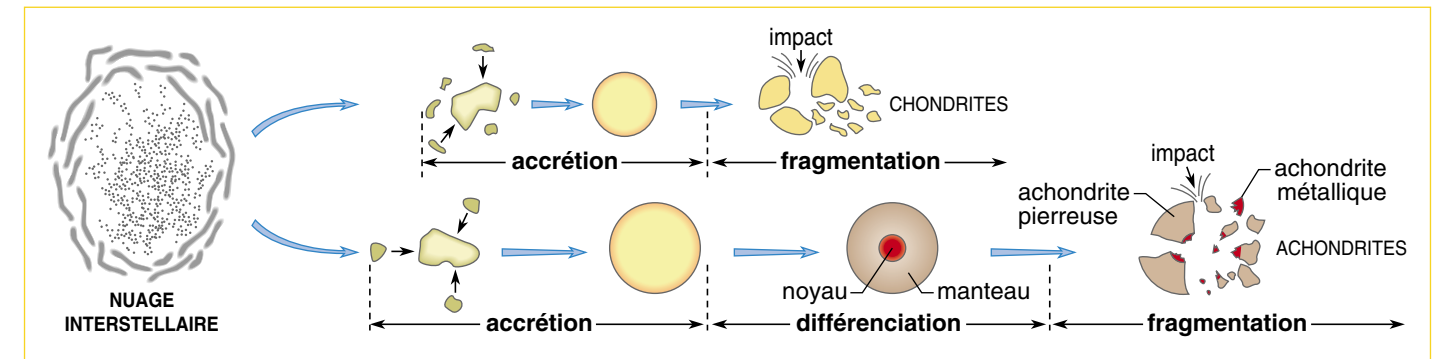
> **Doc. 1** Scénario de la naissance du système solaire d'après Laplace.

2. Les météorites, témoins de la formation de notre planète

Les météorites sont des fragments d'astéroïdes qui ont échappé à l'accrétion, phénomène qui a conduit à la formation des planètes > **Doc. 2**. Les météorites se sont formées en même temps que les planètes, il y a environ 4,5 milliards d'années > **Doc. 3**.

Météorites	Famille de météorites (appartenant à la ceinture d'astéroïdes)	Pétrologie	Équivalents terrestres	Pourcentages récoltés sur Terre
Indifférenciées	Chondrites	Silicates : olivine et pyroxène	Manteau	85 %
Différenciées	Achondrites riches en calcium	Silicates : olivine, pyroxène et plagioclase	Basalte Gabbro	4 %
	Achondrites métalliques	Fer : 90% Nickel : 10%	Noyau	6 %

> **Doc. 2** Les différents types de météorites.



> **Doc. 3** Origine des météorites.

La composition chimique du manteau et du noyau d'une Terre théorique dérivée d'une chondrite est proche de la réalité > **Doc. 4**. Les éléments chimiques sont inégalement répartis dans les différentes enveloppes du globe terrestre (voir document 4, séquence 6) :

- le manteau est constitué de silicates pauvres en fer (Si, Al, Na, K...),
- le noyau externe est constitué de fer, de magnésium et d'oxygène,
- la graine est constituée de fer, de nickel et de soufre.

Éléments chimiques	O	Fe	Si	Mg	Ca	Al	Na	K
Chondrite (% massique)	31	27.4	18.5	14	3.5	2	0.6	0.4
Terre (% massique)	32.4	28.2	17.2	15.9	1.6	1.5	0.25	0.02

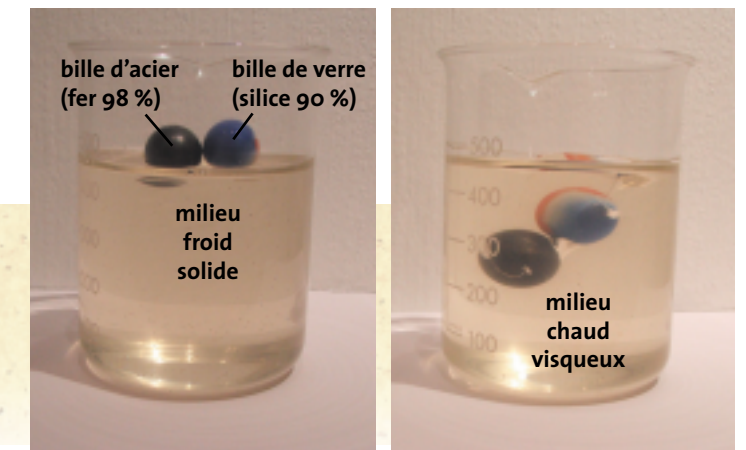
> **Doc. 4** Composition chimique comparée de la Terre et d'une chondrite.

3. La différenciation de la Terre

L'hypothèse d'un tri gravimétrique a été formulée pour expliquer le phénomène à l'origine du tri des éléments chimiques observés après différenciation.

Protocole expérimental

Une bille de fer ($\rho = 7,8 \text{ g.cm}^{-3}$) et une bille de verre ($\rho = 2,5 \text{ g.cm}^{-3}$) de mêmes volumes sont placées sur un milieu homogène à températures différentes.



> **Doc. 5** Résultats de la manipulation.

1. Quels arguments sur la formation de la Terre apporte l'étude des météorites (doc. 1, 2 et 3) ?
2. En quoi les chondrites ont-elles aidé à la connaissance de la structure interne de la Terre (doc. 2 et 4) ?
3. L'hypothèse d'un tri gravimétrique après accrétion est-elle validée (doc. 5) ?

SYNTHÈSE

Expliquer comment l'étude des météorites valide le modèle d'une Terre hétérogène.

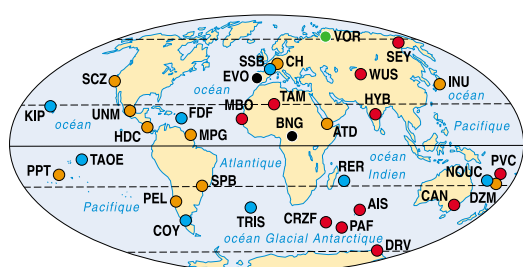
Structure et composition chimique de la Terre interne

I La sismologie, méthode d'étude de la structure interne de la Terre



Dans les zones actives du globe, les roches sont soumises à des contraintes liées à la tectonique des plaques. Lorsqu'elles atteignent la limite de leur résistance mécanique, il se produit une rupture et un déplacement brutal à un endroit de plus faible résistance. Le déplacement permet le relâchement des contraintes, ce qui provoque des vibrations, les ondes sismiques.

➤ SÉQUENCE 1



- stations en activité
- stations éloignées
- stations d'enregistrement en temps réel
- stations provisoirement fermées
- station prévue

Le réseau géoscope.



La sismologie étudie les tremblements de terre. Elle permet d'en cerner la répartition géographique, les effets sur les paysages et les populations, la signification tectonique et géodynamique et renseigne sur la structure interne du globe. Elle ne doit pas être confondue avec la sismique qui étudie la surface du globe à l'aide d'ébranlements artificiels.

➤ SÉQUENCE 2

1. Les ondes sismiques et leurs caractéristiques

Un séisme est un ébranlement du sous-sol terrestre suite au déplacement brutal de deux compartiments rigides.

À partir du foyer, ou hypocentre, plus ou moins profond, des trains d'ondes élastiques ou vibrations se propagent dans toutes les directions. Il existe donc un front d'ondes autour du foyer, correspondant à la surface qui sépare les particules déjà entrées en vibration de celles encore immobiles. Ces trains d'ondes se propagent à partir du foyer à des vitesses variables selon les propriétés des milieux traversés. À la surface du globe, des stations sismiques en réseau sont à l'écoute de la Terre et enregistrent en permanence des tracés ou **sismogrammes** qui rendent compte de l'activité sismique de notre planète. L'analyse d'un sismogramme, souvent complexe, permet de mettre en évidence trois types d'ondes :

- les ondes longitudinales, ou ondes P (primaires), pour lesquelles les particules sont déplacées dans la direction de la propagation ; on parle d'ondes de compression ;
- les ondes transversales, ou ondes S (secondaires), pour lesquelles les particules sont déplacées dans la direction perpendiculaire au sens de propagation ; on parle d'ondes de cisaillement ;
- les ondes de surface, ou ondes L, qui circulent parallèlement à la surface terrestre. Ce sont celles qui provoquent le plus de dégâts. Elles se propagent à vitesse constante, horizontalement le long de discontinuités superficielles, et se cantonnent dans les niveaux de surface.

Ces ondes traversent les différents milieux avec des vitesses qui dépendent de leurs propriétés physiques :

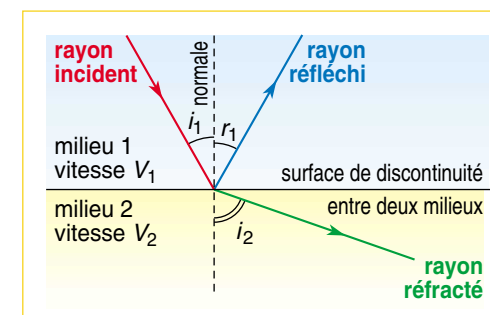
- les ondes P et S ont des vitesses qui croissent avec les distances parcourues. La vitesse d'une onde étant dépendante de la densité ou masse volumique du milieu traversé, on en déduit que la densité augmente de la surface vers les couches profondes du globe ;
- les ondes L ont des vitesses constantes. On en déduit que le milieu parcouru ne change pas de propriétés avec l'éloignement du foyer.

➤ SÉQUENCE 1

2. Méthodes d'étude en sismologie : comportement des ondes dans le globe

On assimile le trajet des ondes sismiques à des **rais sismiques**, équivalents des ondes lumineuses, auxquels on applique les lois de la réflexion et de la réfraction de Descartes. Le rai sismique est une ligne perpendiculaire à la surface du front d'ondes, le long de laquelle l'énergie se déplace.

Dans un milieu homogène, le rai sismique est une droite.



Trajet d'un rai lumineux au niveau d'une surface de discontinuité entre deux milieux aux propriétés différentes.

Dans un milieu hétérogène, par exemple de densité croissante, la trajectoire des rais sismiques est courbe. Lorsqu'un rai sismique rencontre une surface de **discontinuité**, une partie de l'énergie qu'il véhicule revient en arrière dans le milieu 1 (c'est la réflexion), une autre partie passe dans le milieu 2, mais est déviée (c'est la réfraction). Deux éléments sont donc à prendre en compte dans l'analyse du trajet des ondes sismiques, leur vitesse et l'existence de réflexions et de réfractions.

C'est en recoupant toutes les données sismiques, vitesse et trajectoire des ondes, obtenues par l'enregistrement des tremblements de terre que l'on a pu proposer un modèle de la structure interne du globe terrestre.

➤ SÉQUENCE 2

II Un modèle du globe terrestre en enveloppes concentriques



La vitesse de propagation des ondes sismiques dépend des paramètres physicochimiques du milieu traversé (température, pression, masse volumique, composition). Les variations plus ou moins brutales de la vitesse traduisent le passage entre deux milieux aux propriétés différentes.

➤ SÉQUENCE 3

1. Les données sismiques et les discontinuités majeures de la structure de la Terre

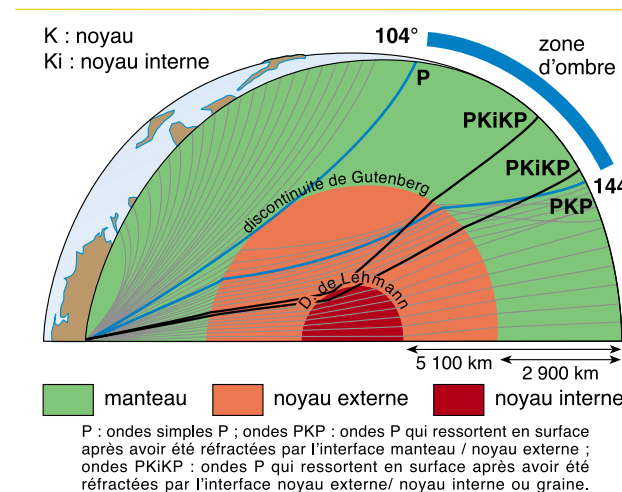
Quel que soit le lieu du séisme, les enregistrements montrent que, pour les ondes P et S, la vitesse augmente avec la distance. On en déduit globalement que la densité des milieux traversés augmente avec la profondeur et que la répartition de ces densités est à symétrie sphérique. Ceci signifie que la Terre n'est pas de structure homogène, mais hétérogène.

Les surfaces de discontinuité entre les milieux traversés par les ondes sont localisées grâce aux sismogrammes obtenus dans différentes stations pour un séisme donné.

C'est l'étude d'enregistrements recueillis par plusieurs stations relativement proches de l'épicentre qui a fourni l'occasion à Mohorovicic de proposer l'existence d'une première discontinuité séparant la **croûte terrestre** superficielle du manteau, milieu plus profond. Cette discontinuité majeure, appelée **le Moho**, se situe en moyenne vers 7 km de profondeur sous les océans et 30 km sous les continents. La croûte terrestre, première enveloppe terrestre, ne représente que 1 % du volume du globe.

De plus, ces enregistrements ont mis en évidence l'existence d'une zone d'ombre sismique. Celle-ci est caractérisée par l'absence de réception d'ondes directes P et S entre 11 500 et 14 500 km (distance linéaire), soit 104° et 144° (distance angulaire) entre l'épicentre et la station d'enregistrement. Cette déviation des rais sismiques ainsi que la chute de la vitesse des ondes P, vers 2 900 km de profondeur, implique qu'il existe à ce niveau une autre surface de discontinuité majeure séparant deux milieux aux propriétés physiques différentes. On caractérise ainsi la discontinuité de Gutenberg entre le manteau et le noyau.

Enfin, au-delà de 14 500 km, on ne reçoit pas d'ondes S ; elles ne sont donc pas transmises par le noyau.



Localisation de la zone d'ombre.



Les minéraux sont des assemblages d'éléments chimiques organisés dans l'espace selon une architecture particulière formant des cristaux. Avec les mêmes éléments chimiques, dans des conditions de pression-température différentes, avec ou sans présence d'eau, l'assemblage peut adopter une autre architecture.

➤ SÉQUENCES 4 ET 5

Les liquides ne propageant pas les ondes de cisaillement, cela conduit à admettre que le noyau externe a un comportement de liquide. L'analyse des ondes P retardées s'interprète comme la conséquence d'une surface de discontinuité plus profonde, à 5100 km. Celle-ci, appelée discontinuité de Lehmann, sépare le noyau externe liquide du noyau interne solide ou graine.

➤ SÉQUENCE 3

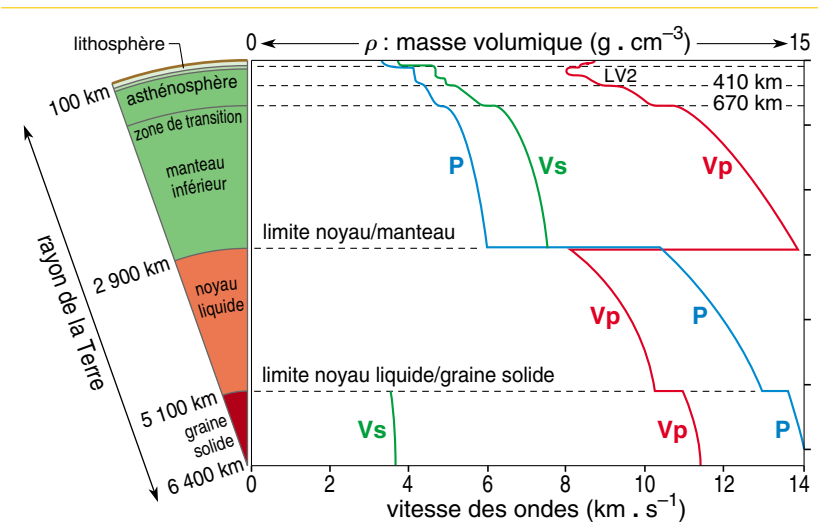
2. Un manteau hétérogène

L'analyse plus détaillée des vitesses des ondes P et S en fonction de la profondeur a mis en évidence l'existence d'une faible diminution de leur vitesse vers 100 km de profondeur. Cette couche à faible vitesse ou LVZ (Low Velocity Zone) s'étend d'environ 100 km jusqu'à 250 km. Cette diminution est attribuée aux comportements différents des matériaux du manteau, essentiellement, les péridotites.

Cette particularité sismique permet aux géophysiciens d'établir une nouvelle subdivision terrestre vis-à-vis de la dynamique du globe : la limite lithosphère, asthénosphère. La **lithosphère**, au comportement rigide et cassant, est formée par la croûte terrestre et la partie superficielle du manteau supérieur. L'**asthénosphère**, située en dessous, a un comportement ductile : elle ne répond pas à des contraintes en se cassant, mais en se déformant.

On a ainsi construit un modèle sismique des structures profondes du globe terrestre, le modèle PREM. Ce modèle peut être lié à un modèle minéralogique de la Terre.

➤ SÉQUENCES 4 ET 5



Variation des vitesses des ondes P et S en fonction de la profondeur.

III Les structures minéralogique et chimique des enveloppes terrestres



La connaissance d'une structure inaccessible à l'Homme ne peut être appréhendée que par comparaison entre les données enregistrées et les modèles expérimentaux.

➤ SÉQUENCE 6

1. La croûte : une enveloppe superficielle du globe

La croûte océanique, de masse volumique ρ de 2,9 g.cm⁻³, a une épaisseur de 6 à 10 km. Sous les sédiments, elle est constituée essentiellement de roches magmatiques réparties en couches horizontales de basalte en surface et de gabbro en profondeur. Ces roches représentatives, constituées de minéraux silicatés, sont de compositions minéralogique et chimique proches.

Les minéraux sont des feldspaths plagioclases et des minéraux ferromagnésiens dont les pyroxènes et l'olivine. Leurs structures sont différentes, microolithique pour le basalte (roche volcanique dont l'épanchement en milieu marin donne des laves en coussins), grenue pour le gabbro.

La croûte continentale, de masse volumique ρ de 2,7 g.cm⁻³, a une épaisseur moyenne de 30 km. Elle est plus épaisse sous les reliefs montagneux. Les roches de la croûte continentale sont extrêmement variées, des roches sédimentaires recouvrent ou laissent apparaître des roches magmatiques et métamorphiques dont les principaux représentants sont les granitoïdes (granite, gneiss...).



Les météorites ne sont pas des roches terrestres. Elles sont issues d'objets extra-terrestres.

Deux critères permettent de les identifier :

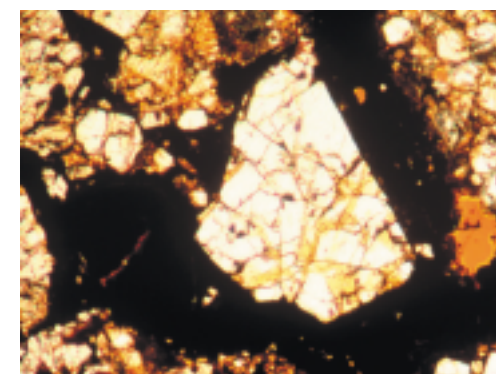
- la croûte de fusion qui les recouvre, liée à la traversée de l'atmosphère ;
- la présence de minéraux métalliques.

La contribution des météorites à l'accrétion de la Terre est estimée à 100 000 ou 200 000 tonnes par an en moyenne.

➤ SÉQUENCE 7



Une chondrite, météorite qui se compose de 15 % à 75 % de chondres, du latin *chondros* signifiant grain de sable, une sorte de petites inclusions claires composées d'olivine et de pyroxène.



Échantillon de chondrite, une météorite martienne récoltée sur Terre, observé en lame mince au microscope en lumière polarisée et analysée ; on distingue des grains d'olivine (jaune, vert, rose, noir), minéral commun aux roches basaltiques, et des traces de pyroxène (rayures).

Ce sont des roches grenues riches en silicates qui ont en commun quartz, feldspaths alcalins et mica, dans des proportions voisines.

Les éléments chimiques des minéraux constitutifs des croûtes sont :

- pour la croûte océanique, les pyroxènes et les olivines (silicates riches en fer et en magnésium) ;

- pour la croûte continentale, le quartz (silice et oxygène) et les feldspaths (silicates riches en aluminium, calcium, potassium et sodium).

Certains gabbros contiennent des amphiboles (silicates hydratés riches en fer et magnésium).

➤ SÉQUENCE 6

2. Le manteau : une succession de transformations minéralogiques

La discontinuité de Mohorovicic sépare la croûte du **manteau lithosphérique** de composition globale de type péridotite et de masse volumique ρ de 3,3 g.cm⁻³. Cette différence de composition chimique est à l'origine des variations de vitesse des ondes entre croûte et manteau.

Les péridotites sont des roches grenues, riches en minéraux ferromagnésiens (pyroxènes et olivine).

Entre 100 et 250 km, les péridotites sont soumises à un équilibre précaire pression - température et sont proches de la fusion, ce qui leur confère des propriétés physiques de moindre résistance. Cette zone de moindre vitesse ou LVZ sépare, au sein du manteau supérieur de masse volumique ρ de 3,25 g.cm⁻³, la lithosphère de l'asthénosphère.

Les variations de vitesse au sein du manteau sont dues à des transformations structurales des minéraux péridotitiques (olivine, spinelle, pérovskite).

3. Le noyau : une composition assez homogène

Les études expérimentales ont montré que le noyau est essentiellement constitué de fer (environ 80 %) et de nickel (environ 20 %). Sa masse volumique se situe entre 10 et 12 g.cm⁻³.

Le noyau externe est liquide, ce qui serait dû à la présence de soufre et d'oxygène dont la température de fusion est inférieure à celle du fer et du magnésium.

Le noyau interne, ou graine, est solide, l'effet de la pression l'emportant sur celui de la température. L'apport des météorites le confirme.

Les météorites proviendraient de la fragmentation de corps planétaires non différenciés. Les datations réalisées sur les météorites montrent qu'elles se sont toutes formées vers 4,5 milliards d'années, soit l'âge de la formation du système solaire auquel notre planète appartient. On interprète ces messagers de l'univers de la façon suivante : les chondrites seraient les témoins du matériel non différencié qui s'est initialement aggloméré par l'accrétion pour constituer la Terre.

Les achondrites et les sidérites seraient issues de corps planétaires assez volumineux pour que leur énergie interne ait pu provoquer fusion et différenciation de la masse primitive en manteau silicaté et noyau de fer et de nickel. La gravité a entraîné ensuite la répartition des éléments en fonction de leur masse atomique. Ainsi, la masse volumique des enveloppes augmente avec la profondeur.

➤ SÉQUENCE 7

I. Le modèle sismique du globe

L'étude de la vitesse de propagation des ondes sismiques est la source de renseignements la plus utilisée pour la compréhension de la structure interne du globe.

La vitesse de propagation et la trajectoire des ondes sismiques dépendent des caractéristiques physicochimiques des matériaux traversés. La frontière entre deux milieux aux comportements sismiques différents est une surface de discontinuité. À son niveau, les ondes subissent réflexions et /ou réfractions.

Toutes les informations recueillies permettent de construire un modèle hétérogène de la Terre, basé sur une structure en enveloppes concentriques constituées de l'extérieur vers l'intérieur, de la croûte, du manteau et du noyau pour un rayon moyen de 6400 km.

II. Le modèle chimique du globe

Le globe terrestre est formé de couches concentriques globalement de plus en plus denses et de plus en plus chaudes vers la profondeur.

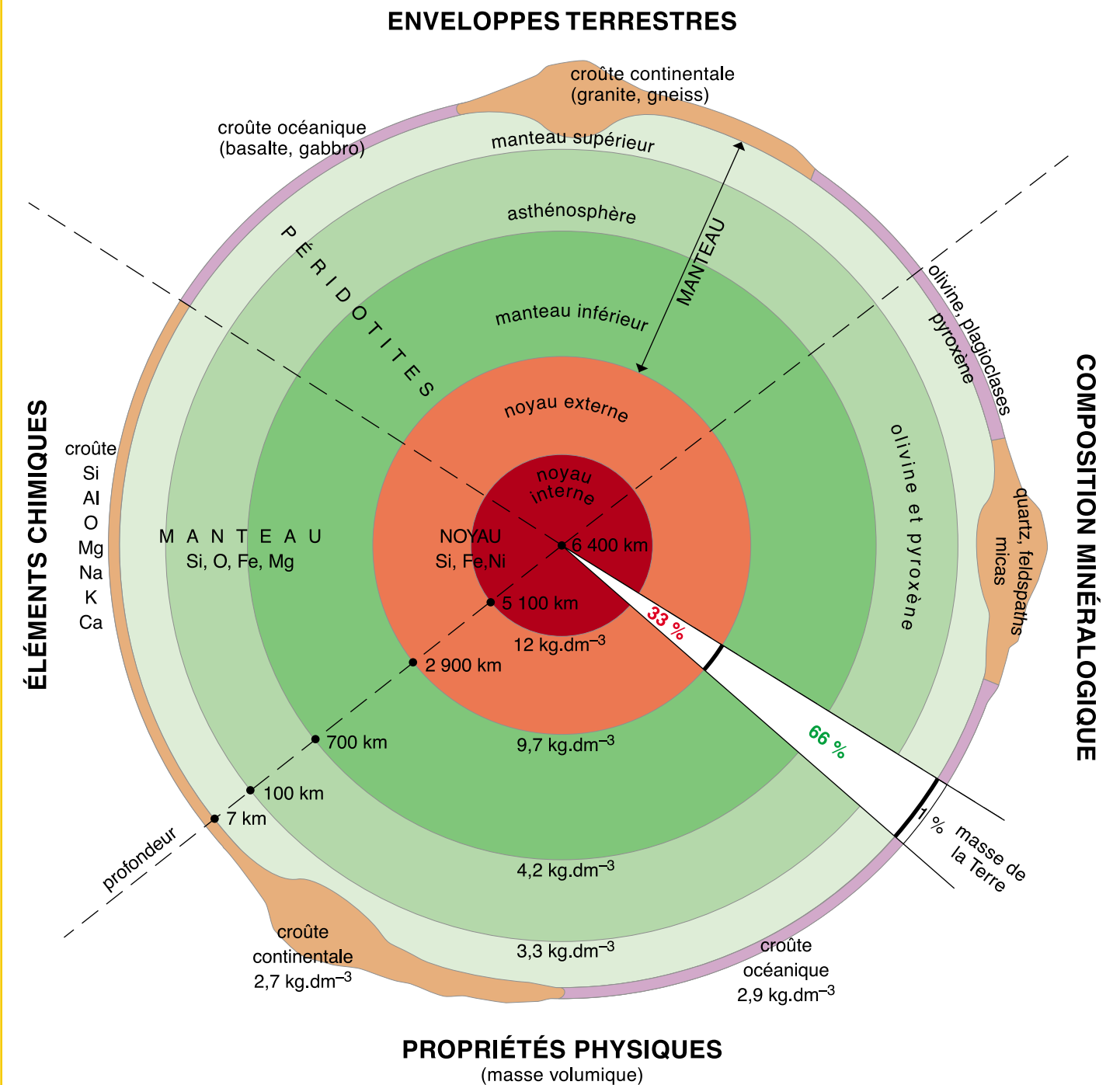
La croûte terrestre est séparée du manteau sous-jacent par la discontinuité de Mohorovicic ou Moho, située entre 10 et 30 km de profondeur. Cette croûte représente en moyenne 1 % de la masse terrestre. Elle est essentiellement constituée de basaltes et de gabbros pour la croûte océanique et de granite et de gneiss pour la croûte continentale.

Le manteau est séparé du noyau par la discontinuité de Gutenberg, située environ à 2900 km de profondeur. Le manteau représente 73% de la masse de la Terre. Il est essentiellement constituée de péridotites. La lithosphère, comprenant la croûte et la partie superficielle du manteau, a un comportement rigide et repose sur l'asthénosphère au comportement ductile. Le noyau terrestre, liquide dans sa partie externe, est séparé de la graine interne, solide vers 5100 km de profondeur.

III. La validation du modèle par l'étude des météorites

Les météorites permettent d'accéder à la composition chimique des enveloppes les plus internes et de proposer un scénario probable de la formation de notre planète par accréation, puis différenciation.

Schéma de synthèse



MOTS-CLÉS

Accréation : processus de croissance par accumulation de matériel.

Asthénosphère : enveloppe située sous la lithosphère entre 100 et 700 km de profondeur environ. Elle est ductile, c'est-à-dire facilement déformable.

Croûte terrestre : enveloppe la plus superficielle dont l'épaisseur et la nature sont différentes sous les océans et les continents.

Discontinuité : surface qui sépare deux milieux aux propriétés physiques et/ou chimiques différentes.

Lithosphère : enveloppe superficielle de 100 km d'épaisseur environ, formée de la croûte terrestre et de la partie la plus superficielle du manteau. Elle est considérée comme rigide, c'est-à-dire capable de résister sans déformation appréciable

à de fortes contraintes.

Manteau lithosphérique : enveloppe comprise entre la discontinuité de Mohorovicic et la LVZ, limite supérieure de l'asthénosphère. Il est essentiellement constitué de péridotites.

Météorites : objets naturels d'origine extraterrestre ayant survécu au passage dans l'atmosphère. Elles proviennent pour la plupart de la ceinture d'astéroïdes, située entre Mars et Jupiter.

(le) Moho : surface de discontinuité située entre la croûte terrestre et le manteau lithosphérique.

Sismogramme : enregistrement des ondes sismiques par des sismographes placés en surface terrestre.

Rai sismique : droite perpendiculaire à la surface de propagation de trains d'ondes.

Évaluation des connaissances

1. Définir les expressions et mots suivants

- a. Rai sismique.
- b. Discontinuité du Moho.
- c. Asthénosphère.
- d. Lithosphère.
- e. Accrétion.
- f. Météorite.

2. Rédiger une phrase en utilisant les expressions et mots suivants

- a. Ondes sismiques – Structure de la Terre – Vitesse de propagation.
- b. Onde P – Vitesse – Masse volumique.
- c. Discontinuité de Mohorovicic – Manteau – Croûte.
- d. Lithosphère océanique – Basalte – Gabbro – Péridotite.
- e. Structure de la Terre – Accrétion – Différenciation.

Évaluation des capacités expérimentales

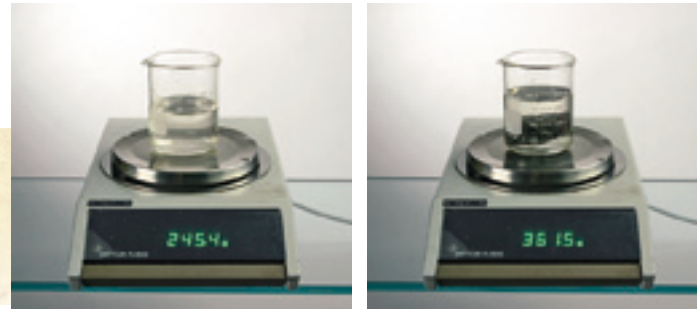
3. Répartition verticale des roches de la lithosphère océanique

La croûte océanique, d'épaisseur constante, présente une organisation verticale caractéristique.

On cherche à montrer que la répartition des roches de la croûte océanique et du manteau dépend de leurs masses volumiques.

MATÉRIEL À DISPOSITION

Échantillons identifiés de basalte, de gabbro et de péridotite, une balance de précision, une éprouvette graduée et de l'eau.



Vers
le BAC

Activités et déroulement des activités

Peser les différents échantillons fournis (en g).

- Remplir à moitié une éprouvette (ou un bécher) de 100 mL avec de l'eau.
- Repérer le volume V_0 (en cm^3).
- Plonger l'échantillon dans l'eau.
- Repérer le volume V_1 (en cm^3).

Le volume de l'échantillon est $V_1 - V_0$.

- Effectuer la manipulation.
- Calculer la masse volumique ρ (en $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) de chaque échantillon sachant que $\rho = M/V$, M étant la masse de l'échantillon, exprimée en grammes, V le volume de l'échantillon, exprimé en millilitres.
- Calculer la masse volumique moyenne de la croûte océanique en exploitant le schéma de la disposition des roches observées le long de la faille Véma, dans l'océan Atlantique (voir document 2, page 228).
- Montrer que la distribution verticale des roches du manteau et de la croûte océanique est fonction de leur masse volumique.

Capacités testées

Réaliser une manipulation selon un protocole précis.

Effectuer un calcul.

Effectuer un calcul.

Adopter une démarche explicative.

Exercice guidé

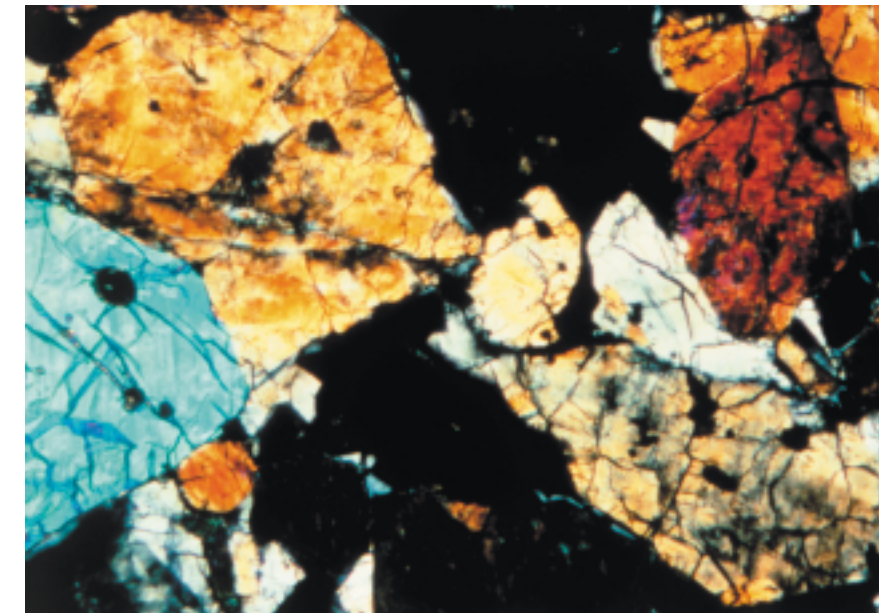
Pratique d'un raisonnement scientifique

Vers
le BAC

4. Les granitoïdes

ÉNONCÉ

La croûte continentale est de composition hétérogène. Entre autres roches, elle est constituée de roches magmatiques, essentiellement grenues regroupées sous le nom de granitoïdes.



Échantillon de granitoïde.

À partir de l'observation d'une lame mince d'un échantillon de granitoïde au microscope en lumière polarisée et analysée, justifier le terme de « granitoïde ».

AIDE MÉTHODOLOGIQUE

- Il faut repérer les mots-clés et les consignes.
- La lecture du document est orientée par la problématique, il faut saisir les seules informations qui sont nécessaires à la résolution du problème posé. Les déductions viennent ensuite.
- La synthèse fournit la réponse à la question posée.

AIDE À LA RÉOLUTION

- Il faut saisir des informations, c'est-à-dire donner la structure et identifier des minéraux en vous aidant de la clé de détermination fournie en fin d'ouvrage.
- À partir des connaissances acquises, rapprocher le granitoïde proposé d'une roche étudiée au cours de la séquence 5 par exemple.
- Enfin, mettre en relation les déductions et répondre à la question posée en insistant sur l'étymologie du terme proposé.

Restitution organisée des connaissances

5. Les ondes sismiques et la structure interne de la Terre

Vers le BAC

Montrer comment les ondes sismiques ont été utilisées pour démontrer l'hétérogénéité du globe terrestre.

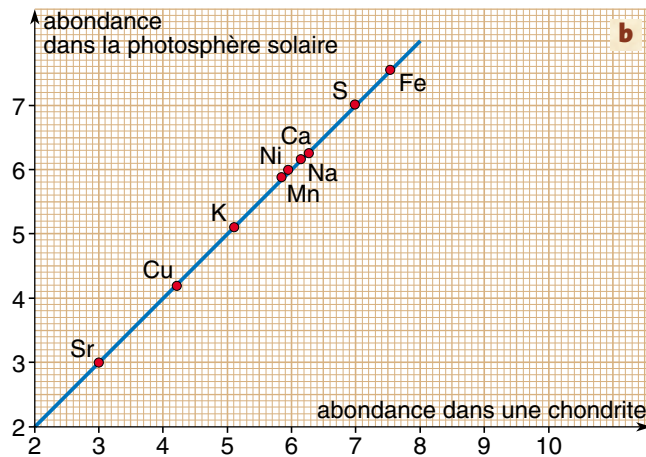
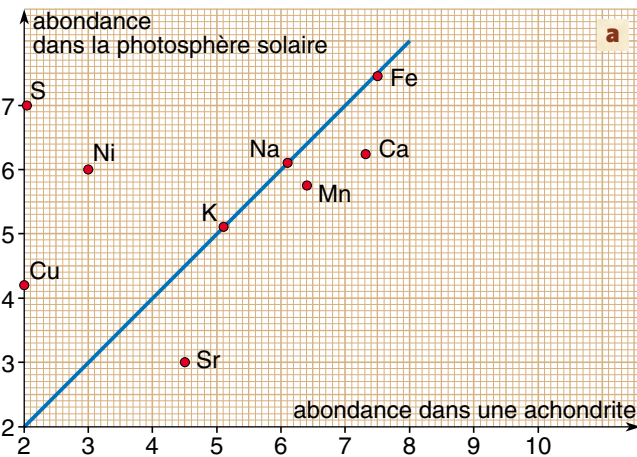
Pratique d'un raisonnement scientifique

6. Les informations déduites de la chimie des météorites

Vers le BAC

On compare l'abondance relative de quelques éléments chimiques dans la photosphère solaire, d'une part, dans différentes météorites, d'autre part.

Deux types de météorites sont ainsi étudiés : une achondrite collectée en Australie en 1960 (graphique a) et une chondrite tombée au Burkina-Faso en 1960 (graphique b).



- Après avoir comparé les deux graphiques, identifier la météorite que les chercheurs qualifient de « différenciée ». Donner quelques indications sur le type de différenciation qu'elle a subi.
- Préciser quel type de météorite est utilisé afin de connaître la composition chimique des régions profondes du globe terrestre. Justifier la réponse.

7. Le modèle de la structure interne de la Lune

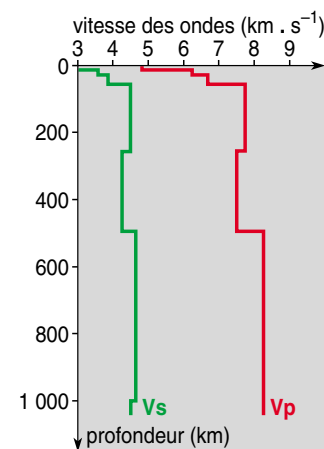
Les expériences de sismique lors des missions Apollo sur la Lune ont permis de construire le modèle de propagation des ondes P et S pour les 1 000 premiers kilomètres.

Le rayon moyen de la Lune est de 1 738 km.

En dessous de 1 000 km, on constate un ralentissement des ondes S. De plus, les données de densité moyenne permettent de penser qu'il existe un noyau d'environ 300 km de rayon. Le tableau suivant donne la vitesse des ondes P dans certaines roches terrestres.

Roches	Basalte	Péridotite
Vitesse des ondes P (km.s ⁻¹)	6,7	7,7

- Dégager les arguments qui permettent de comparer la structure de la Lune à celle de la Terre.
- Proposer un schéma utilisant les données précédentes et rendant compte des différentes enveloppes constituant la Lune.

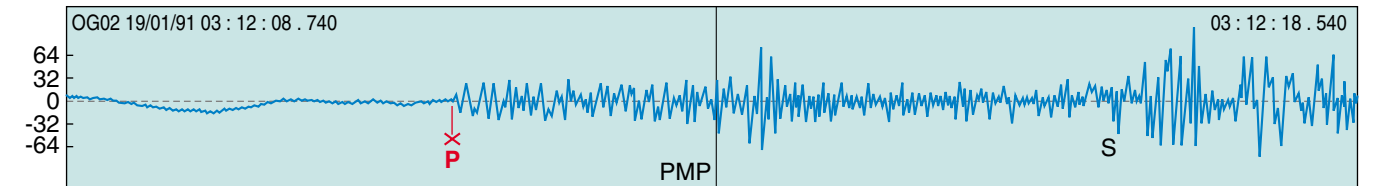


8. Calcul de la profondeur du Moho

On cherche à établir le délai séparant l'arrivée des premières ondes sismiques (ondes P directes) des ondes P réfléchies (ondes PMP) à une station d'enregistrement lors d'un séisme proche.

Ce délai, par application du théorème de Pythagore, permettra alors de calculer la profondeur de la discontinuité, le Moho, sur laquelle les ondes ont été réfléchies.

Document 1 Sismogramme reçu par la station OGo2 (Annemasse).

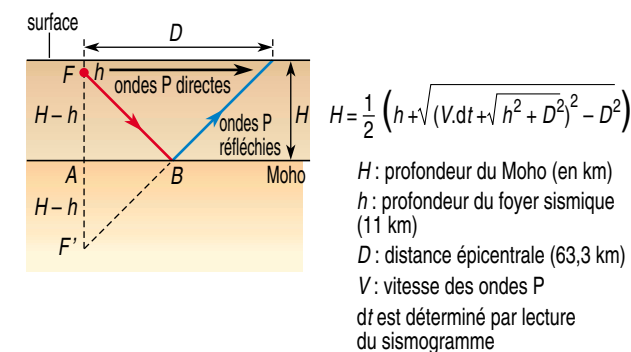


Données :

Date du séisme : 19/01/1991 ; heure du séisme : 03 h 12 min ; arrivée des ondes P : 3 h 12 min 08,740 s ; arrivée des ondes PMP : 3 h 12min 18,540 s.

Document 2 Formule permettant de calculer la profondeur du Moho sur laquelle les ondes P ont été réfléchies.

Document 3 Carte des profondeurs du Moho (en km) dans les Alpes françaises.



Le schéma indique comment calculer la profondeur du Moho (par application du théorème de Pythagore) après avoir établi le délai dt , séparant les ondes P des PMP sur un sismogramme.

En exploitant les différents documents fournis, expliquer comment il a été possible d'établir la carte des profondeurs du Moho dans une région des Alpes françaises.

