

www.tunisie-etudes.info

Ce document a été téléchargé depuis
www.tunisie-etudes.info

Des documents gratuits, devoirs, examens, cours, exercices, corrigés... Ainsi que toute une rubrique pour vous aider à trouver un emploi sans oublier les avis de concours en direct

Notre page Twitter :

<http://www.twitter.com/TunisieEtudes>

Notre page FaceBook :

<http://www.facebook.com/TunisieEtudes>

The screenshot shows the homepage of Tunisia-études.info. At the top, there is a navigation bar with the site name 'TUNISIE-ETUDES.INFO' and three menu items: 'Tous les documents', 'BAC', and 'Avis de co'. Below this is a 'Newsflash' section with a blue background and white text, stating: 'Tunisie-etudes.info vous aide dans votre préparation pour le concours de l'ENA. Documents de préparation pour le concours national tunisien de l'ENA'. A 'Home' button is visible below the newsflash. On the left side, there is a 'Main Menu' with a list of links: Home, News, Web Links, Documents, Primaire, Collège, Secondaire, and Supérieur. The main content area features a 'BIENVENUE SUR TUNISIE-ETUDES.INFO' section with a sub-heading 'Avis de concours', 'Écrit par Administrateur', and a date 'Mercredi, 20 Janvier 2010 08:47'. The text below reads: 'Accéder aux derniers avis de concours publier par les entreprises tunisiennes au jour le jour directement sur votre site'. There is a link 'Avis de concours en direct' and a section for 'Accès aux documents' with the text 'Écrit par Administratr'. At the bottom right, there are social media icons and the text 'Retrouvez nous sur FaceBook'.

Merci d'avoir choisi www.tunisie-etudes.info
Bonne lecture et bon travail

www.tunisie-etudes.info – www.algointro.info

SVT : Géologie

TunisieEtudes

Contenus

Articles

Géologie	1
Hydrogéologie	4
Pédologie (géotechnique)	8
Profil du sol	12
Pédogenèse (géologie)	14
Géodynamique	18
Structure interne de la Terre	19
Croûte terrestre	28
Croûte continentale	31
Croûte océanique	34
Subduction	37
Manteau (Terre)	42
Manteau (géologie)	44
Noyau (planète)	45
Lithosphère	47
Lithosphère océanique	48
Lithosphère continentale	49
Asthénosphère	49
Discontinuité de Gutenberg	50
Discontinuité de Mohorovicic	51
Tectonique des plaques	52
Plaque tectonique	58
Roche	60
Mer Méditerranée	63
Atlas (massif)	73
Atlas saharien	75
Dorsale tunisienne	76
Djebel Chambi	78
Atlas tellien	79

Références

Sources et contributeurs de l'article	81
Source des images, licences et contributeurs	83

Licence des articles

Licence

Géologie

La **géologie**, du grec ancien γη- (gê-, « terre ») et λογος (*logos*, « parole », « raison »), est la science qui traite de la composition, de la structure, de l'histoire et de l'évolution des couches internes et externes de la Terre, et des processus qui la façonnent. La géologie est une discipline importante parmi les sciences de la Terre. Associée à des méthodes de datation radiochronologiques et des études de météorites, elle a permis de déterminer l'âge de la Terre, que l'on estime actuellement à 4,55 milliards d'années. Elle intervient, en même temps que la géophysique appliquée, dans la recherche et/ou l'exploitation des ressources naturelles notamment le pétrole, le charbon, les minerais, les pierres précieuses et semi-précieuses et l'eau. Dans son acception actuelle, le terme *géologie* fut utilisé pour la première fois en français en 1751 par Diderot et créé en italien en 1603 par Aldrovandi. Le mot géologue est utilisé en 1799 par Jean André Deluc ; il fut fixé l'année suivante par Horace-Bénédict de Saussure.

Historique

Article détaillé : Histoire de la géologie.

- histoire de la volcanologie
- histoire de la minéralogie
- histoire de la paléontologie

Différentes disciplines apparentées

La géologie possède de nombreuses attaches avec d'autres sciences, parmi lesquelles il convient de citer :

- la géochimie de la croûte terrestre, qui étudie la chimie des couches superficielles de la Terre ; la géochimie des couches plus profondes concerne davantage la géophysique interne, ou physique du globe, que la géologie ;
 - la géophysique, organisée à l'échelle internationale dans l'Union géodésique et géophysique internationale (UGGI), qui étudie la structure et la composition interne de la Terre avec des outils empruntés à la physique et aux mathématiques ; contrairement aux sciences géologiques et minérales, qui sont des sciences essentiellement descriptives et qualitatives, les sciences géophysiques sont rangées parmi les sciences exactes et quantitatives ; les géologues entendent souvent sous le vocable « géophysique » seulement la *géophysique appliquée* (comprenant des méthodes sismiques, gravimétriques, magnétiques, électriques, électromagnétiques, ... appliquées à la prospection pétrolière et minière, à l'archéologie, aux études environnementales, etc.) ; l'hydrogéophysique fait partie de cette dernière ;
 - le génie sismique qui s'occupe d'études macrosismiques sur le terrain à la suite d'un tremblement de terre de quelq'importance ; il s'occupe aussi d'évaluer le risque sismique et de fixer des normes parasismiques pour un pays ou une région donnés ; il participe aussi à la surveillance de régions à risque et, si possible, essaye de prévoir des tremblements de terre futurs, soit par des méthodes statistiques, soit par des méthodes déterministes lorsque c'est possible ;
 - la paléosismologie est une branche de la sismologie directement tributaire de la géologie ; son but est de trouver dans des tranchées ou coupes géologiques des indices de séismes anciens, de les dater pour qu'ils puissent servir dans la prévision statistique des séismes, et de fournir aux géophysiciens des informations permettant éventuellement de quantifier (mécanisme au foyer, magnitude, moment sismique, ...) ces tremblements de terre anciens ;
 - l'hydrogéologie, qui étudie les écoulements des eaux souterraines, sachant que la nature du sous-sol traversé par les eaux influence directement la quantité et la qualité de l'eau émergeant à la source ou exhaurée du forage ;
 - la géomorphologie, qui étudie les formes du relief terrestre ; on considère qu'elle concerne plus le géographe que le géologue, et on la range le plus souvent parmi les branches de la géographie physique ;
-

- la minéralogie, qui étudie la nature, la composition et les propriétés physiques des minéraux qui composent les roches ;
- la paléontologie, qui étudie les organismes passés grâce à la description et à l'analyse des restes fossilisés ;
- la morphotectonique, qui étudie les conséquences morphologiques des processus tectoniques et d'érosion ;
- la micropaléontologie, qui étudie les fossiles microscopiques contenus dans les sédiments ;
- la pétrologie, qui étudie les mécanismes qui président à la genèse et à la transformation des roches ;
- la pétrographie, qui décrit la nature des roches et analyse leurs caractères structuraux, minéralogiques et chimiques ;
- la sédimentologie qui étudie les roches et les formations sédimentaires ; dans ce cas on parle également de stratigraphie qui étudie la succession des différentes couches géologiques ou strates ;
- la sismologie, qui étudie les tremblements de terre et la propagation des ondes sismiques naturelles ou provoquées (on parle alors de sismique) ; cette discipline est une branche importante de la géophysique, et seuls certains de ses résultats intéressent le géologue ;
- la volcanologie, qui analyse et tente de prévoir les phénomènes volcaniques, qui étudie la composition chimique et minéralogique et les processus de mise en place des produits volcaniques ;
- la géologie structurale qui est l'étude des déformations des roches et des mécanismes présidant à la déformation de ces roches à toutes les échelles ; à grande échelle, on parle de tectonique ;
- la métallogénie, qui étudie les mécanismes de formation des gisements métallifères et se propose de définir des outils méthodologiques et des guides de prospection utilisables par les explorateurs et prospecteurs miniers ;
- la géoarchéologie, qui étudie les sédiments archéologiques et les dépôts d'âge quaternaire ;
- l'exogéologie ou astrogéologie qui, grâce à des méthodes de télédétection, à l'expérimentation *in situ* ou en laboratoire et au prélèvement d'échantillons, étudie la composition, la structure et l'histoire de la surface des planètes du système solaire et de leurs satellites naturels, l'aréologie s'occupe plus particulièrement de la planète Mars. Cependant, géologie planétaire est le terme le plus utilisé;
- la géotechnique, qui travaille sur la mécanique des roches et des sols en amont du génie civil ;
- la géodésie, qui étudie la forme et les dimensions de la Terre ; celle-ci est une science exacte, sœur jumelle de l'astronomie, qui par sa partie gravimétrie se situe parmi les disciplines de la géophysique ;
- la spéléologie, concerne l'étude des cavités naturelles, le plus souvent en zone karstique ; cette étude englobe la connaissance géologique du terrain encaissant.



Éruption du mont Saint Helens en 1980

Notes et références

Voir aussi




Bibliographie

- R. Dars, *La Géologie*, 3^e éd., Collection « Que sais-je ? », Presses universitaires de France, Paris, 2000 (ISBN 2-13-050844-8)
- A. Foucault & J.-F. Raoult, *Dictionnaire de géologie*, 6^e éd., Dunod, Paris, 2005 (ISBN 2-10-049071-0)
- G. Gohau, *Une histoire de la géologie*, Collection « Points – Sciences », No. S66, Éditions du Seuil, Paris, 1990 (ISBN 2-02-012347-9)
- L. Moret, *Précis de géologie*, 4^e éd., Masson et Cie., Paris, 1962
- Ch. Pomerol, M. Renard & Y. Lagabrielle, *Éléments de géologie*, 12^e éd., Dunod, Paris, 2000 (ISBN 2-10-004754-X)
- F. Michel, *Roches et paysages*, brgm éditions, Belin, 2005, 256 pages (ISBN 2-7011-4081-1)

Articles connexes

- Patrimoine géologique
- Géochimie
- Géophysique
- Histoire de la géologie
- Liste de périodiques géologiques
- Paléontologie
- Sédimentologie
- Stratigraphie
- Structure interne de la Terre

Liens externes

- **(fr)** Catégorie géologie (http://www.dmoz.org/World/Français/Sciences/Sciences_de_la_Terre/Géologie/) de l'annuaire dmoz
- wikiMetallogenica (<http://wiki.ggl.ulaval.ca/wikimetallogenica>): description des types de gîtes minéraux
-  Portail des sciences de la Terre et de l'Univers
-  Portail de la géodésie et de la géophysique
-  Portail de la géographie

Hydrogéologie

L'**hydrogéologie** (de *hydro-*, eau et *géologie*, étude de la terre), également nommée **hydrologie souterraine** et plus rarement géohydrologie, est la science qui étudie l'eau souterraine. Son domaine d'étude repose essentiellement sur deux branches des sciences de la terre, la géologie et l'hydrologie, mais aussi sur de nombreuses autres branches comme par exemple la géostatistique, l'hydrochimie, la physique, la chimie, la biologie, la géochimie, l'hydrochimie, la géophysique, l'hydrodynamique, l'hydraulique souterraine, l'analyse numérique ainsi que des techniques de modélisation. À ce titre l'hydrogéologie est par excellence une science interdisciplinaire.

L'hydrogéologie s'occupe de la distribution et de la circulation de l'eau souterraine dans le sol et les roches, en tenant compte de leurs interactions avec les conditions géologiques et l'eau de surface.

Introduction

L'hydrogéologie comme la plupart des sciences de la terre est une branche interdisciplinaire. Bien que les principes de base de l'hydrogéologie soient intuitifs (par exemple: l'eau coule vers le bas), l'étude de leurs interactions peut être très complexe. De façon générale le fait de prendre compte les interactions de différentes facettes d'un système à plusieurs composantes demande une connaissance de plusieurs branches autant au niveau expérimental que théorique. Ces précautions étant prises, le présent article s'intéressera plutôt aux méthodes et à la nomenclature de l'hydrogéologie.



Peinture de Ivan Aïvazovski (1841).

L'hydrogéologie par rapport à d'autres branches

Comme on l'a vu précédemment, l'hydrogéologie est une branche des sciences de la terre qui s'occupe du flux de l'eau souterraine à travers les aquifères et autres milieux poreux peu profonds (généralement moins 1000 mètres sous la surface). Le flux de l'eau très peu profonde (plus haute que 3 mètres sous la surface) est une branche pertinente pour la pédologie, l'agriculture et le génie civil, autant que pour l'hydrologie. Le flux de fluides que l'on trouve dans des formations plus profondes (tels que l'eau mais aussi les hydrates de carbone et les fluides géothermiques) est aussi important pour la géologie, la géophysique et la géologie du pétrole. L'eau souterraine est un fluide visqueux (avec un nombre de Reynolds plus petit que 1) qui coule lentement (à l'exception près d'environnements géologiques particuliers comme les conduits karstiques parcourus par les rivières souterraines, les alluvions très grossières et les roches fracturées). Beaucoup de lois déduites empiriquement de l'eau souterraine peuvent également être déduites de la mécanique des fluides par le cas particulier de *flux de Stokes* où l'on considère des termes de viscosité et de pression, mais pas d'inertie.

Les relations mathématiques utilisées pour décrire le flux de l'eau à travers un milieu poreux sont l'équation de diffusion et l'équation de Laplace. Ces deux équations ont des applications dans plusieurs champs différents. Le flux régulier de l'eau, décrit par l'équation de Laplace, a été simulé grâce à des analogies d'électricité, d'élasticité et de conduction thermique. Le flux de transition de l'eau souterraine est similaire à la diffusion de la chaleur dans un solide, de sorte que certaines solutions à des problèmes hydrologiques ont été adaptées de celles de la conduction

thermique.

Traditionnellement le mouvement de l'eau souterraine a été étudié indépendamment en hydrologie, en climatologie, en chimie et en microbiologie. Avec la maturation de l'hydrogéologie, les fortes interactions entre l'eau souterraine, l'eau de surface, la géochimie, l'humidité du sol et le climat deviennent de plus en plus claires.

Définitions et propriétés

Article principal: aquifère

Un aquifère est au sens strict une formation géologique perméable qui contient de l'eau, par opposition à un aquitard ou un aquiclude qui sont tous deux peu perméables (mais la distinction entre les deux termes prête à confusion). On parle généralement d'aquitard pour désigner une formation géologique peu perméable (relativement à la formation considérée comme perméable). On gardera ici à l'esprit que le caractère perméable d'une formation géologique est relatif. Un grès peut être considéré comme perméable par rapport à un niveau argileux, mais devient peu perméable si on le compare à des dépôts graveleux grossiers par exemple.

L'écoulement de l'eau souterraine peut être non-confiné (libre) ou confiné (captif). Dans le premier cas, le niveau de la surface libre de l'écoulement souterrain peut se déplacer verticalement sans limite vers le haut (jusqu'à la surface topographique). Dans le deuxième cas, la présence d'un niveau peu perméable ne permet pas l'élévation du niveau de la surface libre. Dans le cas d'un écoulement libre, le potentiel hydraulique à la surface libre de l'écoulement est égal à l'altitude de ce point. Dans le cas d'un écoulement confiné, le potentiel hydraulique est supérieur ou égal à l'altitude du mur de la formation peu perméable située au-dessus de l'écoulement.

Dans le cas d'un écoulement confiné, l'aquifère est entièrement saturé en eau (saturation=1 ou 100%). On parle d'écoulement saturé. Dans le cas d'un écoulement libre, on distingue une partie de l'aquifère saturée en eau (c'est la zone saturée), et une partie pour laquelle la saturation est inférieure à 1, c'est la zone non-saturée qui est située au-dessus de la zone saturée. La zone de transition entre la zone saturée et la zone non-saturée est appelée la frange capillaire.

Potentiel hydraulique

Le gradient de potentiel hydraulique (concrètement, la différence de niveau d'eau dans deux puits occupant la même nappe) est à l'origine du déplacement des masses d'eau - l'eau se déplaçant du potentiel le plus haut vers le plus bas. La loi de Darcy, valable uniquement pour les milieux saturés, postule que le débit d'eau à travers une surface donnée d'un aquifère est proportionnel au gradient hydraulique. Le rapport entre le débit et le gradient hydraulique est la conductivité hydraulique (perméabilité étant un terme à éviter).

Le potentiel hydraulique est une propriété directement mesurable. Il peut être mesuré à l'aide d'un transducteur de pression. Cette valeur peut être négative dans le cas de la succion, mais elle est positive dans les aquifères saturés. Un enregistrement du potentiel hydraulique sur un puits et pendant un certain temps est appelé un hydrographe.

Porosité

article principal: Porosité.

La porosité (n) est une propriété directement mesurable d'un aquifère. C'est une fraction entre 0 et 1 qui indique la quantité d'espace vide entre des particules de sol libres ou dans une roche fracturée. Il faut distinguer l'existence de ces vides, de leur interconnexion (qui, elle, permet à un fluide de circuler).

On distingue :

- La porosité de matrice, liée à l'agencement des vides entre les grains dans les roches sédimentaires (30% pour les sables et grès, 1% pour les roches cristallines).

- La porosité de fractures, liée aux diaclases et fractures, typiquement dans les roches endogènes de type granite. Les fractures y sont souvent conjuguées, ce qui permet un réseau connecté, sauf si bouché par de l'argile.
- La porosité totale notée n , qui est le rapport du volume occupé par les vides par le volume total de la roche.

La porosité n'affecte pas directement la distribution des potentiels hydrauliques dans un aquifère, mais elle a un effet très fort sur la migration de contaminants, parce qu'elle affecte la vitesse du flux de l'eau souterraine par une relation proportionnelle inverse.

Contenu en eau

Le contenu en eau, ou teneur en eau (θ) est une propriété directement mesurable. Elle représente la fraction de la roche qui est pleine d'eau liquide. C'est une fraction entre 0 et 1, et elle doit être inférieure ou égale à la porosité totale.

Le contenu en eau est très important en hydrologie de la zone vadose où la conductivité hydraulique est une fonction fortement non-linéaire du contenu en eau. Cela complique la solution de l'équation de l'écoulement non-saturé de l'eau souterraine.

Conductivité hydraulique

La conductivité hydraulique (K) et la transmissivité (T) sont des propriétés indirectes de l'aquifère. T est égale à K intégré sur l'épaisseur verticale (b) de l'aquifère. Ces propriétés sont des mesures de la capacité d'un aquifère à conduire l'eau. La perméabilité (κ) est une propriété secondaire du milieu. Elle ne dépend pas de la viscosité ni de la densité du fluide. K et T sont spécifiques à l'eau. La perméabilité est surtout utilisée dans l'industrie pétrolière.

Stockage spécifique et rendement spécifique

Le stockage spécifique (S_y) et son équivalent intégré sur la profondeur, la stockativité, sont des propriétés indirectes de l'aquifère: elles ne peuvent pas être mesurées directement.

Elles indiquent la quantité d'eau du sol évacuée par le stockage à cause d'une unité de dépressurisation d'un aquifère confiné. Ce sont des fractions entre 0 et 1.

Le rendement spécifique (S_y) est également une fraction entre 0 et 1 ($S_y \leq$ porosité) qui indique la quantité d'eau évacuée par le drainage dû à un abaissement de la table d'eau dans un aquifère non conditionné. Généralement S_y est plusieurs ordres de grandeur plus grand que S_s . La porosité ou la porosité effective est souvent utilisée comme borne supérieure au rendement spécifique.

Équations fondamentales d'état

Loi de Darcy

Article détaillé : Loi de Darcy.

La loi de Darcy est une équation (obtenue empiriquement par Henry Darcy en 1856 énonce que la quantité d'eau du sol déchargée à travers une portion donnée de l'aquifère est proportionnelle à l'aire qui sectionne le flux, le gradient portion hydraulique et la conductivité hydraulique.

Équation de flux d'eau du sol

L'équation de flux d'eau du sol, dans sa forme la plus générale, décrit le mouvement de l'eau du sol dans un milieu poreux (un aquifère ou un aquitard). Elle est connue en mathématique sous le nom d'équation de diffusion, et elle a beaucoup d'analogues dans d'autres branches. Beaucoup de solutions du flux d'eau du sol ont été empruntées ou adaptées de solutions existantes de la conduction thermique.

Elle est souvent dérivée d'une base physique en utilisant la loi de Darcy et la conservation de la masse pour un petit volume de contrôle. L'équation est souvent utilisée pour prédire un flux vers des puits, qui ont une symétrie radiale, de sorte que l'équation de flux est communément résolue avec des coordonnées polaires ou cylindriques.

Le test d'aquifère est l'une des solutions les plus utilisées et les plus fondamentales de l'équation de flux d'eau du sol. Elle peut être utilisée pour prédire l'évolution de la tête due à l'effet d'un pompage ou de plusieurs puits de pompage.

La solution de Thiem résout l'équation de flux de l'eau de sol à l'équilibre (équation de Laplace). L'équilibre réel est rarement atteint en réalité à moins de la présence de larges sources d'eau proches (un lac ou une rivière).

Annexes



Articles connexes

- **Généralités**
 - Hydrologie
 - Géologie
 - Eau
 - Source (eau)
- **Concepts**
 - Aquifère
 - Nappe phréatique
 - Puits artésien
- **Modélisation**
 - Loi de Darcy
 - Cycle de l'eau
 - Hydrosphère
 - Hydrodynamique
 - Hydrostatique
 - Ressources en eau

Bibliographie

- GILLIE, MANGAN.C, MUDRY.J, (2006), *Hydrogéologie : objets, méthodes et applications*, Dunod, Paris
 - BANTON O. & BANGOY L.M., (1997), *Hydrogéologie, Multiscience environnementale des eaux souterraines*, Presses de l'Université du Québec/AUPELF
 - CASTANY.G, (1982), *Hydrogéologie Principes et méthodes*, Dunod, Paris
 - MARSILY G., (1981), *Hydrogéologie quantitative*, Masson
-

Liens externes

- Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon ^[1]
- H2EA, Bureau d'étude en hydrogéologie, Nice ^[2]
-  Portail des sciences de la Terre et de l'Univers
-  Portail de l'eau

Références

[1] <http://www.terre-et-eau.univ-avignon.fr/>

[2] <http://www.h2ea.fr/>

Pédologie (géotechnique)



Des informations de cet article ou section devraient être mieux reliées aux sources mentionnées dans la bibliographie.

Améliorez sa vérifiabilité en les associant par des références.

La **pédologie** (du grec *Pedon, sol*) est avec l'édaphologie (ou agrologie), une des deux branches principales de la science des sols, de leur formation et de leur évolution.

C'est une discipline qui s'appuie sur l'étude des réactions réciproques entre les différentes phases (liquide, gazeuse, solide) composant le sol. Elle trouve des applications certes dans l'agriculture, l'horticulture, la sylviculture mais aussi dans l'hydrologie (rétention de l'eau par le sol), dans la pollution (filtration des eaux), dans l'archéologie (conservation d'archives végétales, animales, restes d'industries humaines), dans la construction (dans le Monde, les maisons sont très souvent en terre), dans l'industrie minière (le sol est le résidu de la roche sous-jacente et concentre certains éléments, l'or par exemple). En donnant, par la cartographie, une image de la répartition des sols, la discipline intéresse encore la géographie, l'écologie du paysage et même la climatologie (échange d'eau avec l'atmosphère), enfin le changement climatique (échange de carbone entre le sol et l'atmosphère via le CO₂).

Origine

Le sol a été étudié par les Grecs et les Latins, puis par les agronomes andalous au Moyen Âge. La science des sols prit son essor au XVI^e siècle avec Bernard Palissy et Olivier de Serres, se développa au XVIII^e, devint un sujet d'étude important au XIX^e siècle, en particulier avec les travaux du géologue russe Vassili Dokoutchaïev.



Pédologue observant les strates, inclusions et structures du sol, dans une fosse pédologique

La **diversité des noms** associés à cette discipline est liée aux divers corps de métiers concernés. En effet, les agronomes, les chimistes, les géologues, les géographes, les biologistes, les sylviculteurs, les spécialistes de l'aménagement du territoire ont tous contribué à faire avancer les connaissances en matière de sols et de formation des sols.

Pédologie ou science des sols

Dans les débuts, les utilisateurs (agronomes, architectes) se sont peu préoccupés de la dynamique à long terme du sol. Ils voyaient avant tout celui-ci comme un milieu immuable dont il suffisait d'examiner le fonctionnement à court terme: circulation interne des fluides (eau, gaz), structuration (compactage versus foisonnement naturel ou provoqué), réactivité (capacité de fixer des anions ou cations). Les pédologues au contraire scrutaient les évolutions à long terme. Aujourd'hui, on observe une réunification des deux disciplines, science des sols (étude du fonctionnement) et pédologie (vue dynamique). Les divers acteurs comprennent que le sol cultivé est **un milieu en équilibre**, résultant souvent de plusieurs milliers d'années d'évolution et d'interactions complexes entre les espèces vivantes et espèces minérales. Cet équilibre est fragile et seule une connaissance approfondie de son histoire et de son fonctionnement permet de le mettre en valeur de façon durable pour l'agriculteur et le sylviculteur. Le sol est un milieu fragile, c'est une ressource non-renouvelable.

L'étude du sol mobilise différentes disciplines, en particulier physique, chimie, minéralogie, biologie. Elle examine les constituants de la terre (minéraux, matières organiques), leur agencement (granulométrie, structure, porosité), leurs propriétés physiques (transfert de l'eau et de l'air), leurs propriétés chimiques (rétention des ions, pH). Elle porte des diagnostics sur les types de sol (classification) et sur leur dynamique (types de genèse: pédogenèse). Elle en déduit des applications (fertilité).

Les processus fongiques et bactériens liés à la faune et à la flore sont importants à considérer. Par exemple, beaucoup d'antibiotiques ont été découverts dans les sols.

La cartographie des sols se développe, avec notamment les cartes de pédo-paysages (exemple ^[1]).



Échantillons de sol



Exemple de profil de sol

Profil du sol

Article détaillé : Profil du sol.

Sur une coupe verticale, on observe que le sol est généralement constitué de plusieurs couches horizontales superposées appelées pour cela "horizons". Ceux-ci se différencient par de nombreux caractères: épaisseur, couleur, teneurs en sables, limons et argile, composition chimique, colonisation par les racines, etc. L'ensemble des horizons constitue un profil de sol. Celui-ci s'étend vers le bas jusqu'à la roche sous-jacente, la roche mère si elle est bien à l'origine du sol qui la surmonte. Il existe différents types de profils définissant des types de sols. Par exemple: calcosol, podzosol, luvisol. Le classement intervient en utilisant différents systèmes connus au plan international comme la *World Soil Reference Base* (WRB) ou le Référentiel pédologique français (RP).

Pédogenèse

Article détaillé : Pédogenèse (géologie).

C'est la science de l'évolution des sols. Dokoutchaiev a démontré que le sol est le résultat de l'action du climat sur les roches mais la topographie, les agents biologiques (êtres vivants) et la durée modifient les conditions et le degré d'altération. Au fur et à mesure de son évolution, le sol s'approfondit et se différencie en horizons. Souvent, un équilibre relativement stable s'instaure et le sol prend une morphologie caractéristique d'un climat donné. Par exemple : luvisol de la forêt tempérée froide. C'est le "climax". Mais, certains sols continuent de se transformer jusqu'à des formes matérialisant un âge avancé et des formes de décrépitude. D'autres sont constamment rajeunis par l'érosion.

Le degré d'évolution d'un sol s'apprécie par l'assemblage des espèces minérales qu'il contient et qui n'existent pas dans la roche sous-jacente. On tient compte aussi de la nature et de l'âge des composés organiques présents.

Applications

Les applications de la pédologie sont multiples et ont été données plus haut, de manière non exhaustive. La loi sur les risques, qui oblige les personnes à réaliser des études de sol préalablement à toute construction d'habitation, fait avancer la discipline. Il convient en particulier de vérifier qu'il n'y a pas de risque de fissuration des murs, phénomène qui coûte très cher aux assurances. Cela concerne aussi les aménagements des terroirs pour l'étude agronomique pour utilité publique, notamment en Afrique pour le développement sectoriel intégré.

Notes et références

[1] <http://www.sir-poitou-charentes.org/MILIEUXPHYSIQUES/DOCENLIGNE/RPR/Vienne.asp>

Annexes

Articles connexes



- Agronomie
- Cycles du carbone, de l'Azote, phosphore
- Sylviculture et écologie forestière (typologie des stations)
- Humus, Sol
- Complexe argilo-humique
- Terra preta
- Biochar
- Bois raméal fragmenté
- Activation biologique du sol

- Transfert de fertilité
- Engrais vert
- Érosion
- Référentiel pédologique français
- Pédologue
- Labour, Agriculture sans labour
- culture sur sols inversés
- Puits de carbone
- Cartographie des corridors biologiques
- Trame verte
- Directive cadre pour la protection des sols
- Analyse de sol

Bibliographie

- *Le sol la terre et les champs - Pour retrouver une agriculture saine* Claude et Lydia Bourguignon éditions du Sang de la Terre, 2008
- Duchaufour Philippe, *L'évolution des sols, essai sur la dynamique des profils*, Masson, Paris 1968
- Duchaufour Philippe, *Introduction à la science du sol* 6ème édition Dunod, 2001
- Fitzpatrick Ewart Adsil, *Pedology*, Oliver & Boyd, Edinburgh 1971
- Henin Stephane, Monnier Geneviève, Gras Raymond, *Le profil cultural: l'état physique du sol et ses conséquences agronomiques*, Masson, Paris 1969
- D. L. Rowell: *Bodenkunde. Untersuchungsmethoden und ihre Anwendungen*. Springer, Berlin. 1997. (ISBN 3540618252)
- D. Schroeder, W. E. H. Blum: *Bodenkunde in Stichworten*. (Hirts Stichwortbücher) Borntraeger, Berlin/Stuttgart. 1992. (ISBN 344303103X)
- Saltini Antonio, *Storia delle scienze agrarie*, 4 voll., Bologna 1984-89, (ISBN 88-206-2412-5), (ISBN 88-206-2413-3), (ISBN 88-206-2414-1),
- R. Calvet *Le sol, propriétés et fonctions* (2003). Collection La France Agricole.
- J. P. Legros, *Les Grands Sols du Monde*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne. 2007. 574 p.
- Jean-Michel Gobat, Michel Aragno, Willy Matthey, *Le sol vivant: Bases de pédologie - Biologie des sols*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne 2003. (ISBN 2880745012), (ISBN 978-2880745011)

Liens externes

- AFES (Association française pour l'étude du sol (<http://www.afes.fr>))
-  Portail de l'agriculture et l'agronomie
-  Portail des sciences de la Terre et de l'Univers

Profil du sol

Le **profil de sol** est l'ensemble des *horizons* d'un sol donné ; chaque horizon étant une couche repérable et distincte de ce sol. On parle aussi de *solum* ou des *horizons du sol*.

Ces horizons sont d'autant plus distincts que le sol est évolué. En effet, la formation et l'évolution du sol sous l'influence des facteurs écologiques conduisent à la différenciation de couches de natures différentes plus ou moins parallèlement à la surface.

L'expression "profil de sol" est aussi utilisée en Agronomie pour parler du profil cultural, qui ne concerne que les sols cultivés.

Horizon O

C'est l'horizon organique (ou humus) dans lequel les débris végétaux s'accumulent à la surface du sol.

- **OL** : Couche de feuilles ou d'aiguilles mortes, encore reconnaissables

Cette couche de feuilles peut être divisée en deux parties suivant la vitesse de décomposition : •OLn : *feuilles de l'année* encore entières ; •OLv : *feuilles vieilles*, blanchies par un début de décomposition et commençant à être fragmentées.

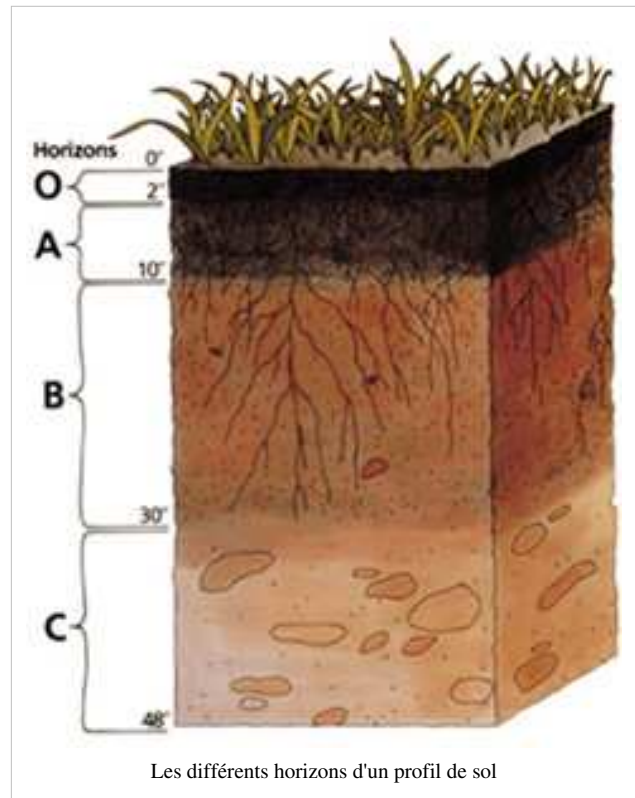
- **OF** : Couche de fragmentation dans laquelle les débris ne sont plus reconnaissables.
- **OH** : Couche humifiée, absence de toute structure végétale reconnaissable à l'oeil.

Horizon A

L'horizon A est par définition un horizon contenant à la fois de la matière organique et de la matière minérale. Dans quelques rares cas, il résulte principalement de la pénétration de la matière organique dans le sol sous forme de constituants solubles. Mais, en général, il est le résultat d'un brassage mécanique par les organismes vivant dans le sol (vers, insectes) ou bien matérialise l'intervention de la charrue dans le cas des sols cultivés.

Horizon E

Il correspond à un horizon appauvri par le départ de constituants solides ou leur solubilisation in situ. C'est l'horizon *éluvial*. Il résulte en général d'une perte d'argile, de fer, ou de matière organique par lessivage, il se reconnaît donc par la concentration relative d'éléments plus grossiers, en particulier sables ou limons. Sa couleur est souvent plus claire.



Horizon B

C'est un horizon enrichi ou horizon *illuvial*. Il est enrichi en divers constituants, suivant les cas: argile, fer, matière organique, carbonate de calcium, etc. Dans certains cas plutôt rares, il s'agit d'apports en provenance du haut du profil ou bien latéraux (ex: carbonate de calcium). Mais, bien souvent, il s'agit d'un enrichissement plus apparent que réel. Il résulte pour une part de la transformation in situ des minéraux primaires issus de la roche sous-jacente et encore présents dans ce B (argilisation des micas, libération et oxydation du fer...), et d'autre part, il apparaît comme résultant d'un contraste lié au fait que l'horizon E sus-jacent est lui, réellement appauvri.

Au total il est distingué par sa couleur, sa structure, la nature de ses constituants, sa granulométrie.

Horizon S


C'est un horizon B peu évolué dans lequel on observe des changements de couleur et l'apparition d'une structure réellement pédologique remplaçant la structure originelle de la roche. Mais, il n'y a pas enrichissement net en argile ou autres matières.

Horizon C

C'est un horizon d'altération de la roche mère dans lequel la transformation de celle-ci reste limitée si bien que nombre de ses caractères originels (litage, schistosité, minéraux) sont encore très visibles. Mais l'évolution minéralogique a déjà commencé ainsi que les pertes de matière sous forme d'ions solubles.

Horizon R

Roche non altérée située à la base du profil. Elle est qualifiée de roche-mère dans le cas où elle est bien à l'origine du sol. Dans le cas contraire, celui-ci résulte d'un apport de matériaux par transfert latéral (ex: coulée boueuse) ou bien a une origine fluviatile ou encore éolienne.

-  Portail des sciences de la Terre et de l'Univers

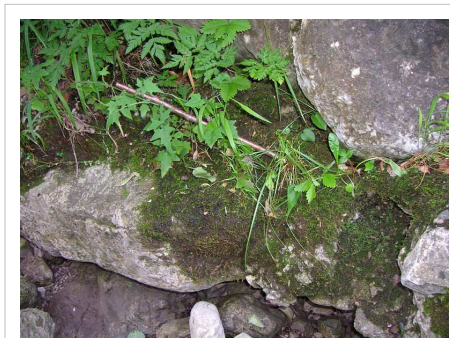
Pédogenèse (géologie)

🔗 Pour les articles homonymes, voir Pédogenèse.

La **pédogenèse**, (du grec *pedon*, sol, et de *genèse*) est l'ensemble des processus (physiques, chimique et biologiques) qui, en interaction les uns avec les autres, aboutissent à la formation, la transformation ou la différenciation des sols.

Composantes de la pédogenèse

Le russe Vassili Dokoutchaïev est considéré comme le père d'une vision moderne de la pédogenèse dans la mesure où il est le premier à affirmer, à la fin du XIXe siècle, que le sol dépend à la fois de la roche, du climat, de la morphologie, des agents biologiques et du temps.



Amorce d'une pédogenèse sur une pierre calcaire

La roche

Les sols héritent directement certains caractères des roches qui leurs donnent naissance; par exemple, dans leur jeunesse au moins, ils sont calcaires sur roche calcaire et acides sur roche acide.

Le climat

En schématisant énormément on peut dire qu'il existe trois types de climats; ceux dans lesquels les sols ont tendance à s'appauvrir car ils sont traversés par d'importantes quantités de pluie; ceux dans lesquels l'eau n'est pas en quantité suffisante pour lessiver les ions qui sont libérés par l'altération si bien que ces ions s'accumulent au sein du sol et que le risque de salinisation existe si le sodium (Na) est abondant dans l'environnement; les autres sols en quelque sorte en équilibre avec le climat. Ces derniers se révèlent les meilleurs car ils sont ni trop pauvres ni trop riches en Na, Ca, etc.

Le temps

Le processus de lessivage par l'eau que nous venons d'évoquer demande du temps. Il faut au moins cent mille ans pour créer un sol "lessivé" (ou "planosol"), l'un et l'autre extériorisant des phénomènes d'appauvrissement dans leurs parties supérieures. La longueur des temps pédologiques a été longtemps méconnue, faute de moyens sérieux de mesure; c'est pourquoi on trouve encore, dans certains traités, des erreurs comme celle qui prétendent qu'il faut seulement mille ans pour faire un sol lessivé ou 100 000 pour faire un sol latéritique. En Afrique, l'unité de durée, en pédogenèse, est le million d'années voire la dizaine de millions d'années...

Les agents biologiques

Il s'agit de racines, animaux fouisseurs, champignons, bactéries, homme...). Ils agissent mécaniquement (brassage des couches du sol) et surtout chimiquement. En effet, tous les organismes du sol respirent et fournissent du dioxyde de carbone (CO_2). Or, celui-ci, dissous dans l'eau, se comporte comme un acide car $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ donne H_2CO_3 qui donne H^+ et HCO_3^- ; ce dernier ion se dissocie encore en CO_3^{--} et H^+ à nouveau. Bien sûr, il s'agit d'acides faibles car la dissociation est loin d'être complète. Mais, les protons H^+ sont libérés continuellement et pendant des milliers d'années si bien qu'aucun minéral ne peut leur résister totalement, pas même le quartz. En plus, le CO_2 atmosphérique, qui pénètre le sol, agit de la même façon que le CO_2 issu de la respiration.

La topographie

L'eau qui circule sur les pentes véhicule à la fois des ions en solution et des matières en suspension. Parfois, c'est toute la couverture pédologique qui se déplace vers le bas. Avec le temps, cela provoque une différenciation des sols sur les versants.

Dans ces conditions la couverture pédologique est variée depuis les terres septentrionales jusqu'à l'équateur, en relation avec la variabilité climatique générale et avec les caprices locaux de la géologie. Cette couverture se transforme avec le temps; les sols jeunes trouvés sur des roches nouvellement portées à l'affleurement sont riches en éléments solubles (Na, K, Ca, Mg) qui disparaissent lentement en climat humide et font le plus souvent défaut sur les vieux boucliers stables de la planète. Ce dernier cas est celui de l'Afrique équatoriale et de l'Amazonie où les sols sont excessivement pauvres. Par ailleurs, les sols cultivés diffèrent des sols maintenus sous végétation forestière par toutes sortes de caractères. L'évolution se fait parfois dans le bon sens (enrichissement artificiel en Ca, P, etc.) et parfois dans le mauvais (salinisation anthropique, érosion...).

Enfin, partout, il faut faire la distinction entre les sols des points hauts du relief et ceux des points bas.

Processus de pédogenèse

Dans le détail, une combinaison déterminée des 5 facteurs présentés ci-dessus, définit un processus donné de pédogenèse.

Par exemple, l'hydromorphie correspond au cas où le pédoclimat du sol est excessivement humide à cause du climat et/ou de l'imperméabilité de la roche qui empêche le drainage de l'eau vers le bas. Il en résulte la saturation des pores du sol par l'eau et le blocage de la circulation de l'oxygène. Les plantes souffrent. Les micro-organismes classiquement présents dans le sol laissent la place à d'autres et parfois s'adaptent. Beaucoup cherchent de l'oxygène et sont capables de capturer celui qui est associé à l'azote (nitrates) ou au fer (oxydes de fer). Il en résulte des phénomènes de réduction qui ont d'importantes conséquences agricoles et environnementales.

Par exemple aussi, sur les flancs des volcans, donc en montagne, le climat est agressif (il pleut beaucoup) et les roches sont particulièrement altérables car divisées (cendres, lapillis...) et largement vitreuses au lieu d'être parfaitement cristallisées. Elles s'altèrent très facilement et très rapidement. Elles fournissent des tétraèdres de silice et des chaînes aluminiques. Si le climat avait été chaud et sec, il y aurait eu co-précipitation et formation d'alumino-silicates, autrement dit d'argiles. Mais, en climat froid et humide, la matière organique est abondante dans les sols et elle bloque l'évolution vers les silicates. C'est l'andosolisation. Elle se traduit par le maintien de produits mals cristallisés improprement appelés "amorphes" qui donnent aux sols, aux "Andosols" plutôt, des propriétés totalement différentes de celles de tous les autres sols du Monde (forte capacité d'échange d'anions, rétention en eau exceptionnelle, thixotropie, etc.).

Les processus de pédogenèse

Au total, les spécialistes distinguent moins de vingt processus majeurs de pédogenèse. Les principaux sont :

- **Alcalinisation** : Accumulation d'ions Ca^{++} sur le complexe absorbant du sol.
- **Andosolisation** : voir ci-dessus.
- **Anthropisation** : action prépondérante de l'homme.
- **Argilluviation** : apparition de sols présentant une partie médiane enrichie en argile, phénomène anciennement attribué à une redistribution verticale de l'argile mais qui est maintenant jugée accessoire.
- **Calcification** : maintien ou apparition de carbonates, voire de gypse en milieu sec.
- **Cryoturbation** : remaniement du sol sous l'action du gèl-dégèl.
- **Ferralisation** : dégradation de tous les minéraux, élimination des bases, et de la silice, concentration sur place de l'aluminium et du fer).
- **Fersiallisation** : formation d'argiles semi-riches en silice et liées au fer.

- **Hydromorphysation** : voir ci-dessus.
- **Mélanisation** : accumulation de matière organique qui fonce la couleur du sol.
- **Podzolisation** : dégradation des minéraux primaires sauf le quartz, redistribution locale du fer et de l'aluminium.
- **Salinisation** : accumulation de sels dans la solution du sol, NaCl en particulier.
- **Silification** : concentration et accumulation locale de silice.
- **Sodisation** : dégradation du sol par suite de l'alcalinisation.
- **Tourbification** : accumulation de matière organique peu évoluée sous l'effet de l'excès d'eau et souvent du froid.
- **Vertisolisation** : apparition d'argiles gonflantes en forte proportion; phénomènes associés.

Mécanismes fondamentaux

Les processus passés en revue mettent en jeu un faible nombre de mécanismes fondamentaux de nature physico-chimique. Ce sont en particulier :

Les phénomènes de fragmentation

Les éléments issus des roches sont progressivement divisés ce qui accroît leur surface externe et rend plus facile leur altération chimique ultérieure. Cependant, la fragmentation n'est pas toujours purement mécanique (comme par exemple dans le cas du gel); souvent, la séparation des cristaux constituant la roche est déjà d'origine chimique, dans le cas d'un granite par exemple (intervention de l'altération des micas, thèse de Michel Robert en 1970).

Les phénomènes de dissolution

Certains minéraux solubles ont tendance à disparaître du sol entraînés par l'eau tandis que d'autres, moins solubles ou insolubles, s'y concentrent en valeur relative.

Les phénomènes d'hydrolyse

Si la dissolution correspond à une mise en solution aqueuse des ions issus des minéraux, l'hydrolyse est un peu plus complexe en ce sens, qu'en plus d'ions en solution, elle fournit de nouveaux minéraux; par exemple: feldspath + eau donne argile + ions en solution.

Les phénomènes d'oxydo-réduction

Nous avons vu plus haut que le sol pouvait être pauvre en oxygène, lorsqu'il y a un excès d'eau qu'il soit permanent ou bien intervienne seulement à certaines périodes de l'année. Certains minéraux, le fer en particulier, peuvent s'oxyder ou se réduire, ce qui correspond à l'apparition d'oxydes de différentes natures et couleurs. Des microorganismes de toutes sortes jouent dans ce phénomène un grand rôle; pour certains, l'oxydation est source d'énergie; pour d'autres, la réduction leur procure de l'oxygène...

Les phénomènes de transfert

Des ions peuvent être déplacés dans les sols ou même être exportés hors des sols. Parfois cela résulte d'une simple mise en solution, parfois cela s'explique par des phénomènes de complexation par des molécules organiques lorsque les ions en cause ne sont pas réputés solubles (Al+++ et Fe+++ en particulier). Des matières en suspension (argile) peuvent aussi migrer.

Les phénomènes de précipitation

Dans les couches moyennes ou inférieures du sol, il y a souvent précipitation des éléments transférés. Les causes sont diverses (changement de pH, diminution de la quantité d'eau servant de vecteur car les couches inférieures du sol ne sont pas toujours atteintes par la pluie, etc.).

Les néoformations

Les phénomènes d'altération, de transferts et précipitations, amènent en un même lieu des ions qui peuvent co-précipiter et donner des minéraux nouveaux. Par exemple, dans certains cas exceptionnels, en milieu très sec, le calcium issu des plagioclases d'un granite peut s'associer au dioxyde de carbone de l'air pour donner des inclusions de CO_3Ca , autrement dit de calcaire !

Horizonation

Dans les secteurs situés à plat (plaines, plateaux, pentes faibles), autrement dit dans l'immense majorité des sols, on observe une stratification en couches parallèles horizontales appelées "horizons" en relation avec leur disposition. Si on accepte l'idée que le sol est la fine couche d'altération de la roche au contact de l'atmosphère et des agents biologiques de surface, et si on accepte l'idée qu'au sein même du sol, les phénomènes d'altération vont croissants de bas en haut (de la roche saine à la partie du sol la plus exposée, donc la plus transformée), cette disposition est facile à comprendre.

Sur pente, dans les sols anciens où l'évolution est suffisante pour que les phénomènes de différenciation internes soient nets, les transferts latéraux et les glissements d'ensemble de la couche pédologique compliquent l'organisation et les horizons laissent la place à des volumes plus complexes (lentilles, biseaux...).

La multiplicité des facteurs, des processus et des mécanismes sous-jacents explique la très grande variété des sols du Monde, tant dans leur couleur, que dans leur propriétés mécaniques, physiques et biologiques.

Voir aussi

Articles connexes

- Pédologie



Références

BOCKHEIM J.G., GENNADIYEV A.N., 2000. The role of soil-forming processes in the definition of taxa in Soil Taxonomy and the Word Reference Base. *Geoderma*, 95, pp. 53-72.

DUCHAUFOR Ph. 2001. Introduction à la Science du Sol. Sol, végétation, environnement. Dunod, 331 p.


LEGROS J.P., 2007. Les Grands Sols du Monde. Presses Polytechniques et Universitaires de Lausanne, 575 p.

Liens externes

-  Portail de l'agriculture et l'agronomie
-  Portail des sciences de la Terre et de l'Univers

Géodynamique

La géodynamique est l'étude des événements naturels auxquels est soumise notre planète. Ces manifestations se traduisent de différentes manières, ce qui nous amène à distinguer :

1. **la géodynamique interne:** ce sont les forces tectoniques induites par les mouvements convectifs lents du manteau, et les déplacements consécutifs de l'écorce terrestre. Les contraintes imposées à la lithosphère peuvent engendrer des phénomènes soudains, tels que les éruptions volcaniques et les séismes. Mais, à l'échelle des temps géologiques, la géodynamique interne est responsable de la surrection des montagnes, ou inversement du creusement de larges fossés (grabens) comme le grand rift africain.
 1. **la géodynamique externe:** ce sont les manifestations physiques d'ordre météorologiques, ou qui y sont liées. Ainsi on inclura l'érosion et les mouvements de terrain comme résultante de l'action mécanique, voire chimique, de l'eau (sous toutes ses formes), du vent, de la température... Toutes ces composantes, dépendantes de l'énergie solaire, peuvent donner, lorsqu'elles sont combinées, des phénomènes de faible amplitude (un crachin, une brise) sans effet majeur, ou des phénomènes de grande ampleur comme des crues ou des cyclones, éléments de risques pour les sociétés humaines.
-  Portail des sciences de la Terre et de l'Univers

Structure interne de la Terre

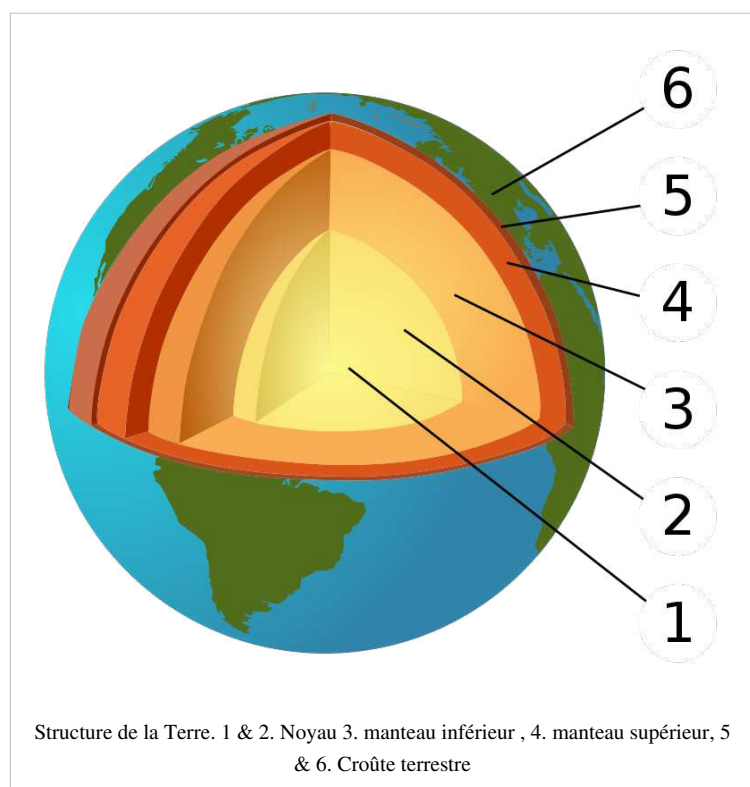
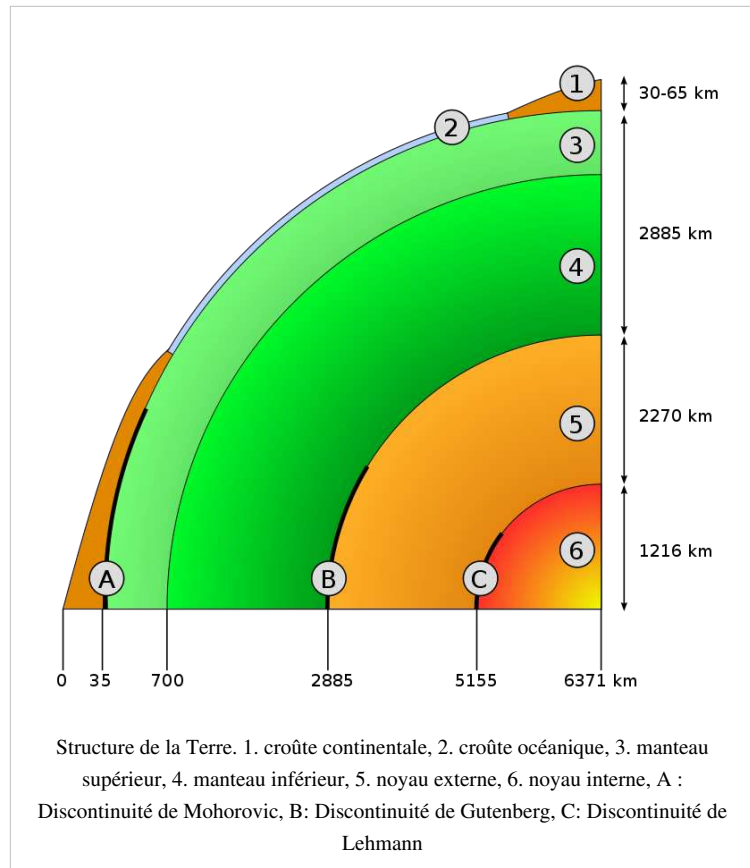
La **structure interne de la Terre** est répartie en plusieurs enveloppes successives, dont les principales sont la croûte terrestre, le manteau et le noyau. Cette représentation est très simplifiée puisque ces enveloppes peuvent être elles-mêmes décomposées. Pour repérer ces couches, les sismologues utilisent les ondes sismiques, et une loi : *Dès que la vitesse d'une onde sismique change brutalement et de façon importante, c'est qu'il y a un changement de milieu, donc de couche.* Cette méthode a permis, par exemple, de déterminer l'état de la matière à des profondeurs que l'homme ne peut atteindre (manteau profond, noyau).

Ces couches sont délimitées par des discontinuités, comme la Discontinuité de Mohorovic, celle de Gutenberg, nommée d'après le sismologue Beno Gutenberg, ou bien celle de Lehmann. Pour comprendre cette constitution, il faut remonter à la formation de la Terre, par accréation de météorites, les différentes couches s'étant alors mises en place sous l'influence de divers paramètres, comme par exemple la masse volumique de ses constituants.

Quelques jalons historiques

De l'Antiquité au XVIII^e siècle

Depuis l'Antiquité, nombreux sont ceux qui se sont illustrés dans leurs tentatives d'explication de la constitution interne de notre globe. Certains de ces intellectuels ont cherché à coller à la vision du terrain (relief, volcans, tremblements de terre), d'autres ont voulu aussi incorporer à leur modèle une explication des textes bibliques (le déluge). Viendra ensuite la période où les hypothèses seront étayées par des expérimentations : ce



sera l'ère de la géophysique. On trouve donc dans cette galerie de portraits : des mathématiciens, des philosophes, des théologiens puis plus tardivement des naturalistes, des physiciens et des géologues. Nous ne retiendrons ici que les plus connus.

Pour Aristote (IV^e siècle av. J.-C.), notre planète est constituée de terre et de roche entourée d'eau puis d'air. Viennent ensuite une couche de feu et les astres. Jusqu'à Copernic cette vision évoluera peu, mais au milieu du XVII^e siècle un foisonnement d'idées nouvelles apparaît.

En 1644, la Terre présentée par Descartes dans « Principes de philosophie » est un ancien soleil qui a gardé un noyau de type solaire mais dont les couches externes ont évolué. Plusieurs couches se succèdent à partir du centre : roche, eau, air puis enfin une croûte extérieure en équilibre sur cet air. Cette croûte brisée a formé les reliefs et laissé passer l'eau venant des profondeurs qui a formé mers et océans.

A la même époque, Athanasius Kircher postule lui aussi que le globe terrestre est un astre refroidi mais qu'il contient sous la croûte une matière en fusion qui s'échappe parfois du centre par les volcans. A la fin du XVII^e et au cours du XVIII^e siècle, une grande quantité d'hypothèses seront émises :

- Terre issue d'une ancienne comète : William Whiston (1667 - 1752)
- Terre ayant été composée d'un mélange fluide qui s'est déposé par gravité au cours du temps : John Woodward (1665 - 1728) et Thomas Burnet (1635 - 1715)
- Terre creuse à plusieurs coques concentriques et noyau aimanté séparés par du vide : Edmund Halley (1656 - 1742)
- Terre totalement creuse où la fine croûte externe est en équilibre entre gravité et force centrifuge : Henri Gautier (1660 - 1737)

Du XVIII^e au XX^e siècle

Avec l'essor de la géologie, les théories vont devoir coller à l'observation et aux mesures géophysiques. Le peu d'influence des masses montagneuses sur la gravité locale tend ainsi à prouver que la Terre n'est pas creuse.

Le léger aplatissement du globe aux pôles et la nature ignée de certaines roches font dire à Georges de Buffon que la Terre a été en fusion à son origine. La mesure de l'augmentation régulière de la température avec la profondeur dans les mines (1°C pour 25 mètres) incite Joseph Fourier et Pierre Cordier (1777 - 1861) à extrapoler et déduire que le centre de notre planète est en fusion à une température de plusieurs milliers de degrés. L'origine de cette température sera longuement débattue : reste de la chaleur originelle sur un globe en cours de refroidissement ou élévation de la température due à des réactions chimiques ou nucléaires internes ? D'ailleurs, cette chaleur ne serait-elle pas suffisamment intense pour que toute la matière interne soit gazeuse au-delà d'une certaine profondeur ?

Pour William Hopkins, la variation du point de fusion des roches en fonction de la pression fait une nouvelle fois pencher la balance en faveur d'un noyau solide. Le niveau très faible des mouvements du sol liés à la marée (évalué par comparaison avec la mesure précise des marées océaniques) plaide, selon (Lord Kelvin), pour un globe aux propriétés d'un solide élastique et non pas d'un fluide.

L'analyse de la composition des roches terrestres et météoritiques, ainsi que la mesure de la densité moyenne du globe (5,5) influent sur plusieurs modèles où une fine croûte légère de silicates recouvre un noyau métallique volumineux plus dense. Enfin, l'analyse des données sismologiques qui s'avéreront de plus en plus précises, vont permettre d'établir le modèle actuel.

Les méthodes d'investigation

Investigations directes

Exploration humaine

La spéléologie, activité aux multiples facettes, ne se prête guère, même dans sa composante sportive, à l'établissement de records. Longtemps la cote -1 000 ne fut qu'un rêve que la technologie ne permettait pas de concrétiser. C'est en 1956 au Gouffre Berger, dans le massif du Vercors (Isère), que cette profondeur mythique fut atteinte pour la première fois. En 2005, la profondeur spectaculaire des -2 000 mètres a été dépassée par des spéléologues à Krubera-Voronja (ex gouffre Voronja), dans le Caucase occidental (Abkhazie).

Par ailleurs, la variété des terrains explorés dans les mines est beaucoup plus importante que les étendues de roches sédimentaires parcourues par les spéléologues et les terrains exploités sont bien plus anciens. Les mineurs y côtoient quotidiennement le phénomène d'élévation de la température qui dès le XVIII^e siècle influera sur les hypothèses d'un globe au cœur en fusion. Quoi qu'il en soit, même les mines les plus profondes du monde (~3 500m pour la Tau Tona d'Afrique du Sud en 2002) ne font qu'effleurer l'écorce terrestre.

Qu'est-ce qui se cache donc vraiment derrière les trésors d'imagination de Jules Verne et son « *Voyage au centre de la Terre* » ? Sans l'apport de méthodes d'exploration indirecte, les humains seraient restés totalement ignorants du contenu profond du globe au-delà des quelques deux ou trois premiers kilomètres.

Les forages profonds

L'objectif des forages profonds, tels celui du programme KTB (*Kontinental Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik*), qui a atteint 9 800 mètres sous l'Allemagne, ou celui de 13 kilomètres dans la péninsule de Kola (Russie), est de mieux connaître la lithosphère et d'atteindre la zone de transition entre celle-ci et le manteau supérieur : le Moho.

Si ces forages ont permis de confirmer la structure et la composition de la croûte, ou de tracer des profils sismiques régionaux, ils n'ont malheureusement pas permis d'atteindre à ce jour la couche sous-jacente tant convoitée. On a pu ainsi mesurer par exemple que la température des roches atteint environ 300 °C à 10 kilomètres de profondeur.

Comme la croûte océanique est plus mince que les plaques continentales, plusieurs projets de forage océanique ont vu le jour, MOHOLE puis DSDP ^[1] (1968-1983) aux États-Unis, puis des programmes internationaux comme ODP ^[2] (1985-2003) puis IODP ^[3] (2003-2013). Pour l'instant, aucun navire n'a encore réussi à forer jusqu'à la discontinuité de Mohorovičić.

L'étude des météorites

Comprendre comment les couches successives de la Terre se sont progressivement différenciées serait grandement facilité par la connaissance de la composition exacte du matériau primitif qui lui a donné naissance. Les éléments absolument indispensables à la bonne formule sont le fer, le nickel et les silicates. On retrouve ces éléments (et plusieurs autres) dans un type de météorites appelé chondrites. Elles contiennent des petites zones sphériques de silicates solidifiés après fusion, les chondres, dont le nom est à l'origine de l'appellation de ces météorites.

Certaines d'entre elles, comme la chondrite Allende, contiennent un mélange de fer métallique et d'oxyde de fer, ainsi qu'une grande quantité de carbone ; d'autres, comme la chondrite d'Indarch, du fer métallique et un silicate de magnésium (MgSiO₃), l'enstatite, extrêmement fréquent dans le manteau terrestre. D'autres chondrites, plus primitives, montrent du fer totalement oxydé ; ce sont les météorites carbonées CI ; elles sont très proches par leur composition de la nébuleuse gazeuse qui donna naissance au système solaire il y a environ 4,57 milliards d'années, et à la Terre il y a 4,45 milliards d'années.

Parmi toutes ces chondrites, seules celles contenant 45% d'enstatite présentent une composition chimique et isotopique en adéquation avec la densité et la nature profonde actuelle de la Terre (plusieurs couches de silicates légers et un noyau où ont migré les métaux plus lourds). Ces météorites ont une taille bien trop faible pour être

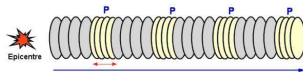
différenciées : leurs éléments y sont restés répartis de façon relativement homogène.

Investigations indirectes (géophysique)

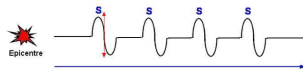
La tomographie sismique

C'est l'analyse des enregistrements obtenus grâce aux sismographes qui permettra de renouveler totalement le modèle de la Terre au cours du XX^e siècle. Le principe est relativement simple : suite à un séisme on détermine la position de son épigentre le plus précisément possible. Puis on enregistre les vibrations qui se propagent à travers tout le globe. Ces phénomènes ondulatoires sont soumis à des lois physiques telles que la réflexion ou la réfraction. De plus, elles ne se déplacent pas toutes à la même vitesse suivant le milieu qu'elles traversent ce qui permet d'évaluer le contenu de la Terre par l'examen attentif des courbes temps / distance parcourue. Les ondes étudiées dans la tomographie sismique sont les ondes de fond qui parcourent le globe terrestre dans toutes les directions. Les ondes de surface, qui causent les dégâts aux constructions humaines, ne se propagent que dans la croûte et ne donnent aucune information sur les couches profondes.

Certaines ondes arrivent rapidement : ce sont les ondes P (comme Premières) ; d'autres sont retardées et sont enregistrées plus tard : ce sont les ondes S (comme Secondes).



Les ondes P sont des vibrations qui agissent en compression : les particules se déplacent dans le sens de propagation de l'onde, un peu comme dans un ressort. Ces ondes de compression se propagent dans les solides, les liquides et les gaz.



Les ondes S sont des ondes de cisaillement : les particules se déplacent perpendiculairement au sens de propagation de l'onde, un peu comme une oscillation sur une corde. Ces ondes de cisaillement se propagent dans les solides mais pas dans les milieux liquides ou gazeux.

La vitesse des deux types d'ondes P et S varie en fonction de la densité du matériau traversé. Plus la couche traversée est molle, plus les ondes se propagent lentement. De plus, lorsqu'une onde P arrive non perpendiculairement sur une zone de transition (interface manteau-noyau par exemple) une petite partie de son énergie est convertie dans une autre forme d'onde (une fraction de P devient alors S). L'interprétation des relevés sismographiques est donc ardue car s'y chevauchent les tracés de nombreux types d'ondes qu'il faut démêler et dont on doit expliquer l'origine. Pour s'y retrouver un peu mieux, on a désigné toutes ces ondes par des lettres différentes qu'on peut ensuite combiner au fur et à mesure de leur évolution (voir tableau ci-dessous).

	Onde P	Onde S
manteau	P	S
noyau externe	K	
noyau interne	I	J

Ainsi une onde PP est une onde P qui, après avoir subi une réflexion à la surface du globe terrestre, est restée dans le manteau avant de réapparaître en surface où elle est détectée. Une onde PKP sera une onde P qui ressort en surface après avoir traversé le noyau externe liquide (trajet = manteau / noyau ext. / manteau). On peut ainsi allonger l'appellation autant que nécessaire. Prenons un exemple assez complexe : une onde quasi verticale traversant le globe terrestre de part en part après avoir rebondi à la surface et être passée deux fois (à l'aller et au retour) par le noyau et la graine réapparaîtra à la surface affublée du gentil sobriquet, palindrome totalement imprononçable, de PKIKPPKIKP !

Au cours du XX^e siècle, plusieurs découvertes essentielles ont été faites grâce à la tomographie sismique.

En 1909, Andrija Mohorovičić détecte sous la Croatie l'interface croûte / manteau appelée désormais par les intimes, et en hommage à son découvreur, Moho.

En 1912, Beno Gutenberg (1889-1960) replace l'interface manteau / noyau à 2900 km de profondeur grâce à l'étude des ondes P, donnant son nom à la discontinuité entre le manteau inférieur et le noyau externe, discontinuité dite de Gutenberg.

En 1926, Harold Jeffreys (1891-1989) établit la fluidité du noyau métallique.

En 1936, Inge Lehmann (1888-1993) découvre la graine (ou noyau interne) : partie métallique à l'intérieur du noyau. Sa solidité sera établie plus tard au cours des décennies suivantes.

Dans le même temps, de 1923 à 1952, d'autres géophysiciens (Adams, Williamson, Bullen, Birch...) travaillent sur des équations permettant de déterminer la variation de la densité avec la profondeur et la pression qu'elle engendre.

Connaître l'essentiel de la structure de notre globe doit s'accompagner nécessairement de l'étude de sa dynamique interne afin de mieux comprendre son évolution, ses soubresauts sismiques, les variations du champ magnétique, etc.

L'étude du magnétisme

Le magnétisme terrestre est un phénomène fort complexe à interpréter. La Terre se comporte comme une sorte de dynamo auto-entretenu qui génère un champ magnétique important (celui qui dévie l'aiguille de la boussole et qui nous protège de certaines perturbations cosmiques). Ce champ est variable dans le temps et il s'est même inversé des centaines de fois depuis l'origine. Interpréter cette dynamique est indissociable de la compréhension de la composition des structures internes du globe terrestre et de leurs mouvements.

Des tentatives de modélisation numérique et des expériences en laboratoire sont à l'étude. Si elles n'ont pas encore permis de créer un effet dynamo dans une sphère, elles ont montré que des colonnes de convection apparaissent à certaines températures en fonction de la viscosité du liquide et de la vitesse de rotation. Ces mouvements sont compatibles avec les hypothèses de création du champ électromagnétique terrestre tel que nous le connaissons.

Modèle actuel

Structure détaillée

(1) Croûte continentale solide essentiellement granitique, surmontée par endroits de roches sédimentaires. Elle est plus épaisse que la croûte océanique (de 30 km à 100 km sous les massifs montagneux). La croûte ou écorce terrestre représente environ 1,5% du volume terrestre. Elle était anciennement appelée SIAL (silicium + aluminium).

(2) Croûte océanique solide essentiellement composée de roches basaltiques. Relativement fine (environ 5 km). Elle est également appelée SIMA (silicium + magnésium).

(3) Zone de subduction, où une plaque s'enfonce parfois jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres dans le manteau.

(4) Manteau supérieur, qui est moins visqueux (plus « ductile ») que le manteau inférieur car les contraintes

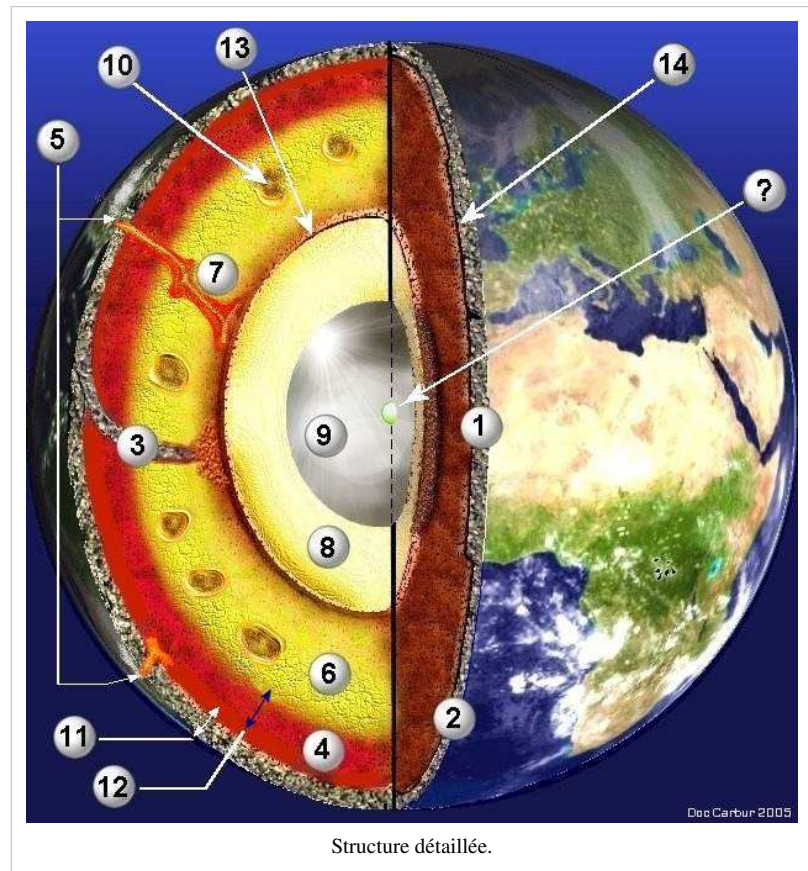
physiques qui y règnent le rendent en partie liquide. Il est formé essentiellement de roches telles que la péridotite (ses minéraux sont : olivine, pyroxène, grenat). Au contact entre la croûte et le manteau supérieur, on peut parfois déceler une zone appelée LVZ (voir n°11).

(5) Éruptions sur des zones de volcanisme actif. Deux types de volcanismes sont représentés ici, le plus profond des deux est dit « de point chaud ». Il s'agirait de volcans dont le magma proviendrait des profondeurs du manteau proche de la limite avec le noyau liquide. Ces volcans ne seraient donc pas liés aux plaques tectoniques et, ne suivant donc pas les mouvements de l'écorce terrestre, ils seraient quasiment immobiles à la surface du globe, et formeraient les archipels d'îles comme celui de Tahiti.

(6) Manteau inférieur aux propriétés d'un solide élastique. Le manteau n'est pas liquide comme on pourrait le croire en regardant les coulées de lave de certaines éruptions volcaniques mais il est moins « rigide » que les autres couches. Le manteau représente 84 % du volume terrestre.

(7) Panache de matière plus chaude qui, partant de la limite avec le noyau, fond partiellement en arrivant près de la surface de la Terre et produit le volcanisme de point chaud.

(8) Noyau externe liquide essentiellement composé de l'alliage fer-nickel (environ 80 % - 15 %) plus quelques éléments plus légers. Sa viscosité est proche de celle de l'eau, sa température moyenne atteint 4000°C et sa densité 10. Cette énorme quantité de métal en fusion est certainement agitée (par convection thermique et chimique (séparation, démixtion des phases) mais aussi suite aux divers mouvements de rotation et de précession du globe terrestre). Des écoulements de fer liquide peuvent y engendrer des courants électriques (par effet Seebeck) qui donnent naissance à des champs magnétiques qui renforcent les courants, créant ainsi un effet dynamo, en s'entretenant les uns les autres. Le noyau liquide est donc à l'origine du champ magnétique terrestre.



Structure détaillée.

(9) Noyau interne solide (également appelé "graine") essentiellement métallique (alliage de fer et de nickel principalement) constitué par cristallisation progressive du noyau externe. La pression, qui est de 3,5 millions de bars (350 Gpa), le maintient dans un état solide malgré une température supérieure à 5000 °C et une densité d'environ 13. Le noyau interne reste un endroit mystérieux, et plusieurs interrogations demeurent :

- Des études récentes suggèrent que le noyau interne ne serait pas immobile par rapport au reste de la Terre : Il pourrait présenter ainsi une rotation différentielle, c'est-à-dire qu'il ne tournerait pas exactement à la même vitesse que le reste de la planète : sa vitesse angulaire de rotation serait plus grande de 0,3 à 0,5 degré par an^[4] (d'après ces derniers chiffres, il faudrait donc entre 720 et 1200 ans environ pour que le noyau interne "gagne" un tour complet par rapport au reste de la Terre^[5]) ; cependant, d'après d'autres données, le mouvement observé pourrait correspondre en fait à une oscillation du noyau autour d'une position moyenne, avec une somme des mouvements qui serait nulle sur le long terme. En effet, des différences latérales de température à la base du manteau semblent créer une « empreinte » détectable sur la graine, en affectant la vitesse de cristallisation du fer. Hors, l'existence de cette empreinte n'est semble-t-il possible que si les effets de ces différences de température s'exercent toujours aux mêmes endroits de la graine pendant plusieurs centaines de millions d'années, ce qui ne serait donc pas compatible avec une rotation permanente, mais serait possible avec une simple oscillation^[6].
- Il y a également un doute sur le fait que le noyau interne soit réellement solide, car par certains aspects il se comporte comme un liquide, alors que d'autres données confirment qu'il est bien solide. Des chercheurs russes et suédois ont démontré que, dans les conditions qui règnent au centre de notre planète, l'alliage qui compose le noyau interne ne ressemblerait pas aux métaux que l'on connaît à la surface, mais présenterait plutôt des propriétés mécaniques comparables à celles du sable, ce qui expliquerait les résultats ambigus concernant son état^[7].
- Enfin, des études récentes démontrent que la graine semble elle-même subdivisée en deux parties, une interne et une externe donc. La partie interne, appelée amande en raison de sa forme, serait plus pure en fer que la partie externe, et serait caractérisée par une structure cristalline anisotrope^[8] .^[9]

Les noyaux interne et externe représentent 15 % du volume terrestre.

(10) Cellules de convection du manteau où la matière est en mouvement lent. Le manteau est le siège de courants de convection qui transfèrent la majeure partie de l'énergie calorifique du noyau de la Terre vers la surface. Ces courants provoquent la dérive des continents mais leurs caractéristiques précises (vitesse, amplitude, localisation) sont encore mal connues.

(11) Lithosphère : elle est constituée de la croûte (plaques tectoniques) et d'une partie du manteau supérieur. La limite inférieure de la lithosphère se trouve à une profondeur comprise entre 100 et 200 kilomètres, à la limite où les péridotites approchent de leur point de fusion.

On trouve parfois à la base de la lithosphère (certains géologues l'y incluent) une zone appelée LVZ (pour « Low Velocity Zone ») où on constate une diminution de la vitesse et une atténuation marquée des ondes sismiques P et S. Ce phénomène est dû à la fusion partielle des péridotites qui entraîne une plus grande fluidité. La LVZ n'est généralement pas présente sous les racines des massifs montagneux de la croûte continentale.

(12) Asthénosphère : c'est la zone inférieure du manteau supérieur (en dessous de la lithosphère)

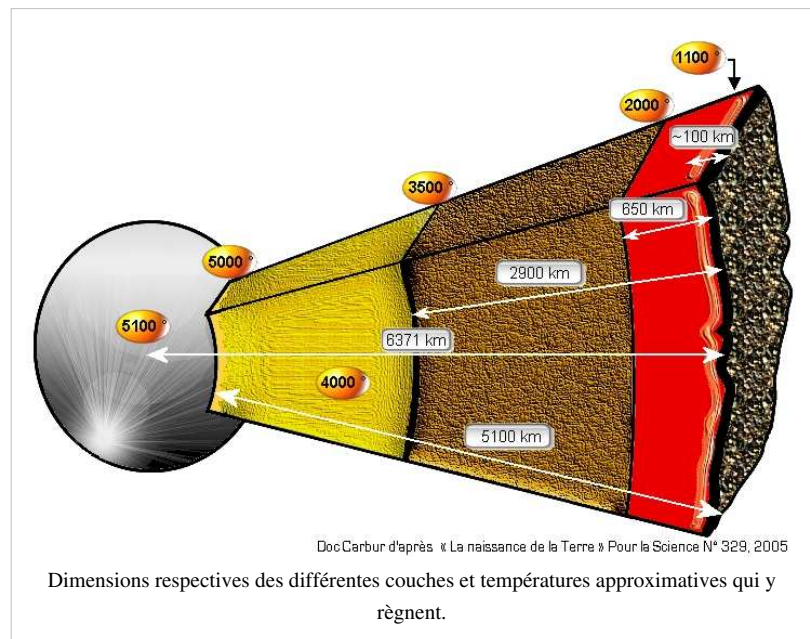
(13) Discontinuité de Gutenberg : zone de transition manteau / noyau.

(14) Discontinuité de Mohorovicic : zone de transition croûte / manteau (elle est donc incluse dans la lithosphère).

Caractéristiques

Chaleur interne

Sur la figure ci-contre, les températures sont données en degrés Celsius à titre indicatif. Ne pouvant être mesurées directement mais uniquement déduites, elles sont approximatives (plus on s'enfonce et plus la marge d'erreur est grande). La plus grande partie de la chaleur interne de la Terre (87%) est produite par la radioactivité naturelle des roches par désintégration de l'uranium, du thorium et du potassium.



Rayon variable

Le globe terrestre n'est pas parfaitement sphérique et le rayon réel équatorial est supérieur d'une vingtaine de kilomètres au rayon polaire.

Effet étonnant qui en découle : le Mississippi, dont la source se situe près des Grands Lacs, se déverse dans le golfe du Mexique à un niveau (distance au centre du globe) plus élevé que celui de sa source. Si on évaluait l'altitude par rapport au centre de la Terre, l'eau s'écoulerait donc du point le plus bas vers le point le plus haut. En réalité le niveau des mers étant toujours pris comme référence des altitudes, le raisonnement en termes d'énergie mécanique est bien valide.

Notes et références

[1] <http://www.deepseadrilling.org/index.html>

[2] <http://www.odplegacy.org/>

[3] <http://www.iodp.org>

[4] D'après Jian Zhang, Xiaodong Song, et d'autres chercheurs du Lamont-Doherty Earth Observatory et de l'Université de l'Illinois ; **(fr)** Futura-sciences ; « Rotation distincte du noyau interne de la Terre » (http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/terre-3/d/rotation-distincte-du-noyau-interne-de-la-terre_7044/), mis en ligne le 9 septembre 2005

[5] Sachant qu'un tour complet est égal à 360 degrés, on a : 360 degrés divisé par 0,3 degré par an donne 1200 années, et 360 degrés divisé par 0,5 degré par an donne 720 années

[6] D'après des chercheurs de l'Institut de physique du globe de Paris et de l'Université Johns-Hopkins de Baltimore (États-Unis). Voir **(fr)** techno-science.net ; « Un nouveau modèle pour l'évolution du noyau solide de la Terre » (<http://www.techno-science.net/?onglet=news&news=5676>), mis en ligne le 9 Août 2008

[7] **(fr)** Futura-sciences ; « La graine du noyau de la Terre est-elle vraiment solide ? » (http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/geologie-1/d/la-graine-du-noyau-de-la-terre-est-elle-vraiment-solide_12179/), mis en ligne le 25 juin 2007

[8] D'après les travaux des géophysiciens Xiaodong Song et Xinlei Sun (Université de l'Illinois), voir **(fr)** Futura-sciences ; "La Terre a un double coeur solide !" (http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/geologie-1/d/decouverte-la-terre-a-un-double-coeur-solide_14921/), mis en ligne le 12 mars 2008

[9] D'après les travaux d'une équipe de géophysiciens grenoblois, voir www.insu.cnrs.fr ; « De la tectonique dans la graine du noyau ! » (<http://www.insu.cnrs.fr/a3008,tectonique-graine-noyau.html>), publié le 15 mai 2009

Bibliographie


Publications écrites

- N. Cabrol et E. Grin, *La Terre et la Lune*, Que sais-je, N° 875, PUF, 1998
- René Dars « La géologie », Que sais-je, N° 525, PUF, 2000
- Vincent Debaris et Hilaire Legros, « Voyage à l'intérieur de la Terre », CNRS Editions, Paris, 2000
- Jean Goguel (s.d.d.) « Géophysique », La Pleiade NRF Gallimard, 1971
- Gabriel Gohau, « Une histoire de la géologie, Le Seuil, 1990
- Maurice Krafft, « Les feux de la Terre », Gallimard, 1991
- Maurice Mattauer, « Ce que disent les pierres », Librairie *Pour la Science*, 1998
- Henri Claude Nataf et s.d. de Joël Sommeria, « La physique de la Terre », Belin CNRS Editions, 2000
- Jules Verne, « Voyage au centre de la Terre », Éditions Hetzel, 1867
- J.-P. Poirier, « Les profondeurs de la Terre », Masson, 1996

Article du magazine *Pour la Science*

- N° 225 (1996), ALEXANDRESCU M. et HULOT G. « Voir le noyau »
- N° 226 (1996), Rolf Emmermann, « Neuf kilomètres sous l'Allemagne »
- N° 265 (1999), Maurice Mattauer, « Sismique et tectonique »
- N° 318 (2004), Marianne Greff-Lefftze, « La Terre, une toupie au cœur liquide »
- N° 318 (2004), Henri Claude Nataf, Dominique Jault, Daniel Brito et Philippe Cardin, « Le moteur de la dynamo terrestre »
- N° 318 (2004), Sandro Scandolo et Raymond Jeanloz, « Au cœur des planètes »
- N° 329 (2005), Marc Javoy, « La naissance de la Terre »

Liens externes

- **(fr)** Le site d'origine de cet article pour le voir avec toutes ses illustrations (<http://speleoclpa.free.fr/doccarbureterre/doccarbureterre.htm>)
- **(en)** International Earth and Reference System Service IERS (<http://www.iers.org>)
- **(fr)** Objectif Terre (Suisse) (<http://objectif-terre.unil.ch>)
- **(fr)** Planète Terre (Canada) (http://www.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/intro.pt/planete_terre.html)
- **(fr)** Institut de Physique du Globe de Paris - Notre Terre (<http://www.ipgp.fr/pages/06.php>)
- **(fr)** Association de sciences de la Terre (<http://e.geologie.free.fr>)
- **(fr)** Planet-Terre (http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/themes_scientifiques)
- **(fr)** Projet Geoscope (<http://geoscope.ipgp.fr/>)
- **(fr)** CNRS Geomanips (<http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosgeol/accueil.html>)
- **(fr)** Institut National des Sciences de l'Univers (<http://www.insu.cnrs.fr>)
- **(fr)** Histoire de la découverte de la structure interne de la Terre au cours des siècles (<http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/XML/db/planetterre/metadata/LOM-modeles-interieur-terre.xml>)
- **(fr)** Terre, Planète active (http://www.univ-lille1.fr/geosciences/cours/terre_active/terre_active_tdm.html)
-  Portail des sciences de la Terre et de l'Univers

Croûte terrestre

La **croûte terrestre** est la partie superficielle et solide du matériau dont est faite la Terre. C'est la partie supérieure de la lithosphère (qui constitue les plaques tectoniques).

La limite entre la croûte terrestre et le manteau supérieur est la discontinuité de Mohorovicic, ou Moho en abrégé.

Composition de la croûte terrestre

La majorité des roches constituant la croûte terrestre sont des oxydes; le chlore, le soufre et le fluor sont les seuls éléments importants capables de faire des anions sans oxygène et leur quantité totale dans n'importe quelle

roche dépasse rarement 1 %. F. W. Clarke a calculé que 47 % de la croûte terrestre est faite d'oxygène présent principalement sous forme d'oxydes, dont les principaux sont les oxydes de silicium, aluminium, fer, calcium, magnésium, potassium et sodium. La silice est le constituant majeur de la croûte sous forme de silicates, les minéraux les plus communs des roches magmatiques et métamorphiques. Après une synthèse basée sur l'analyse de 1 672 types de roches, Clarke a obtenu les pourcentages suivants de composition en masse:

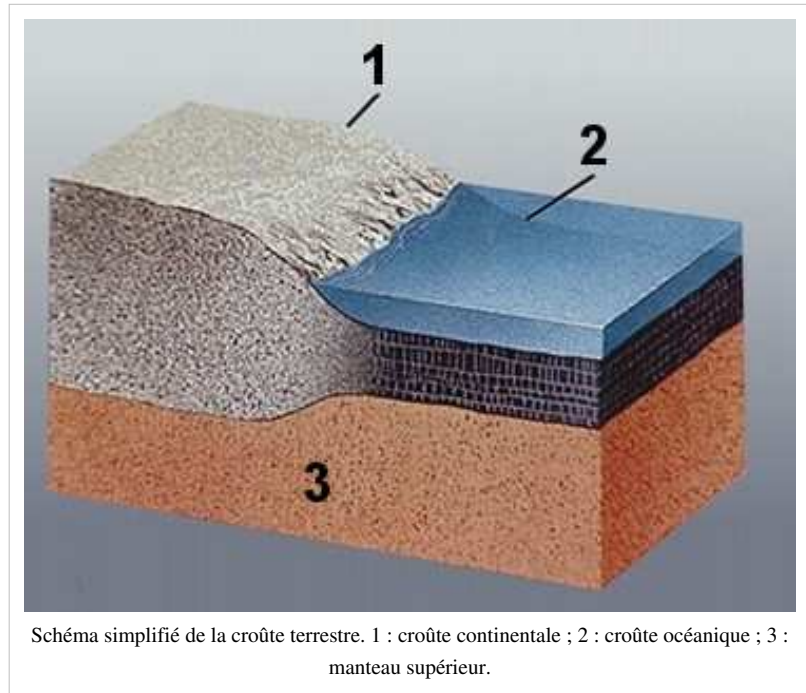
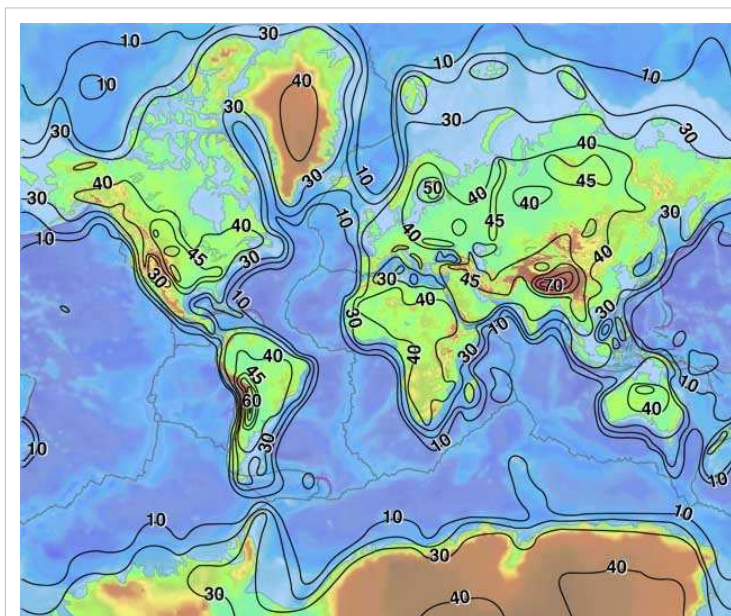


Schéma simplifié de la croûte terrestre. 1 : croûte continentale ; 2 : croûte océanique ; 3 : manteau supérieur.



Épaisseur de la croûte en km

Oxyde	Pourcentage
SiO ₂	59,71
Al ₂ O ₃	15,41
CaO	4,90
MgO	4,36
Na ₂ O	3,55
FeO	3,52
K ₂ O	2,80
Fe ₂ O ₃	2,63
H ₂ O	1,52
TiO ₂	0,60
P ₂ O ₅	0,22
total	99,22

Tous les autres constituants sont présents en très faible quantité (total < 1%).^[1]

Structure

On distingue la *croûte continentale* (30 % de la surface terrestre) de la *croûte océanique* (70 % de la surface terrestre) :

- La *croûte continentale* forme essentiellement les continents. Certaines parties peuvent toutefois se trouver immergées sous des mers ou des océans, comme par exemple la plate-forme continentale. La croûte continentale est épaisse de 15 à 80 km, avec une moyenne de 30 km. Elle a une composition moyenne de roche granitique à dioritique (dite intermédiaire), de densité 2,7 à 2,8 g/cm³. La majeure partie est probablement constituée de gneiss. La base de la croûte présente des placages de Gabbro, issus de la fusion partielle et ancienne du manteau supérieur.
- La *croûte océanique* forme essentiellement le fond des océans. Elle est beaucoup plus fine (5 à 7 km en général). Formée de roches basaltiques et de gabbro, elle est aussi plus dense (3g/cm³).
- On pensait que la croûte terrestre était essentiellement granitique, et on la nommait donc "sial" (silicium-aluminium), par opposition au manteau que l'on nommait "sima" (silicium-magnésium). Maintenant, on sait que la croûte de la Terre n'a pas de composition homogène puisque la croûte océanique est originellement différente de la croûte continentale, et ces appellations sont obsolètes.
- Il faut également savoir que les plus anciennes roches trouvées provenant de la croûte continentale datent de 4,031 milliards d'années (Acasta Gneiss) et peut-être 4,280 milliards d'années (Nuvvuagittuq greenstone belt). Parallèlement, les plus anciennes provenant de la croûte océanique datent de 220 millions d'années.

Mouvements

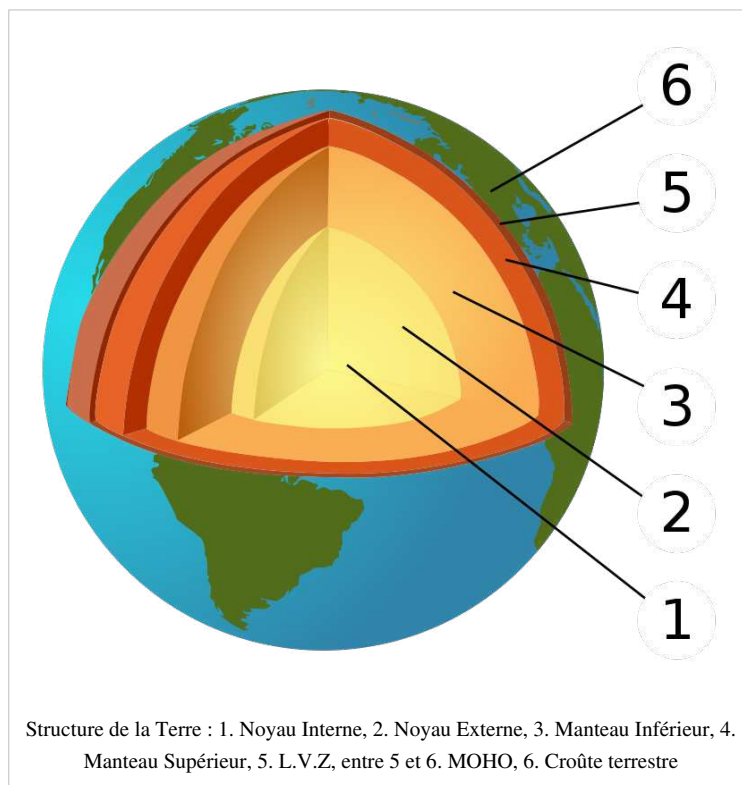
La tectonique des plaques permet de comprendre que la croûte est créée au niveau des dorsales océaniques. Cette croûte est issue d'une fusion partielle du manteau supérieur sous les rides océaniques.


Les mouvements des plaques lithosphériques sont la cause principale des grandes modifications structurales affectant la croûte terrestre. Les séismes et le volcanisme sont les marqueurs de cette activité de la planète Terre. voir tectonique des plaques, point chaud

Références

[1] **(en)** « Croûte terrestre », dans *Encyclopædia Britannica*, 1911 Référence:Encyclopædia Britannica 1911 [lire en ligne (<http://encyclopedia.jrank.org/>)]

Voir aussi



-  Portail des sciences de la Terre et de l'Univers

Croûte continentale

La **croûte terrestre** est la partie superficielle et solide du matériau dont est faite la Terre. C'est la partie supérieure de la lithosphère (qui constitue les plaques tectoniques).

La limite entre la croûte terrestre et le manteau supérieur est la discontinuité de Mohorovicic, ou Moho en abrégé.

Composition de la croûte terrestre

La majorité des roches constituant la croûte terrestre sont des oxydes; le chlore, le soufre et le fluor sont les seuls éléments importants capables de faire des anions sans oxygène et leur quantité totale dans n'importe quelle

roche dépasse rarement 1 %. F. W. Clarke a calculé que 47 % de la croûte terrestre est faite d'oxygène présent principalement sous forme d'oxydes, dont les principaux sont les oxydes de silicium, aluminium, fer, calcium, magnésium, potassium et sodium. La silice est le constituant majeur de la croûte sous forme de silicates, les minéraux les plus communs des roches magmatiques et métamorphiques. Après une synthèse basée sur l'analyse de 1 672 types de roches, Clarke a obtenu les pourcentages suivants de composition en masse:

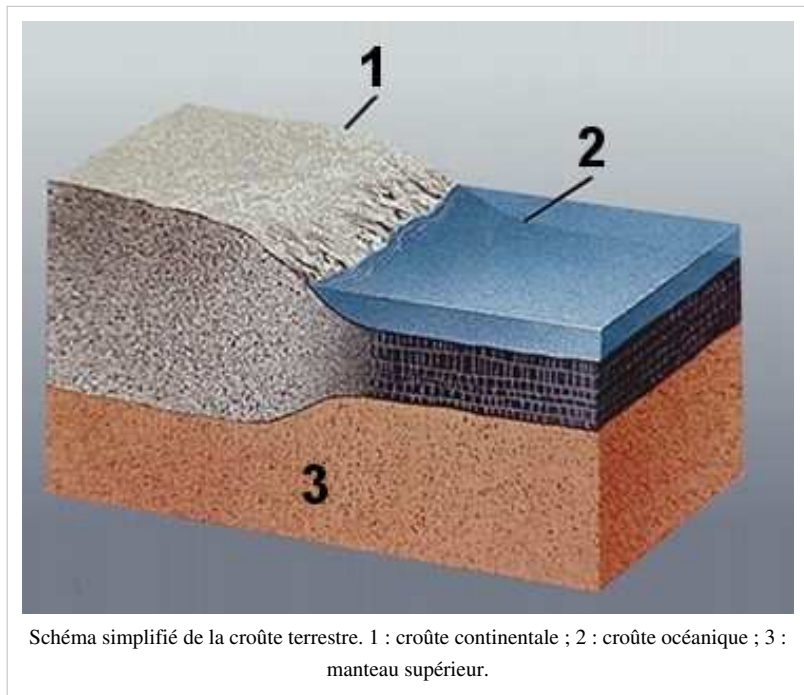
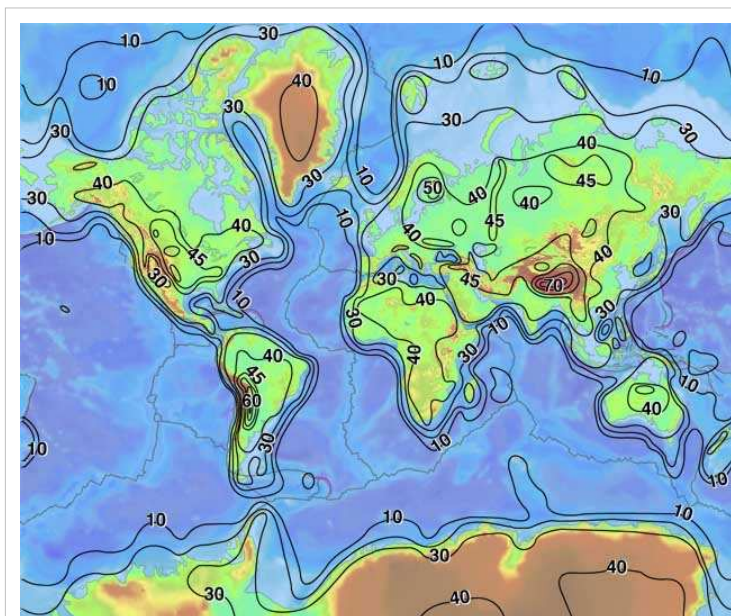


Schéma simplifié de la croûte terrestre. 1 : croûte continentale ; 2 : croûte océanique ; 3 : manteau supérieur.



Épaisseur de la croûte en km

Oxyde	Pourcentage
SiO ₂	59,71
Al ₂ O ₃	15,41
CaO	4,90
MgO	4,36
Na ₂ O	3,55
FeO	3,52
K ₂ O	2,80
Fe ₂ O ₃	2,63
H ₂ O	1,52
TiO ₂	0,60
P ₂ O ₅	0,22
total	99,22

Tous les autres constituants sont présents en très faible quantité (total < 1%).^[1]

Structure

On distingue la *croûte continentale* (30 % de la surface terrestre) de la *croûte océanique* (70 % de la surface terrestre) :

- La *croûte continentale* forme essentiellement les continents. Certaines parties peuvent toutefois se trouver immergées sous des mers ou des océans, comme par exemple la plate-forme continentale. La croûte continentale est épaisse de 15 à 80 km, avec une moyenne de 30 km. Elle a une composition moyenne de roche granitique à dioritique (dite intermédiaire), de densité 2,7 à 2,8 g/cm³. La majeure partie est probablement constituée de gneiss. La base de la croûte présente des placages de Gabbro, issus de la fusion partielle et ancienne du manteau supérieur.
- La *croûte océanique* forme essentiellement le fond des océans. Elle est beaucoup plus fine (5 à 7 km en général). Formée de roches basaltiques et de gabbro, elle est aussi plus dense (3g/cm³).
- On pensait que la croûte terrestre était essentiellement granitique, et on la nommait donc "sial" (silicium-aluminium), par opposition au manteau que l'on nommait "sima" (silicium-magnésium). Maintenant, on sait que la croûte de la Terre n'a pas de composition homogène puisque la croûte océanique est originellement différente de la croûte continentale, et ces appellations sont obsolètes.
- Il faut également savoir que les plus anciennes roches trouvées provenant de la croûte continentale datent de 4,031 milliards d'années (Acasta Gneiss) et peut-être 4,280 milliards d'années (Nuvvuagittuq greenstone belt). Parallèlement, les plus anciennes provenant de la croûte océanique datent de 220 millions d'années.

Mouvements

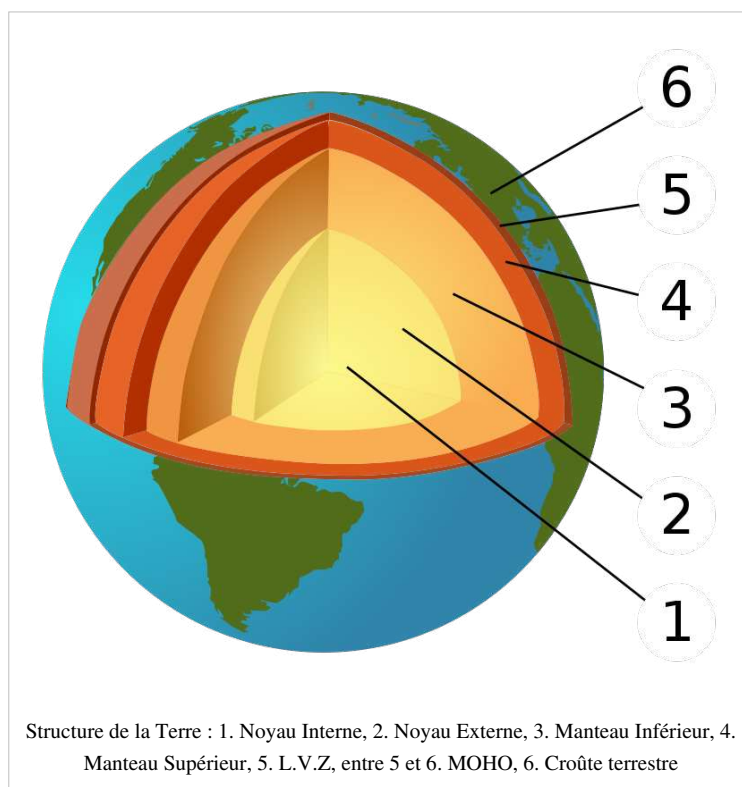
La tectonique des plaques permet de comprendre que la croûte est créée au niveau des dorsales océaniques. Cette croûte est issue d'une fusion partielle du manteau supérieur sous les rides océaniques.


Les mouvements des plaques lithosphériques sont la cause principale des grandes modifications structurales affectant la croûte terrestre. Les séismes et le volcanisme sont les marqueurs de cette activité de la planète Terre. voir tectonique des plaques, point chaud

Références

[1] **(en)** « Croûte continentale », dans *Encyclopædia Britannica*, 1911 Référence:Encyclopædia Britannica 1911 [lire en ligne (<http://encyclopedia.jrank.org/>)]

Voir aussi



-  Portail des sciences de la Terre et de l'Univers

Croûte océanique

La **croûte terrestre** est la partie superficielle et solide du matériau dont est faite la Terre. C'est la partie supérieure de la lithosphère (qui constitue les plaques tectoniques).

La limite entre la croûte terrestre et le manteau supérieur est la discontinuité de Mohorovicic, ou Moho en abrégé.

Composition de la croûte terrestre

La majorité des roches constituant la croûte terrestre sont des oxydes; le chlore, le soufre et le fluor sont les seuls éléments importants capables de faire des anions sans oxygène et leur quantité totale dans n'importe quelle

roche dépasse rarement 1 %. F. W. Clarke a calculé que 47 % de la croûte terrestre est faite d'oxygène présent principalement sous forme d'oxydes, dont les principaux sont les oxydes de silicium, aluminium, fer, calcium, magnésium, potassium et sodium. La silice est le constituant majeur de la croûte sous forme de silicates, les minéraux les plus communs des roches magmatiques et métamorphiques. Après une synthèse basée sur l'analyse de 1 672 types de roches, Clarke a obtenu les pourcentages suivants de composition en masse:

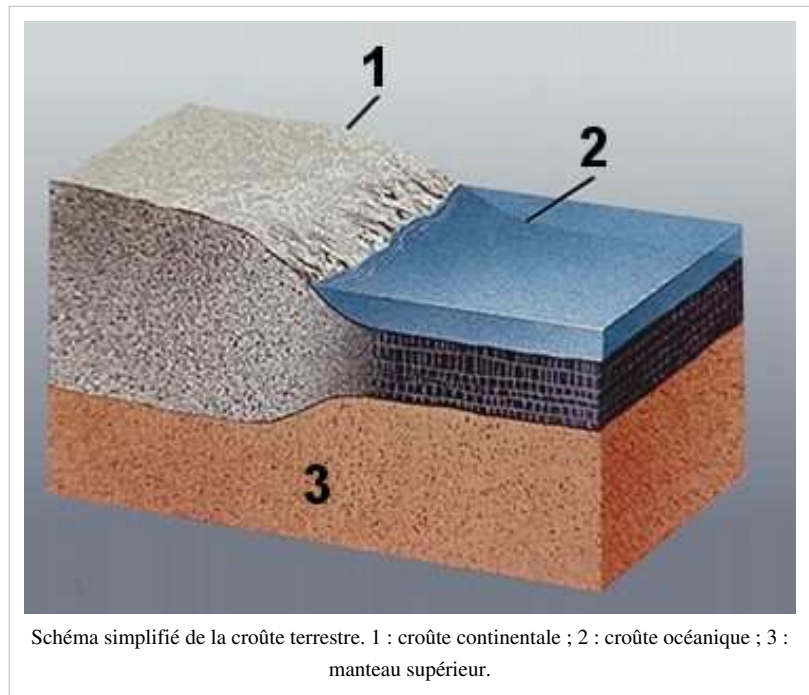
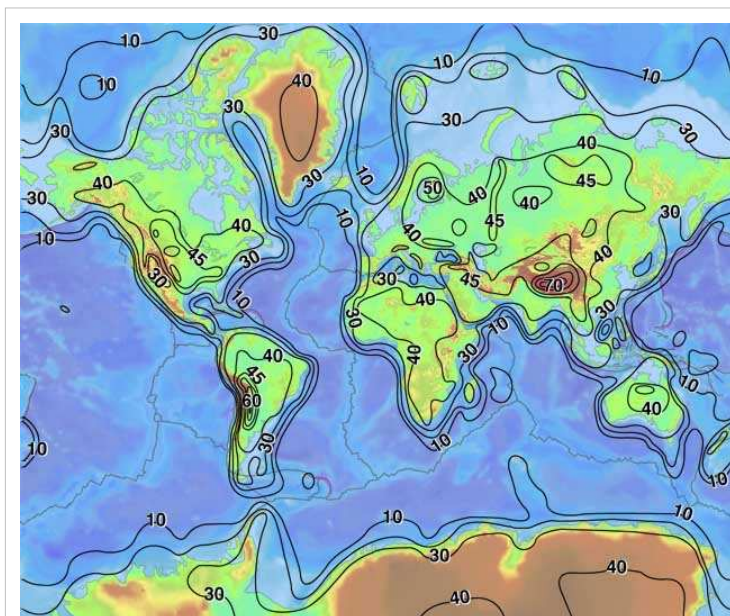


Schéma simplifié de la croûte terrestre. 1 : croûte continentale ; 2 : croûte océanique ; 3 : manteau supérieur.



Épaisseur de la croûte en km

Oxyde	Pourcentage
SiO ₂	59,71
Al ₂ O ₃	15,41
CaO	4,90
MgO	4,36
Na ₂ O	3,55
FeO	3,52
K ₂ O	2,80
Fe ₂ O ₃	2,63
H ₂ O	1,52
TiO ₂	0,60
P ₂ O ₅	0,22
total	99,22

Tous les autres constituants sont présents en très faible quantité (total < 1%).^[1]

Structure

On distingue la *croûte continentale* (30 % de la surface terrestre) de la *croûte océanique* (70 % de la surface terrestre) :

- La *croûte continentale* forme essentiellement les continents. Certaines parties peuvent toutefois se trouver immergées sous des mers ou des océans, comme par exemple la plate-forme continentale. La croûte continentale est épaisse de 15 à 80 km, avec une moyenne de 30 km. Elle a une composition moyenne de roche granitique à dioritique (dite intermédiaire), de densité 2,7 à 2,8 g/cm³. La majeure partie est probablement constituée de gneiss. La base de la croûte présente des placages de Gabbro, issus de la fusion partielle et ancienne du manteau supérieur.
- La *croûte océanique* forme essentiellement le fond des océans. Elle est beaucoup plus fine (5 à 7 km en général). Formée de roches basaltiques et de gabbro, elle est aussi plus dense (3g/cm³).
- On pensait que la croûte terrestre était essentiellement granitique, et on la nommait donc "sial" (silicium-aluminium), par opposition au manteau que l'on nommait "sima" (silicium-magnésium). Maintenant, on sait que la croûte de la Terre n'a pas de composition homogène puisque la croûte océanique est originellement différente de la croûte continentale, et ces appellations sont obsolètes.
- Il faut également savoir que les plus anciennes roches trouvées provenant de la croûte continentale datent de 4,031 milliards d'années (Acasta Gneiss) et peut-être 4,280 milliards d'années (Nuvvuagittuq greenstone belt). Parallèlement, les plus anciennes provenant de la croûte océanique datent de 220 millions d'années.

Mouvements

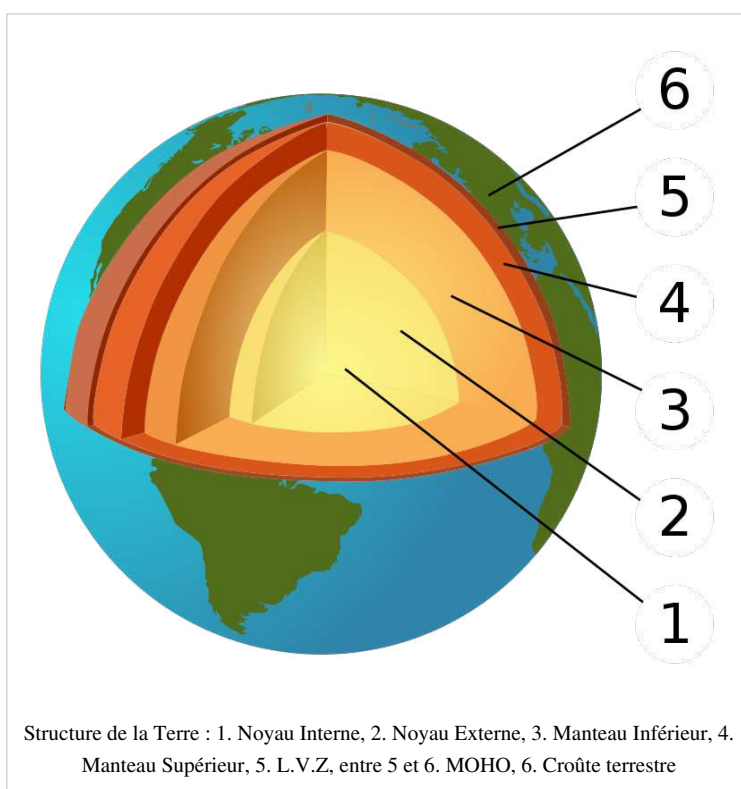
La tectonique des plaques permet de comprendre que la croûte est créée au niveau des dorsales océaniques. Cette croûte est issue d'une fusion partielle du manteau supérieur sous les rides océaniques.


Les mouvements des plaques lithosphériques sont la cause principale des grandes modifications structurales affectant la croûte terrestre. Les séismes et le volcanisme sont les marqueurs de cette activité de la planète Terre. voir tectonique des plaques, point chaud

Références

[1] **(en)** « Croûte océanique », dans *Encyclopædia Britannica*, 1911 Référence:Encyclopædia Britannica 1911 [lire en ligne (<http://encyclopedia.jrank.org/>)]

Voir aussi



-  Portail des sciences de la Terre et de l'Univers

Subduction

La **subduction** est le processus d'enfoncement d'une plaque tectonique dans le manteau. La plaque qui plonge en subduction est en général une plaque océanique. Elle peut plonger sous une plaque continentale ou sous une autre plaque océanique.

La surface terrestre est composée de plaques lithosphériques. Ces plaques rigides se déplacent les unes par rapport aux autres. Elles peuvent être continentales ou océaniques. Au niveau des dorsales océaniques, les plaques divergent, et il se crée du plancher océanique qui augmente la surface des océans. Puisque la surface terrestre est constante (le volume de la

Terre ne change pas significativement au cours des temps géologiques), il faut bien que du plancher océanique disparaisse par ailleurs. Ce phénomène se produit au niveau des zones de subduction, où les plaques océaniques plongent à l'intérieur du globe.

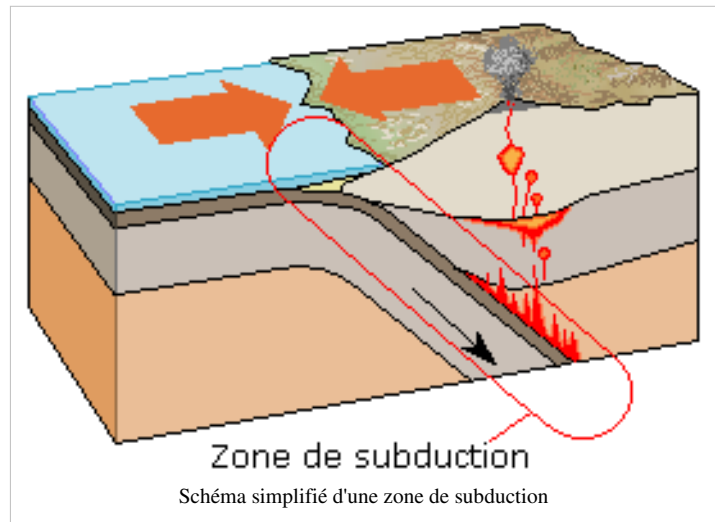
Les plaques océaniques qui naissent au niveau des dorsales sont minces, chaudes et légères. En vieillissant, elles refroidissent au contact de l'océan. Elle s'épaississent et s'alourdissent, si bien qu'elle deviennent plus denses que l'asthénosphère (manteau chaud) sur laquelle elles reposent. Elles sont donc tirées en profondeur par leur propre poids au niveau des zones de subduction. Ce mécanisme est l'un des principaux moteurs responsable du mouvement des plaques à la surface de la Terre. Il explique pourquoi les plaques océaniques se déplacent toujours en direction de l'endroit où elles plongent en subduction.

Marqueurs de la subduction

La subduction est le processus permettant la disparition de la plaque océanique ancienne. Par conséquent, elle joue un rôle important dans le renouvellement des fonds océaniques.

Sismicité

Les zones de subduction sont le lieu où se produisent les séismes les plus violents (par exemple le séisme du sud Chili de 1960, de magnitude $M=9,5^{[1]}$, qui fut le séisme le plus violent survenu depuis un siècle). Il se produit au niveau d'une zone de subduction deux types de séismes : des séismes interplaques sont produits au contact entre la plaque plongeante et la plaque supérieure. Des séismes « intraplaques » se produisent au sein de la plaque plongeante, car celle-ci se déforme en s'enfonçant dans le manteau. Les foyers sismiques sont de plus en plus profonds sous la plaque chevauchante en s'éloignant de la fosse de subduction. Ils s'alignent sur un plan incliné (le plan de Wadati-Benioff), dont l'angle peut varier selon la zone de subduction entre la verticale (ex. subduction des îles Mariannes) et un angle très faible (plan de subduction proche de l'horizontale, comme par exemple sous certains secteurs de la Cordillère des Andes : Nord du Pérou, centre-nord du Chili).



Volcanisme

Les zones de subduction sont à l'origine d'un volcanisme intense. Ce volcanisme est de type explosif car son magma est chargé de fluides (eau, ...). On parle parfois de volcans gris. Il s'agit d'un volcanisme avec une géochimie calco-alcaline. Les volcans de subduction s'alignent en général parallèlement à la zone de subduction, à une distance de l'ordre de 200 km de la fosse océanique. On appelle « arcs volcaniques » ces alignements de volcans. Exemples d'arcs volcaniques : la Cordillère des Andes, les Petites Antilles...

L'origine du volcanisme au niveau des zones de subduction est la suivante : les plaques océaniques qui plongent en subduction sont constituées de minéraux hydratés, en raison du long séjour qu'elles ont vécu au fond des océans. Lorsque la plaque plongeante atteint des profondeurs et des températures importantes, les minéraux hydratés deviennent instables. Ils subissent des transformations métamorphiques. Ils perdent leur eau pour se transformer en minéraux anhydres. Les fluides libérés circulent dans l'asthénosphère, dont ils abaissent le point de fusion. Il y a alors création de magma à la base de la plaque supérieure. Ce magma remonte à travers la plaque supérieure pour donner naissance au volcanisme de subduction.

Relief

Une fosse océanique étroite et profonde existe tout le long de la bordure où une plaque commence à s'enfoncer sous l'autre. Cette fosse est dissymétrique et est responsable d'une anomalie gravimétrique négative. Les fosses de subduction constituent les endroits où les océans atteignent les plus grandes profondeurs (plus de 10 kilomètres dans certaines fosses, comme celles des Mariannes).

Lorsque la plaque qui entre en subduction est recouverte d'une couche épaisse de sédiments, ceux-ci vont être en grande partie « rabotés » par la plaque supérieure et s'accumuler sur celle-ci. Ces sédiments sont considérablement plissés et entassés en écailles superposées. Ces sédiments s'entassent pour former un relief nommé prisme d'accrétion. Les prismes d'accrétion sont recoupés de nombreuses failles inverses, témoins d'un raccourcissement important. Les prismes d'accrétion restent souvent sous-marins. Les plus importants d'entre eux peuvent émerger hors de l'eau. C'est le cas du prisme de la Barbade, qui émerge au niveau de l'île de même nom. C'est aussi le cas du prisme d'accrétion du Makran, au sud-est de l'Iran et sud-ouest du Pakistan, qui est en grande partie émergé.

À environ 150–200 km de la fosse de subduction, sur la plaque chevauchante, se trouve une chaîne de volcans. L'alignement de ces volcans parallèlement à la fosse de subduction est nommé arc volcanique. La zone située entre les volcans et la fosse de subduction est nommée « zone d'avant-arc » (cette zone se trouve sur la plaque chevauchante), tandis que celle située de l'autre côté de l'arc est nommée « zone d'arrière-arc ». On trouve en général une dépression située entre l'arc volcanique et le prisme d'accrétion. Cette dépression est nommée « bassin d'avant-arc ».

L'arc volcanique se met en place sur la plaque chevauchante. Lorsque celle-ci est continentale, l'arc volcanique se trouve sur le rebord d'un continent (ex. Cordillère des Andes) ; Lorsque la plaque supérieure est océanique, l'arc volcanique constitue une suite d'îles volcaniques alignées. On parle d'arc insulaire (exemple : les Petites Antilles, les îles Tonga et Kermadec, etc.).

Déformation de la plaque supérieure

La plaque située au dessus de la zone de subduction se déforme souvent. Parfois, elle se raccourcit, s'épaissit, et il se forme une chaîne de montagne appelée « chaîne de marge active ». Exemple : la Cordillère des Andes. Parfois au contraire, elle s'étire. Il se forme alors un bassin. L'étirement de la plaque supérieure peut même donner naissance à un nouvel océan, avec une dorsale océanique. Exemple : La Mer Égée correspond au continent Européen étiré au dessus de la zone de subduction hellénique (zone de subduction qui passe au sud de la Crète).

Conséquences de l'enfoncement de la lithosphère océanique

Anomalies thermiques

On observe une distribution inégale du flux thermique. Les isogéothermes s'infléchissent, ce qui matérialise un plongement de ses isogéothermes. Ces anomalies thermiques et foyers sismiques profonds matérialisent la plongée de la lithosphère froide au niveau de l'affrontement des deux plaques. Ces anomalies sont de types négatives au-dessus de la fosse et positives au-dessus de l'arc volcanique.

Remarque : Les techniques de tomographie sismique permettent de mettre en évidence les anomalies de température dans le manteau terrestre. Elles montrent que le panneau plongeant se prolonge bien plus profondément dans le manteau que ce que l'on peut mettre en évidence avec le plan de Wadati-Benioff, qui ne dépasse jamais une profondeur de 670 km (limite manteau supérieur-manteau inférieur).

Anomalies gravimétriques

Les mesures du champ de gravité terrestre furent entreprises par Pierre Bouguer au XVIII^e siècle déjà. Ces mesures avaient permis de se rendre compte que la distribution des masses rocheuses n'est pas uniforme en profondeur. De ces mesures est aussi née la notion d'isostasie, selon laquelle les masses lithosphériques « flottent » sur une asthénosphère selon la loi d'Archimède. C'est le Hollandais Vening-Meinesz qui en 1923 découvrit des anomalies gravimétriques importantes au niveau de la fosse au large de l'Indonésie alors qu'il procédait à des mesures avec un gravimètre à bord d'un sous-marin. Il en conclut une flexuration à grande échelle de la croûte terrestre à cet endroit et que cette croûte avait donc des propriétés élastiques. Si les théories de Vening-Meinesz ont fait progresser l'état des connaissances et de compréhension des phénomènes géophysiques, elles sont aujourd'hui largement obsolètes car énoncées à une époque où le phénomène de subduction n'était pas communément compris et admis.

Transformations minéralogiques (métamorphisme)

Dans les zones de subduction, les roches magmatiques qui composent la plaque subduite sont des basaltes, des gabbros, et des péridotites. On y trouve aussi des sédiments.

Modalités de transformation des minéraux

Les différents minéraux se forment à des conditions de température et de pression précises. La lithosphère, en s'enfonçant, va se trouver confrontée à de nouvelles conditions : forte augmentation de la pression, et augmentation modérée de la température (car les plaques lithosphériques ont une forte inertie thermique).

Les minéraux qui composent la plaque plongeante vont se trouver dans un état instable du fait du changement de ces conditions de température et de pression. Cela va donc entraîner une modification de ces minéraux. Mais, comme ces modifications vont se faire à l'état solide, on parle de métamorphisme. De gabbro, on parle de métagabbro.

- Transformations liées à la baisse de température, hydratation et basse pression :

gabbro : plagioclases (anorthite) + H_2O → plagioclases récents + amphibole + pyroxène (augite) + olivine ==> hornblende : faciès schiste vert

- Au niveau de la croûte subduite :

- la croûte s'enfonce. Il y a donc une augmentation de la pression et peu d'augmentation de la température. La pression va chasser l'eau des minéraux.

Actinote + Chlorite + Plagioclase - H_2O → Amphibole : glaucophane : faciès schiste bleu.

- en continuant à s'enfoncer :

Amphibole - H_2O → Amphibole + Jadéite (pyroxène) + grenat : faciès éclogites

Du fait de l'augmentation de la pression, on assiste à une évolution minéralogique qui transforme le contenu des roches et leur aspect. Des gabbros (dorsale), transformés en métagabbros, que l'on retrouve au niveau du faciès schiste vert, schiste bleu, éclogite.

Remarque : Le faciès éclogitique, témoignant d'un métamorphisme de Haute pression et Haute température, sont en général les marqueurs d'une subduction continentale, c'est-à-dire, que la marge continentale, attachée à la lithosphère océanique subduite, a elle aussi subi une subduction.

Conséquences de la subduction et du métamorphisme associé

Tout d'abord, les marqueurs métamorphiques, sont de très bons indices de terrain pour connaître l'histoire d'un site donné. En identifiant des roches caractéristiques tels les schistes bleus de l'île de Groix, on peut ainsi comprendre que le lieu observé était autrefois une zone de subduction... revenue à la surface plus tard, grâce à l'érosion. Et à des mouvements de convection ascendants.

Cependant, le phénomène de subduction aboutit, à terme, au recyclage de la croûte océanique, dans le manteau (terre). Ainsi par exemple, la plus vieille croûte océanique encore présente sur Terre date du Jurassique (au large du Japon). Ce qui ne signifie pas qu'il n'y avait pas de croûte océanique avant le Jurassique : les croûtes océaniques plus anciennes ont en fait été entièrement recyclées par subduction. Ceci pose alors de nombreux problèmes aux géologues voulant étudier la dynamique des plaques lithosphériques au cours des temps anciens, car les données contenues par les croûtes océaniques de l'époque, sont à la fois perdues par l'enfouissement de ses roches, et par le métamorphisme qui les affecte.

Formation de magma

L'eau liée aux sédiments est rapidement chassée. L'eau liée aux roches de la plaque subduite se trouve libérée lors du métamorphisme (passage dans le faciès schistes bleus, puis éclogites). Cette eau peu dense remonte dans la plaque chevauchante et provoque la fusion partielle des péridotites par abaissement de leur température de fusion.

Le diagramme pression/température montre en effet que le point de fusion d'une péridotite hydratée est plus bas que celui d'une péridotite sèche. Le géotherme coupe la courbe du solidus entre -80 et -200 km. Dans cette zone, on peut donc avoir des péridotites qui entrent en fusion dans des températures inférieures à 1000 °C. Il y a donc formation d'un magma. Ce magma plus léger a tendance à remonter dans les roches encaissantes, soit rapidement : volcanisme andésitique : formation d'andésite ou de rhyolite ; soit plus lentement : une roche grenue : granodiorite. C'est pourquoi les volcans sont disposés et alignés parallèlement à la marge. Ils sont de type éruptif violent (on parle de volcanisme explosif). Ce caractère explosif s'explique par le fait que le magma soit hydraté et léger.

Moteur responsable de la subduction

La différence de densité entre la lithosphère océanique plongeante et l'asthénosphère est le principal moteur de la subduction, et même du mouvement des plaques tectoniques en général. En effet, plus la lithosphère s'éloigne de la dorsale (lieu de création de la lithosphère océanique), plus sa température diminue et plus sa densité moyenne augmente. Après une vingtaine de millions d'années, les plaques océaniques deviennent plus denses que l'asthénosphère, et une force de traction les entraîne en direction des zones de subduction.

Les zones de subduction actuelles sur la Terre

Une grande partie des zones de subduction actuelles sont réparties autour de l'océan Pacifique, appelé la « ceinture de feu », qui court depuis la Patagonie jusqu'en Alaska, puis du Kamtchatka aux Philippines. Elle implique les plaques Pacifique, Nazca, Coco et Juan de Fuca. On compte également:

- la subduction du bassin de la Mer de Chine Méridionale sous l'île de Luzon (Philippines) au niveau de la fosse de Manille. Cette subduction est à l'origine du volcanisme encore présent sur l'arc de Luzon aujourd'hui (éruption du Mont Pinatubo en 1991) ;
- la subduction de l'océan Indien sous l'Indonésie (Java et Sumatra), à l'origine du séisme et du séisme de 2004 dans l'océan Indien (plus de 220000 morts) ;
- la subduction de la Méditerranée orientale (restes de la Néo-Téthys) sous la Crète (arc Hellénique) et sous la Calabre ;
- la plaque océanique Pacifique est en subduction sous la plaque continentale de l'Amérique du Nord (cause de la faille de San Andreas).

On trouve enfin de nombreuses zones de subduction fossiles, par exemple au cœur des Alpes ou encore dans le Massif armoricain.

Notes et références



[1] http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/historical_mag_big.php

Voir aussi

Article connexe

- Marge passive

Liens externes

- Objectif-Terre, les cordillères (<http://objectif-terre.unil.ch/fr/1/cordillere/geodynamique/?chap=1&page=5>)
- Geopedia, subduction et mouvements de la Terre (<http://www.geopedia.fr/subduction.htm>)
-  Portail des sciences de la Terre et de l'Univers
-  Portail des abysses

Manteau (Terre)

🔗 Pour les articles homonymes, voir Manteau.

Le **manteau**, en géologie, est une couche intermédiaire entre le noyau planétaire et la croûte de la terre, d'une planète tellurique ou d'un corps rocheux suffisamment important pour avoir subi une différenciation planétaire.

Le manteau terrestre représente un peu plus de 80 % du volume de la Terre et environ 65 % de sa masse. Il est séparé de la croûte par la discontinuité de Mohorovicic (terme fréquemment abrégé en *moho*), et du noyau par celle de Gutenberg. Ces discontinuités marquent un contraste de densité entre les couches qu'elles séparent et portent chacune le nom du sismologue qui les a découvertes.

On distingue (en géochimie) un manteau supérieur, source des MORB (pour Mid-Ocean Ridge Basalts, les basaltes de dorsale) et un manteau inférieur source des OIB (Ocean Island Basalts, issus de points chauds tels Hawaii ou La Réunion).

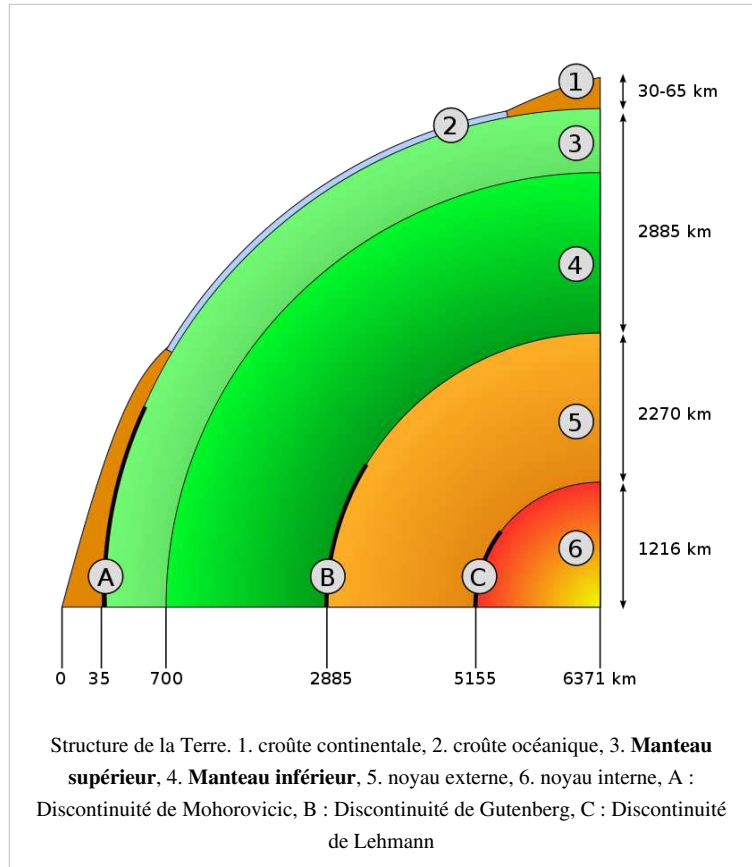
D'un point de vue minéralogique, la transition manteau supérieur vers manteau inférieur est marquée par la transition de phase Olivine structure spinelle (Ringwoodite) en Perowskite + Magnésowüstite et s'effectue à 670 km de profondeur (environ 25 gigapascals soit 250000 atmosphères). Cette discontinuité est visible également par les ondes sismiques. Le manteau, d'une épaisseur d'environ 2885 km, s'étend jusqu'au noyau externe.

Le manteau supérieur est divisé en deux parties séparées par une zone dans laquelle les ondes sismiques sont ralenties : la low velocity zone. La partie supérieure, du moho jusqu'à la LVZ est appelée manteau lithosphérique (du fait de son comportement plus cassant). La partie inférieure, dite manteau asthénosphérique, a un comportement ductile.

Composition

Le manteau est constitué d'un agrégat de cristaux d'olivine, de pyroxènes et d'autres composants basiques. Avec la profondeur, la pression et la température augmentent et les minéraux évoluent au cours de transitions de phases. Vers 400 km, l'olivine se transforme en wadsleyite : c'est l'entrée de la zone de transition observée par les sismologues, du fait du saut de vitesses sismiques. Vers 500 km, une nouvelle phase se met en place, la ringwoodite, mais est difficilement observée. Ensuite, à 670 km, apparaît la péridotite, qui est le constituant majeur du manteau. Il existe aussi d'autres transitions, notamment pour les pyroxènes ou le passage à la phase de très haute pression qu'est la post-pérovskite.

Les processus de déformations de ces minéraux sont encore mal connus, surtout à grande profondeur. Cependant, il est raisonnablement admis que l'olivine se déforme suivant des plans cristallins dans lequel des dislocations peuvent bouger^[pas clair].



Convection dans le manteau

La Terre possède une chaleur importante du fait de la radioactivité et de la chaleur d'accrétion initiale. Elle se refroidit en évacuant la chaleur à sa surface.

Pour cela, on connaît trois mécanismes : conduction thermique, convection, transfert radiatif. Au niveau du manteau terrestre, la majeure partie du flux de chaleur est évacuée par la mise en mouvement des roches. En effet, du fait de la production de chaleur liée aux désintégrations radioactives et du flux provenant du noyau (faible), la matière devient plus légère et la convection a lieu. Ces mouvements à l'état solide sont à l'origine des mouvements des plaques lithosphériques et des points chauds.


La physique de ce phénomène est complexe. En effet, les propriétés physiques des matériaux solides sont très différentes de celle de l'eau ou de l'air par exemple.

Fusion partielle et volcans

Le manteau terrestre est solide mais néanmoins visqueux (au sens physique du terme).

La partie du manteau supérieur faisant partie de la lithosphère est solide, le restant du manteau supérieur est plastique. Le manteau inférieur est plus fortement visqueux.

La production de magma s'effectue au niveau de zones de fusion partielle. Les principales zones sont les zones d'accrétion (ou dorsales océaniques), les zones de subduction et les points chauds. De petites zones du manteau supérieur, fondent partiellement, et remontent dans des chenaux vers la surface pour donner naissance à des volcans.

-  Portail des sciences de la Terre et de l'Univers

Manteau (géologie)

🔗 Pour les articles homonymes, voir Manteau.

Le **manteau**, en géologie, est une couche intermédiaire entre le noyau planétaire et la croûte de la terre, d'une planète tellurique ou d'un corps rocheux suffisamment important pour avoir subi une différenciation planétaire.

Le manteau terrestre représente un peu plus de 80 % du volume de la Terre et environ 65 % de sa masse. Il est séparé de la croûte par la discontinuité de Mohorovicic (terme fréquemment abrégé en *moho*), et du noyau par celle de Gutenberg. Ces discontinuités marquent un contraste de densité entre les couches qu'elles séparent et portent chacune le nom du sismologue qui les a découvertes.

On distingue (en géochimie) un manteau supérieur, source des MORB (pour Mid-Ocean Ridge Basalts, les basaltes de dorsale) et un manteau inférieur source des OIB (Ocean Island Basalts, issus de points chauds tels Hawaii ou La Réunion).

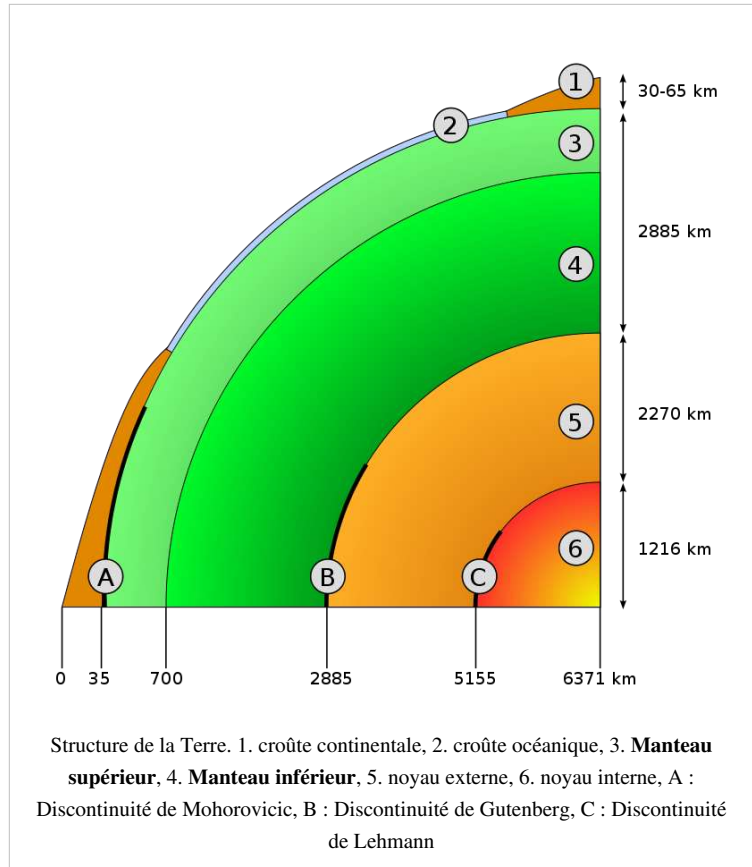
D'un point de vue minéralogique, la transition manteau supérieur vers manteau inférieur est marquée par la transition de phase Olivine structure spinelle (Ringwoodite) en Perowskite + Magnésowüstite et s'effectue à 670 km de profondeur (environ 25 gigapascals soit 250000 atmosphères). Cette discontinuité est visible également par les ondes sismiques. Le manteau, d'une épaisseur d'environ 2885 km, s'étend jusqu'au noyau externe.

Le manteau supérieur est divisé en deux parties séparées par une zone dans laquelle les ondes sismiques sont ralenties : la low velocity zone. La partie supérieure, du moho jusqu'à la LVZ est appelée manteau lithosphérique (du fait de son comportement plus cassant). La partie inférieure, dite manteau asthénosphérique, a un comportement ductile.

Composition

Le manteau est constitué d'un agrégat de cristaux d'olivine, de pyroxènes et d'autres composants basiques. Avec la profondeur, la pression et la température augmentent et les minéraux évoluent au cours de transitions de phases. Vers 400 km, l'olivine se transforme en wadsleyite : c'est l'entrée de la zone de transition observée par les sismologues, du fait du saut de vitesses sismiques. Vers 500 km, une nouvelle phase se met en place, la ringwoodite, mais est difficilement observée. Ensuite, à 670 km, apparaît la péridotite, qui est le constituant majeur du manteau. Il existe aussi d'autres transitions, notamment pour les pyroxènes ou le passage à la phase de très haute pression qu'est la post-pérovskite.

Les processus de déformations de ces minéraux sont encore mal connus, surtout à grande profondeur. Cependant, il est raisonnablement admis que l'olivine se déforme suivant des plans cristallins dans lequel des dislocations peuvent bouger^[pas clair].



Convection dans le manteau

La Terre possède une chaleur importante du fait de la radioactivité et de la chaleur d'accrétion initiale. Elle se refroidit en évacuant la chaleur à sa surface.

Pour cela, on connaît trois mécanismes : conduction thermique, convection, transfert radiatif. Au niveau du manteau terrestre, la majeure partie du flux de chaleur est évacuée par la mise en mouvement des roches. En effet, du fait de la production de chaleur liée aux désintégrations radioactives et du flux provenant du noyau (faible), la matière devient plus légère et la convection a lieu. Ces mouvements à l'état solide sont à l'origine des mouvements des plaques lithosphériques et des points chauds.


La physique de ce phénomène est complexe. En effet, les propriétés physiques des matériaux solides sont très différentes de celle de l'eau ou de l'air par exemple.

Fusion partielle et volcans

Le manteau terrestre est solide mais néanmoins visqueux (au sens physique du terme).

La partie du manteau supérieur faisant partie de la lithosphère est solide, le restant du manteau supérieur est plastique. Le manteau inférieur est plus fortement visqueux.

La production de magma s'effectue au niveau de zones de fusion partielle. Les principales zones sont les zones d'accrétion (ou dorsales océaniques), les zones de subduction et les points chauds. De petites zones du manteau supérieur, fondent partiellement, et remontent dans des chenaux vers la surface pour donner naissance à des volcans.

-  Portail des sciences de la Terre et de l'Univers

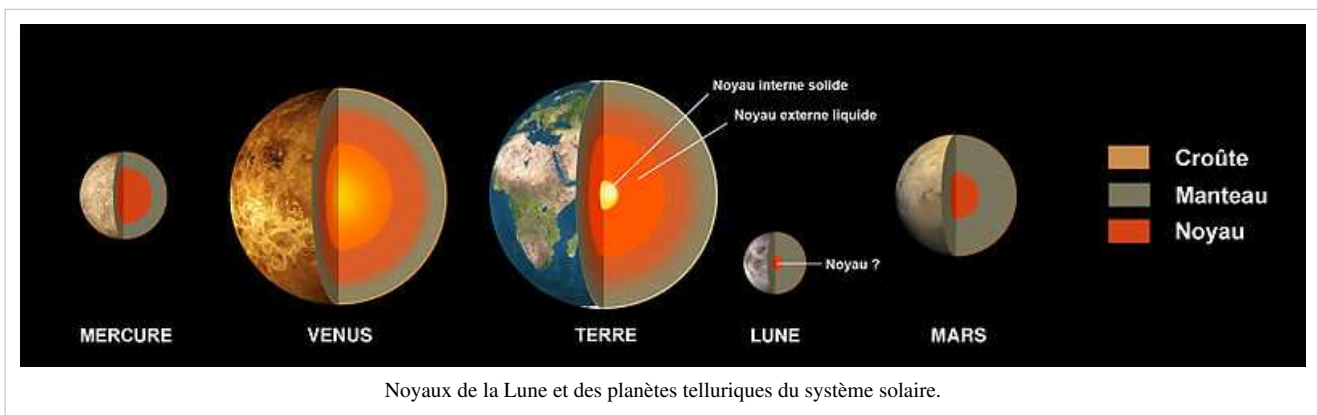
Noyau (planète)

 Pour les articles homonymes, voir noyau.

Le **noyau** d'une planète est la partie centrale approximativement sphérique au cœur de sa structure.

Pour la Terre et la planète Vénus, le noyau planétaire est une masse compacte composée essentiellement de fer (80 %) et de nickel. Il est probable que cette masse soit sous forme solide (noyau interne) au cœur d'un ensemble liquide (noyau externe) qui forme une partie importante de la masse de la planète. La graine (noyau interne) serait elle-même subdivisée en une enveloppe externe et une structure interne appelée l'amande.

Article détaillé : Structure interne de la Terre.



Autres planètes

Pour les autres planètes, il est parfois difficile d'établir les caractéristiques du noyau. Certaines d'entre elles n'en ont peut-être pas, soit parce que leur intérieur est entièrement solide (la Lune, par exemple), soit parce que leur intérieur est entièrement liquide (c'est sans doute le cas de certaines planètes géantes gazeuses comme Jupiter). Mais les certitudes sont un peu difficiles à obtenir en dehors de la Terre et de la Lune, la meilleure approche pour s'en assurer restant la méthode sismique (détectant les déformations d'ondes de choc sismique au passage au travers du noyau).

L'étude du champ magnétique peut cependant fournir des indices intéressants. Selon les théories les plus communément admises, le champ magnétique terrestre est dû aux courants électriques qui parcourent le noyau externe (formé de métaux en fusion) circulant autour d'un noyau interne en fer solide, le mouvement de rotation provoquant un effet dynamo.

Cas de Vénus et de Mars


Au contraire, à la surface de Mars, on n'observe qu'un champ magnétique fossile. Il semble indiquer que son noyau pourrait être totalement solidifié, mais que cette planète a possédé dans le passé un noyau fluide. L'absence de champ magnétique à la surface de Vénus est plus difficilement explicable. Il est peut-être dû à une vitesse de rotation trop faible ou à un noyau totalement fluide.

On peut noter qu'il y a un autre effet qui limite les mouvements de convection dans les noyaux de ces 2 planètes telluriques (les moins différentes de la Terre), et, partant, participe à l'absence de champ magnétique actif : l'absence de tectonique des plaques et de subduction dans le manteau.

En effet, la subduction (sur Terre) refroidit le manteau et participe à sa convection. Le gradient thermique du manteau est ainsi maintenu assez élevé, qui permet le refroidissement du noyau externe entretenant son gradient thermique et la cristallisation du noyau interne donc de sa démixtion chimique. Ces phénomènes entretiennent les mouvements de convection du noyau externe terrestre produisant le champ magnétique.

- Sur Mars, la croûte externe est sans doute épaisse et sans subduction, « isolant » d'autant mieux le manteau martien, qui aurait donc une température plus élevée (et uniforme) que la taille réduite de la planète pourrait le laisser penser. De plus, la gravité martienne relativement faible, limite d'autant les mouvements de convection. Le noyau martien a dû se refroidir rapidement au début, puis bien plus lentement, limitant les mouvements de convection dans le noyau liquide (résiduel ?).
- Sur Vénus, qui est *a priori* comparable à la Terre, les conditions extrêmes de sa surface empêchent la subduction : l'eau interstitielle des roches s'évapore et n'est pas renouvelée (contrairement à la Terre) et le reste continue sans doute à s'échapper. Cette eau a un rôle de lubrifiant dans les mouvements de fluage des roches, et son absence limite grandement la subduction. Son manteau rocheux doit être ainsi plus chaud que celui de la Terre et plus uniforme en température. Ce qui limite (peut-être complètement) le refroidissement du noyau, qui pourrait être encore entièrement liquide.

Lien externe

- (fr) Le noyau terrestre ^[1]
-  Portail de l'astronomie

Références

[1] <http://baudolino.free.fr/Noyau/>

Lithosphère

La **lithosphère** (littéralement, la « sphère de pierre ») est l'enveloppe rigide terrestre la plus superficielle. Elle est divisée en un certain nombre de plaques tectoniques également appelées plaques lithosphériques. Les plaques lithosphériques rigides reposent sur l'asthénosphère, plus facilement déformable (constituée de roches ductiles de relativement faible viscosité).

La lithosphère est constituée de la croûte (océanique ou continentale) et de la partie superficielle du manteau supérieur, rigide. La croûte et la partie inférieure de la lithosphère sont séparées par la discontinuité de Mohorovicic (plus communément appelée "MOHO"), discontinuité marquée

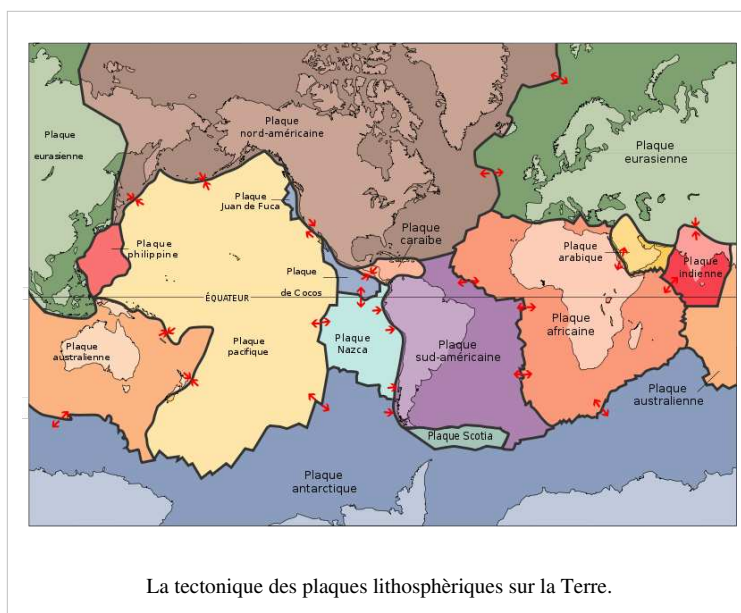
par une modification de la vitesse de propagation des ondes sismiques. La limite inférieure de la lithosphère (c'est-à-dire la limite entre le manteau supérieur rigide et le manteau supérieur ductile de faible viscosité) se trouve à l'isotherme où l'olivine (minéral largement dominant dans le manteau) atteint son point de fusion : aux alentours de 1 300 °C. Cette profondeur varie de quasiment 20 km au niveau des dorsales océaniques, à plus de 200 km sous les vieux continents. La limite lithosphère-asthénosphère correspond donc à une limite mécanique : ce sont des roches de compositions chimiques voisines, mais de comportement mécanique différent, que l'on trouve à la base de la lithosphère et au sommet de l'asthénosphère. Le passage croûte-manteau, lui, est plus superficiel (il se situe au cœur de la lithosphère), et correspond à un changement de composition chimique et de minéralogie des roches.

Le transfert de chaleur dans la lithosphère se fait par conduction thermique à l'opposé du transfert de chaleur par convection dans l'asthénosphère. Le gradient de température est plus élevé dans la lithosphère que dans l'asthénosphère, de l'ordre d'une dizaine de degrés par km.


La transformation d'un manteau rigide dans la lithosphère, en un manteau plus déformable (ductile) dans l'asthénosphère, est responsable d'une diminution de la vitesse et d'une atténuation marquée des ondes sismiques P et S au niveau de la « low velocity zone ».

Les plaques composant la lithosphère sont animées de mouvements relatifs de divergence, de convergence ou décrochants (de coulissage). Les mouvements de divergence traduisent un éloignement de deux plaques l'une par rapport à l'autre au niveau d'une dorsale. La convergence, un rapprochement des deux plaques. La convergence peut être une subduction, une plaque passe au-dessous d'une autre. Il existe deux cas de subduction, une convergence d'une plaque continentale et océanique, avec formation d'une cordillère ou d'un arc insulaire. Dans le second cas la convergence se fait entre deux plaques océaniques avec création d'un arc insulaire ou d'un arc insulaire double et d'une mer marginale formé par le remplissage d'un bassin arrière-arc. Dans le cas de deux plaques continentales, les deux plaques entrent en collision avec un blocage local de la convergence ce qui donne naissance à une chaîne de collision.

La quantité de lithosphère à la surface de la Terre est toujours la même, les mouvements de convergence et de divergence se compensent.



La tectonique des plaques lithosphériques sur la Terre.

-  Portail des sciences de la Terre et de l'Univers

Lithosphère océanique




Cet article est une ébauche concernant la géologie.

Vous pouvez partager vos connaissances en l’améliorant (**comment** ?) selon les recommandations des projets correspondants.

Dans la tectonique des plaques, la **lithosphère océanique** est un ensemble formé par la croûte océanique et le manteau lithosphérique sous-jacent. La lithosphère océanique est moins épaisse que la lithosphère continentale. La partie crustale de la lithosphère océanique est épaisse généralement de moins de 10 km, sa portion mantellique peut atteindre 80 km d'épaisseur. Elle est plus dense que la lithosphère continentale, avec une masse volumique moyenne de 3,3g/cm³. Elle est composée de gabbros et basaltes dans la partie crustale (la croûte océanique) et de péridotites dans la partie mantellique (manteau lithosphérique).

La lithosphère océanique est créée au niveau des dorsales. De par leur processus de formation, elles sont d'abord peu épaisses puis s'épaississent au fur et à mesure de leur éloignement de la dorsale, ce qui correspond aussi à leur âge. Leur épaississement s'effectue par refroidissement de la partie du manteau supérieur immédiatement sous la croûte mais aussi par sédimentation. Le refroidissement induit une augmentation de la densité de la plaque, quand cette dernière dépasse la densité de l'asthénosphère sous-jacente, l'équilibre devient instable et la lithosphère océanique qui « flotte » sur l'asthénosphère peut entrer en subduction.

La majeure partie de la lithosphère océanique actuelle est âgée de moins de 200 millions d'années, car elle disparaît dans le manteau asthénosphérique lors de la subduction pendant qu'une lithosphère océanique nouvelle se forme au niveau des dorsales par accréation. Dans le cas d'une obduction, des portions de la plaque océanique ne disparaissent pas mais peuvent former une nappe de charriage.

-  Portail des sciences de la Terre et de l'Univers

Lithosphère continentale

Le concept de **lithosphère continentale** est apparu avec le modèle de la tectonique des plaques, qui découpe la surface du globe en grandes plaques lithosphériques. La lithosphère continentale est composée de la croûte continentale et du manteau lithosphérique. Elle correspond, grosso modo, à la portion de la plaque lithosphérique qui est immergée, à contrario de la lithosphère océanique qui correspond à la partie submergée (sous la surface des océans).

Caractéristiques


La lithosphère continentale est caractérisée par une épaisseur variant de 150 à 200 km suivant les endroits et une densité de l'ordre de 2,7 à 2.8.

Elle est composée de la croûte continentale (\approx 30km d'épaisseur) et d'une partie du manteau supérieur : le manteau lithosphérique. La discontinuité qui sépare ces deux compartiments s'appelle la discontinuité de Andrija Mohorovičić (généralement abrégée Moho). Cette discontinuité caractérise un changement de vitesses des ondes sismiques.

La discontinuité qui sépare le manteau lithosphérique du manteau supérieur sous-jacent est nommée LVZ (Low Velocity Zone). Elle correspond à une zone de faible vitesse de propagation des ondes sismiques entre 125 et 235km de profondeur et définit la limite entre lithosphère et asthénosphère^[1].

Notes et références

[1] **Géologie**, Laurent Emmanuel, Marc de Rafélis, Ariane Pasco, 2007

-  Portail des sciences de la Terre et de l'Univers

Asthénosphère



Cet article est une ébauche concernant la géologie.

Vous pouvez partager vos connaissances en l’améliorant (**comment** ?) selon les recommandations des projets correspondants.

L'**asthénosphère** (du grec *asthenos*, sans résistance) est la partie ductile du manteau terrestre, directement située sous la lithosphère rigide.

Ce concept apparaît à la fin des années 1960 avec la révolution de la tectonique des plaques en même temps que le concept de mésosphère^[1]. L'asthénosphère est comprise entre la lithosphère et la mésosphère. La profondeur de l'asthénosphère dépend donc directement de l'épaisseur de la lithosphère. Elle varie entre environ 100 km sous les océans (quelques km au niveau des rifts océaniques) et environ 170 km sous les continents.

La distinction entre ces deux régions se faisant sur des critères de comportement mécanique des roches, le passage d'un domaine à l'autre est souvent défini en utilisant une isotherme (de l'ordre de 1300 °C). La partie supérieure de l'asthénosphère est appelée zone à faible vitesse (souvent abrégée **LVZ** d'après l'anglais *Low Velocity zone*).

Sa limite inférieure se situe entre 640 et 700 km, au niveau de la zone intermédiaire qui la sépare du manteau inférieur.

Elle est le siège d'une convection, mais de nombreux arguments indiquent que cette convection présente une continuité au moins partielle avec la convection du manteau inférieur. On a imaginé que les mouvements de convections de l'asthénosphère étaient la cause du déplacement superficiel des plaques lithosphériques. Les propriétés ductiles de l'asthénosphère, entraînant un découplage mécanique avec la lithosphère, en font néanmoins un mauvais candidat pour cette mise en mouvement. On estime actuellement que le déplacement de la lithosphère et le

déplacement de l'asthénosphère sont partie intégrante du système convectif mantellique, et aucun des deux ne saurait être considéré comme la cause de l'autre, si ce n'est au second ordre.

Définition sismique

La densité moyenne des roches augmente avec la profondeur pour passer de 3,4 au niveau de la lithosphère à 4 au niveau de la mésosphère.

La vitesse des ondes sismiques P augmente également avec la profondeur. Elle est de de 7,8 km/s au niveau de la lithosphère.

La vitesse des ondes sismiques S passe de 4 km/s à 5,5 km/s. La vitesse des ondes sismiques dépend de la rigidité : plus la rigidité est importante plus les ondes sont rapides.

Référence

[1] Isaks B., J. Oliver and L. R. Sykes (1968). Seismology and the new global tectonics. *J. Geophys. Res.*, **73**, 5855—5899.

Discontinuité de Gutenberg




Cet article est une ébauche concernant la géologie et la physique.

Vous pouvez partager vos connaissances en l’améliorant (**comment** ?) selon les recommandations des projets correspondants.


La **Discontinuité de Gutenberg** représente une discontinuité dans la vitesse sismique qui délimite le noyau et le manteau. Elle se situe à environ 2900 km de profondeur.

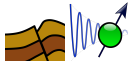
Nommée d'après le sismologue Beno Gutenberg, elle est aussi parfois appelée "interface noyau-manteau" ou CMB (anglais *core-mantle boundary*).

Voir aussi

- Discontinuité
- Structure interne de la Terre
- Sismologie
-  Portail de la géodésie et de la géophysique

Discontinuité de Mohorovicic

 Pour le genre d'oiseaux, voir **Moho** (oiseau).



Cet article est une ébauche concernant la géologie et la physique.

Vous pouvez partager vos connaissances en l’améliorant (**comment ?**) selon les recommandations des projets correspondants.

La **discontinuité de Mohorovičić**, abrégée **Moho**, est la limite entre la croûte terrestre et le manteau supérieur de la Terre. Entre la croûte continentale, ayant une épaisseur moyenne de 35 kilomètres (allant jusqu'à 75 km sous les chaînes montagneuses récentes) et la croûte océanique d'une épaisseur moyenne de 6 kilomètres, le Moho est en moyenne situé à 43 kilomètres de profondeur, avec d'importantes variations.

Cette discontinuité a été détectée pour la première fois en Croatie en 1909 par Andrija Mohorovičić, qui lui donna son nom. Elle est mise en évidence par une accélération brutale des ondes sismiques, les ondes primaires passant de 7 à 8 km/s. Cette accélération s'explique par un changement du milieu de propagation (en particulier la densité et la minéralogie changent), qui implique une réfraction, la croûte étant constituée majoritairement de basaltes si elle est océanique ou de granites si elle est continentale, alors que le manteau est fait de péridotite. C'est donc une discontinuité physico-chimique.

Depuis les années 1960, de nombreux projets de forage ont été entrepris afin d'atteindre le Moho, à commencer par le Mohole, projet américain de 1967-1968 qui espérait atteindre le Moho au travers de la croute océanique près d'Hawaï, sous 4500 mètres d'eau (sans succès). En 1968, le projet JOIDES a tenté la même chose près du littoral du Mexique, mais le projet fut abandonné.

Le forage sg3, premier projet à tenter d'atteindre le Moho à travers le continent est un projet russe commencé en 1970^[1]. Aucun de ces projets n'a réussi, bien qu'en 1989, le projet russe en soit arrivé à forer à plus de 12 km de profondeur. L'Allemagne avait également commencé un tel projet en Bavière qui prévoyait d'atteindre le Moho en 1996 (abandonné depuis).

Notes et références

[1] (**ru**) Site officiel du forage (<http://superdeep.pechenga.ru/>) Onglet история et sous-onglet данные СГ-3

Voir aussi

- Structure interne de la Terre

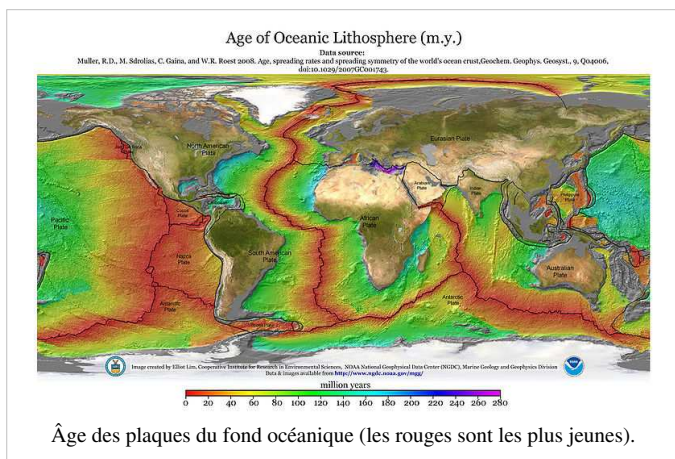
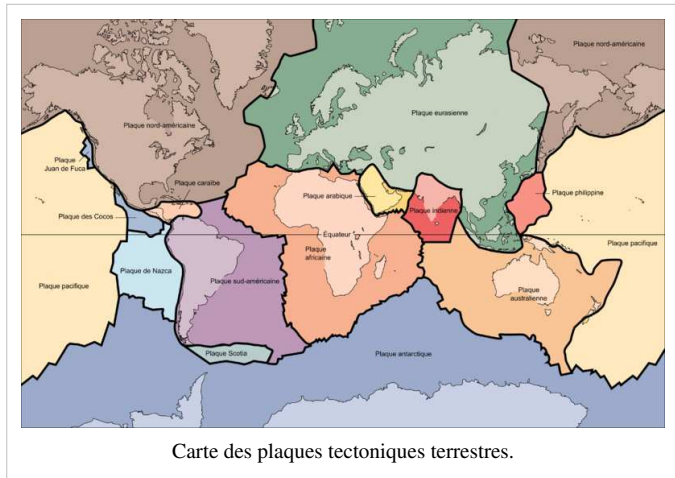
Tectonique des plaques

La **tectonique des plaques** (d'abord appelée *dérive des continents*) est le modèle actuel du fonctionnement interne de la Terre. Elle est l'expression en surface de la convection qui se déroule dans le manteau terrestre. On peut la résumer par « Tout bouge en profondeur, tout change en surface ».

La lithosphère, couche externe de la Terre, est découpée en plaques rigides qui flottent et se déplacent sur l'asthénosphère, plus ductile. Les premiers concepts, balbutiés dès le XVIII^e siècle, ont été formulés en 1912 par le climatologue allemand Alfred Wegener à partir de considérations cartographiques, structurales, paléontologiques et paléoclimatiques.

Histoire

Au début du XX^e siècle, l'Allemand Alfred Wegener remarque que par la disposition des continents, la côte est de l'Amérique du Sud semble s'emboîter parfaitement dans la côte ouest de l'Afrique. Il va ainsi publier un ouvrage en 1915 : *Genèse des océans et des continents : théories des translations continentales*. Pour Wegener, les masses continentales se déplacent au cours des ères géologiques. Au Permien (280 millions d'années), les continents actuels formaient un seul supercontinent : la Pangée (Pangaea : Terre unique en Grec). Ce continent s'est par la suite disloqué et donner naissance vers 200 millions à deux autres supercontinents : la Laurasia au Nord et le Gondwana au Sud, lesquels ont continué à se fracturer pour donner naissance aux continents actuels qui, tels des radeaux, se seraient déplacés au cours des ères géologiques pour aboutir à la configuration actuelle. Il s'est appuyé sur de nombreuses preuves morphologiques : emboîtement des formes de continents tels la corne Sud Est du Brésil et le fonds du golfe de Guinée, stratigraphiques (continuité stratigraphique entre l'Afrique et l'Amérique du Sud qui se traduit par l'existence des cratons fait de tonalites ou boucliers qui datent du Primaire), paléoclimatiques (existence de galets striés datant du primaire en Afrique du Sud et Amérique du Sud, ce qui témoigne que les deux continents ont subi les mêmes influences glaciaires au Primaire) et paléontologiques (même faune et flore du primaire au rang desquelles les mésosaures, les cygnonatus et les glossoptéris, sorte de fougère du primaire). D'autres bien avant lui s'en sont aperçus, mais il est le premier à alors proposer, à partir de cette observation, la théorie de la dérive des continents : un supercontinent, la Pangée, se serait fragmenté au début de l'ère secondaire et, depuis cette ère, les masses continentales issues de cette fragmentation dériveraient à la surface de la Terre. Cette intuition, pourtant étayée par des faits convaincants, a longtemps été rejetée par des géologues, Wegener proposait comme explication le brotage des continents sur le fond des océans pour expliquer la dérive. Mais, dans cette vision théorique, la dérive se caractérise par la formation de trou béant. Les mécanismes et la morphologie interne de la Terre étaient encore inconnus pour une interprétation plausible de la dérive.



C'est seulement dans la deuxième moitié du XX^e siècle que la communauté scientifique, convaincue par la présentation de nouvelles preuves, accepte finalement le modèle de tectonique des plaques. L'hypothèse des *mouvements de convection* dans le manteau, émise par Arthur Holmes en 1945, propose un moteur plausible à ces déplacements de continents. Mais c'est la compréhension du fonctionnement des fonds océaniques, avec l'hypothèse du *double tapis roulant* formulée par Harry Hess en 1962, qui marque une véritable révolution des sciences de la Terre.

La théorie synthétique de la tectonique des plaques est énoncée en 1967 par l'Américain William Jason Morgan, le Britannique Dan McKenzie et le Français Xavier Le Pichon.

Lors de l'exposé de sa théorie de la tectonique des plaques (1968), Le Pichon a distingué 8 plaques lithosphériques principales :

- africaine
- nord-américaine
- sud-américaine
- eurasiatique
- indo-australienne
- antarctique
- sud-pacifique
- nord-pacifique

Seules les deux dernières plaques sont entièrement océaniques ; les autres comprennent à la fois des parties océaniques et des parties continentales. Des études ultérieures plus détaillées ont conduit à distinguer un certain nombre de plaques secondaires, de moindre importance.

Le modèle du *double tapis roulant* comme moteur de la tectonique des plaques est remis en question à partir des années 1990.

A partir de 1967, les expéditions Tazieff en Afar (Ethiopie), ont apporté la démonstration de l'origine océanique des systèmes volcaniques axiaux actifs de la région. Initié dans les années 40 aux travaux de Wegener par son professeur le tectonicien belge Paul Michot, Haroun Tazieff cherchait depuis 1948-49, après sa découverte du volcanisme dans la branche sud-occidentale du grand rift africain dans le Kivu, à en explorer la partie septentrionale, qu'il ne put explorer qu'en 1967, après plusieurs tentatives avortées. Les travaux de recherche décrivant les mécanismes d'expansion en Afar se sont poursuivis de 1967 à 1976, donnant lieu à une multitude de publications. Franco Barberi et Jacques Varet, prenant le relais d'Haroun Tazieff et de Giorgio Marinelli, se sont vu décerner le prix L.R. Wager par la Royal Society et l'Association Internationale de Volcanologie et de Chimie de l'Intérieur de la Terre (AIVCIT, 1972).

Tazieff et ses équipiers ont réalisé en Afar les premières mesures directes d'écartement des lèvres d'un rift océanique. Si l'ouverture augmente de 2 cm en moyenne par an, il s'agit en réalité d'une succession d'ouvertures brutales de segments actifs, à compter en mètres sur des espaces de temps de l'ordre de 100 ans. Les événements récents mesurés par interférométrie sur images satellites le long de la chaîne axiale de Manda Harraro sont venus confirmer ce type de phénomène en 2006.

L'apport de Barberi et Varet a été de démontrer que les « chaînes volcaniques axiales » de l'Afar étaient de type « océaniques » (au plan tectonique et magmatique) et assuraient le relai entre les vallées axiales de la Mer Rouge et celles du Golfe d'Aden. De sorte que la frontière des plaques entre l'Afrique et l'Arabie ne passe pas « en mer » par le détroit de Bab-el-Mandeb, mais à terre à travers l'Afar. La nature de la tectonique et du volcanisme de l'Afar se distingue ainsi de celle du rift africain, qui reste un « rift continental » n'ayant pas donné lieu à la génération de croûte océanique nouvelle.

Le modèle actuel

On admet à présent que les plaques tectoniques sont portées par les mouvements du manteau asthénosphérique sous-jacent et subissent des interactions dont les trois types principaux sont :

- la *divergence* : se dit d'un mouvement éloignant deux plaques l'une de l'autre, laissant le manteau remonter entre elles. Leur frontière divergente correspond à une ride océanique ou dorsale, lieu de création de lithosphère océanique et théâtre de volcanisme intense. Le volcanisme au niveau des dorsales est généralement basaltique, avec une géochimie tholéiitique. C'est à travers ce mouvement que se crée la croûte lithosphérique (couche rigide située au-dessus du manteau supérieur) ;
- la *convergence* : se dit d'un mouvement rapprochant deux plaques l'une de l'autre, compensant ainsi l'expansion océanique en d'autres zones du globe. Trois types de frontière de plaques convergentes accommodent le rapprochement :

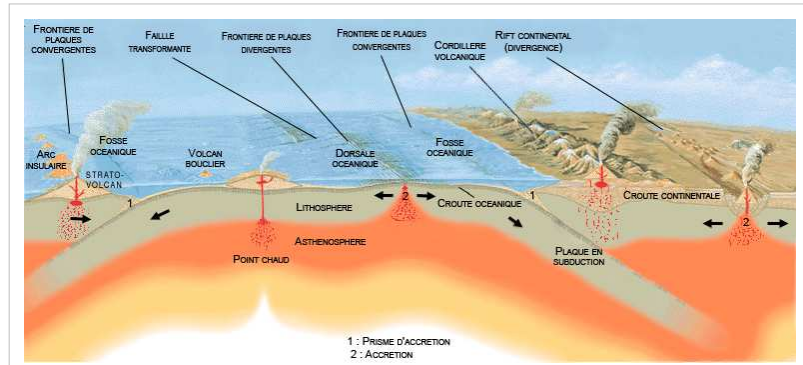
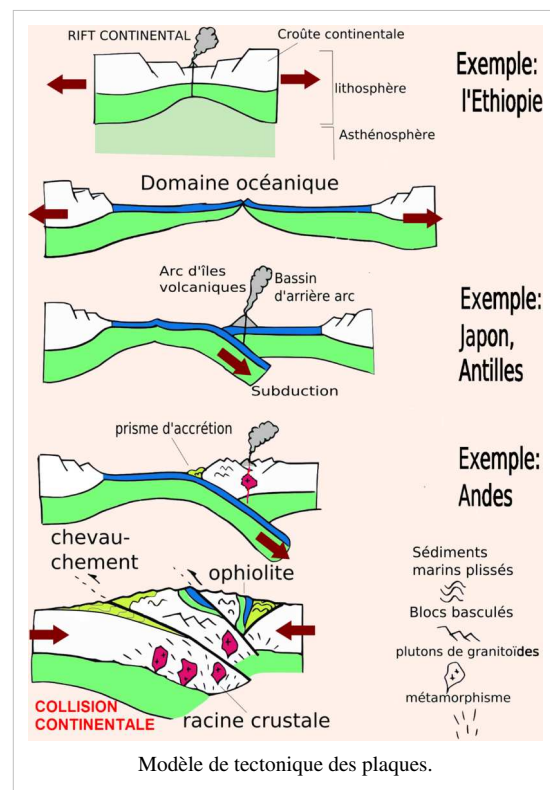


Schéma général des différents types de volcanisme associés aux mouvements des plaques tectoniques.



- une zone de subduction là où une plaque (en général la plus dense et plus précisément la plaque

océanique, $d = 3,2$) s'incurve et plonge sous une autre, moins dense (généralement la plaque continentale, $d = 2,7$) avant de s'enfoncer dans l'asthénosphère où elle rencontre de très hautes températures et fonde partiellement. c'est ce magma récemment fondu qui remonte pour alimenter les volcans situés au niveau des cordillères et des arcs insulaires. Il faut noter que les différences de densités proviennent de la nature des matériaux. Ainsi, la plaque océanique est faite de matériaux basaltiques denses, alors que la plaque continentale est plutôt faite de matériaux granitiques peu denses. On peut également avoir des exemples de subduction Océan-océan le volcanisme au-dessus des zones de subduction est généralement andésitique, avec une géochimie calco-alcaline. Cette situation est due à l'hydratation du magma. En effet, lorsque la plaque plongeante s'enfonce dans l'asthénosphère, l'eau s'infiltré à travers ses fissures. La côte ouest de l'Amérique du Sud en est un exemple ; La subduction d'une plaque sous une autre entraîne de nombreuses conséquences telles que un volcanisme andésitique (ou explosif ou volcan gris), de nombreux tremblements de terre, et surtout la formation des plis et des failles.

- une zone de collision, là où deux plaques se confrontent. Il s'agit généralement de deux plaques continentales. Ainsi quand deux plaques continentales de même nature et de même densité se rencontrent, le moteur du mécanisme se bloque. Il n'est pas assez puissant pour faire plonger l'une des plaques dans l'asthénosphère à cause de leur faible densité. Les deux plaques se soudent pour n'en former qu'une seule. C'est le cas notamment de la chaîne de l'Himalaya, à la frontière entre la plaque indienne et la plaque eurasienne ; cette rencontre s'est produite il y a 65 millions d'années à la faveur de la fameuse migration du continent indien. Les Alpes, les chaînes de l'Atlas sont des exemples de chaîne de collision. Il faut noter que pendant la collision, le matériel sédimentaire est transporté en hauteur pour former des chaînes de montagnes où les roches sont plissées et faillées. La collision conduit au raccourcissement de l'écorce terrestre.
- une zone d'obduction, là où une lithosphère océanique est transportée sur un continent. On ne connaît pas d'obduction actuellement active à la surface du globe terrestre.
- le *coulissage* ou *transcurrence* : se dit du glissement horizontal de deux plaques, l'une à côté et le long de l'autre. Il s'agit d'un déplacement latéral d'une plaque contre une autre. On a le cas de la faille de San Andréas en Californie, longue de plus de 400 km. Pendant le déplacement de cette faille se produisent des séismes très violents.

À ces trois types d'interaction sont associées les trois grandes familles de failles :

- une faille normale est divergente (extensive) ;
- une faille inverse est convergente (compressive) ;
- un décrochement est transcurrent (les axes d'extension et de compression sont dans le plan horizontal).

John Tuzo Wilson décrivit que les continents grandissent par un cycle de Wilson, une série d'étapes quasi-périodiques où les plaques tectoniques de la croûte terrestre se dispersent puis s'agrègent.

L'origine de la force qui rend les plaques mobiles est discutée : elle peut être liée à la contrainte cisailante entre la lithosphère et l'asthénosphère (liée à la convection et à l'importance du couplage entre la lithosphère et l'asthénosphère), au poids de la lithosphère subductante (qui *tire* toute la plaque), à l'altitude plus élevée de la lithosphère à la dorsale (écoulement gravitaire) ou à la poussée à la ride (la formation de la lithosphère *pousse* toute la plaque). Ces possibilités ne sont pas exclusives, mais les contributions relatives dans le mouvement sont très discutées et dépendent des études, en particulier le rôle du couplage entre la lithosphère et l'asthénosphère, considéré comme majeur jusque dans les années 1990 est fortement remis en question.

Tectonique des plaques et convection dans le manteau

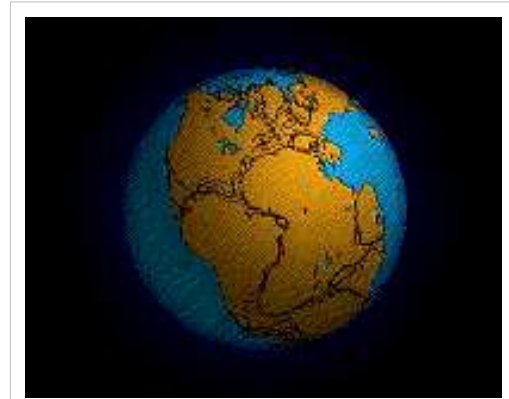
La Terre possède une chaleur importante du fait de la radioactivité (désintégration du potassium, de l'uranium et du thorium) et de la chaleur d'accrétion initiale. Elle se refroidit en évacuant la chaleur à sa surface. Pour cela, on connaît trois mécanismes : conduction thermique, convection et transfert radiatif. Au niveau du manteau terrestre, la majeure partie du flux de chaleur est évacuée par la mise en mouvement des roches (convection). La convection est induite par la présence de matériel chaud (donc moins dense) *sous* du matériel moins chaud (donc plus dense). Ces mouvements sont très lents (de l'ordre de 1 à 13 cm/an).

Jusqu'à peu, les géologues considéraient que le couplage mécanique entre les mouvements de l'asthénosphère et de la lithosphère était le principal moteur de la tectonique des plaques. L'importance de ce couplage entre la lithosphère (rigide et cassante) et l'asthénosphère (manteau sous-jacent ductile et déformable) est remis en cause.

Les limites du modèle

La tectonique des plaques est parfaitement valable pour les plaques océaniques (ou pour les parties océaniques des plaques mixtes). En effet, les plaques océaniques sont minces et rigides; leurs limites sont très nettes (ride médio-océanique, failles transformantes ou zones de subduction). Par contre, les plaques continentales sont beaucoup plus épaisses et moins rigides. Les limites de plaques sont donc beaucoup plus floues, et l'on peut considérer comme limite la suture paléogéographique (l'ancien océan), ou la zone qui se déforme actuellement (dans les cas de l'Himalaya-Tibet, la différence est de plusieurs milliers de km).

De plus, ce manque de rigidité induit la présence d'une multitude de "blocs" ou de "microplaques", plus ou moins indépendantes. La mosaïque en Méditerranée en est un bon exemple, avec une multitude de systèmes en extension (mer Tyrrhénienne, mer d'Alboran, mer Égée) dans un contexte compressif (rapprochement des plaques africaines et européennes). Le modèle de tectonique des plaques trouve ici ses limites, et certains modèles peuvent mieux expliquer certaines structures *sans* la tectonique des plaques (dans l'Est du plateau Tibétain, par exemple)^[1].



La dérive des continents, à partir de la pangée.

Devenir des continents

Xavier Le Pichon^[2], Jean-Michel Gaulier^[3] et coll. ont modélisé le mouvement de cinq continents se déplaçant de façon aléatoire^[4] à une vitesse de 100 millimètres par an^[5]. Leurs calculs montrent qu'il faudra environ 430 millions d'années pour que, leurs déplacements convergeant, ces continents s'unissent. Dès lors, rien n'interdit de penser que cela se concrétisera.

La chaleur de la Terre ne s'évacue pas de la même façon selon que les continents sont regroupés en un seul ou qu'ils sont dispersés comme c'est le cas aujourd'hui et selon leur position (qui influe sur leur albédo, plus claires en zone polaire par exemple). Les chaînes de montagnes terrestres ou sous-marines modifient respectivement la circulation des masses d'air humide et des courants marins.

Un supercontinent forme un « bouclier thermique » qui modifie la manière dont la chaleur s'évacue. Il se disloquera nécessairement en plusieurs fragments. Cela marquera le début d'un nouveau cycle de Wilson ainsi baptisé en l'honneur de John Tuzo Wilson (1908-1993), géophysicien canadien, qui a, le premier, émis l'hypothèse de ce rassemblement périodique des continents.

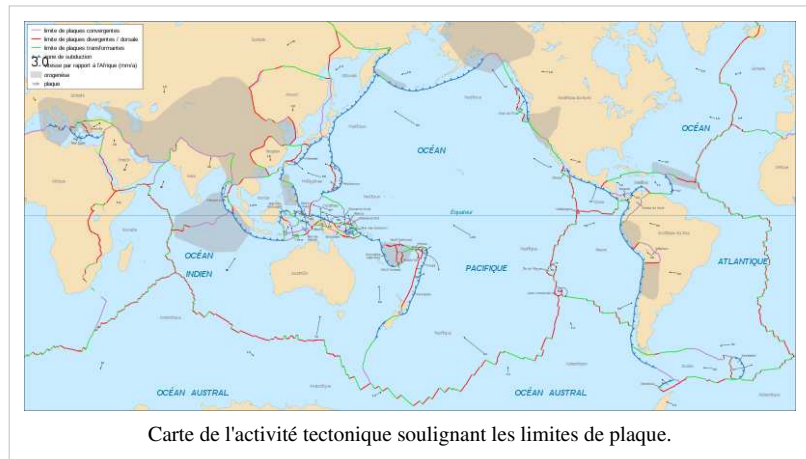
Liste des plaques tectoniques

Article détaillé : Liste de plaques tectoniques.

La liste des plaques actuelles est, par ordre alphabétique (des unités plus petites existent; on les appelle « blocs » ou « microplaques ») :

- Afrique
- Amérique du Nord
- Amérique du Sud
- Antarctique
- Arabie
- Australie
- Caraïbes
- Cocos

- Eurasie
- Inde
- Juan de Fuca
- Nazca
- Pacifique
- Philippines ou « mer des Philippines »



Carte de l'activité tectonique soulignant les limites de plaque.

Notes et références



- [1] Royden, L.H., Burchfiel, B.C., King, R.W., Wang, E., Chen, Z., Shan, F., and Liu, J., 1997, Surface deformation and lower crustal flow in eastern Tibet: Science, v. 276, p. 788-790.
- [2] Professeur au Collège de France, titulaire de la chaire de géodynamique.
- [3] Du groupe Total.
- [4] Le déplacement des continents n'est pas « aléatoire » ; une pangée future est prévue pour dans environ 250 millions d'années.
- [5] La plaque Pacifique se déplace de 100 millimètres par an et l'Inde, il y a 45 millions d'années, glissait de l'ordre de 150 millimètres annuels.

Annexes


Articles connexes

- Plaque tectonique
- Tectonique
- Point chaud
- Volcan

Liens externes

- Tectonique des plaques et dérive des continents (<http://www.geopedia.fr/derive-continents.htm>)
- Objectif Terre, la géodynamique (<http://objectif-terre.unil.ch/fr/2/toolbox/geodynamique/?chap=1&page=1>)
- [vidéo] Le dessous des cartes : la tectonique des plaques (http://www.dailymotion.com/visited/search/tectonique/video/xml4i_la-tectonique-des-plaques) sur le site de *DailyMotion*
- [vidéo] *La Valse des continents* (<http://www.biologieenflash.net/animation.php?ref=geo-0062-1>) (du Précambrien à nos jours)
- Xavier Le Pichon, Cours en ligne (<http://www.cdf.u-3mrs.fr/~lepichon/>) (Chaire de Géodynamique du Collège de France)
-  Portail des sciences de la Terre et de l'Univers
-  Portail des abysses

Plaque tectonique

 Pour les articles homonymes, voir Plaque.

Les **plaques tectoniques** ou **plaques lithosphériques** sont des fragments de la lithosphère qui résultent de son découpage à la manière d'un puzzle par un système de failles, de dorsales, de rifts et de fosses de subduction. Les plaques lithosphériques se déplacent de quelques centimètres par an dans des directions différentes, ce qui entraîne la formation de zones de divergence, de subduction, de collision et de coulissage.

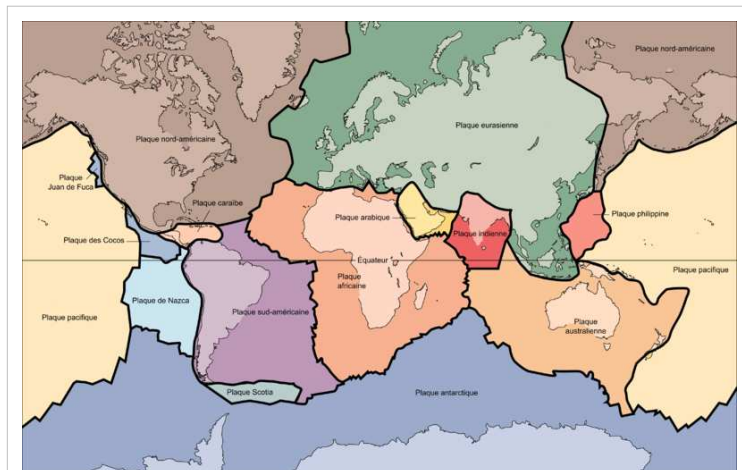
Description

L'adjectif *tectonique* vient du grec « τέκτων » ou « tektōn » qui signifie *constructeur* ou *maçon*.

Le découpage en plaques n'affectant que la lithosphère, elles mesurent environ cent kilomètres d'épaisseur. La plus grande est la plaque pacifique. C'est également elle qui se déplace le plus rapidement (environ huit centimètres par an).

Les plaques tectoniques sont composées de deux types de lithosphères :

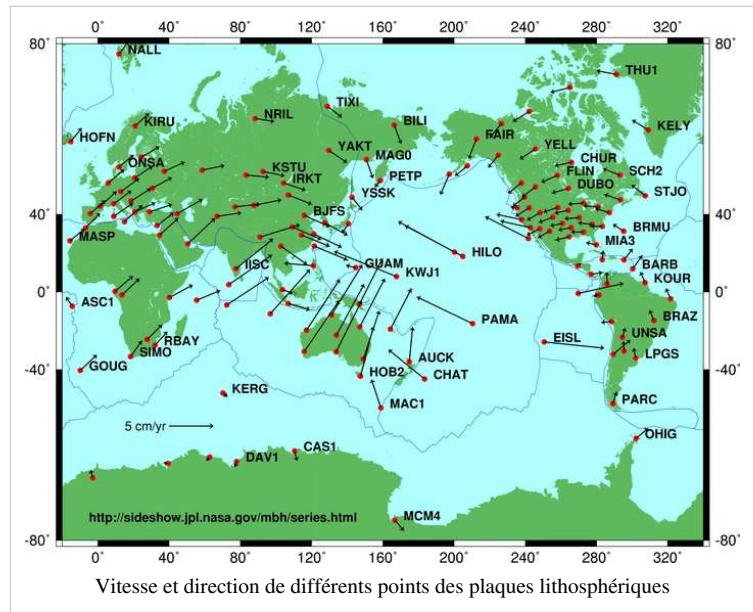
- la lithosphère océanique composée d'une couche sédimentaire, absente si la plaque est jeune, de croûte océanique et d'une partie du manteau supérieure ;



Carte des principales plaques tectoniques (attention les surfaces sont déformées par la projection de Mercator) Plaques majeures : Plaques mineures : Plaques Scotia

- la lithosphère continentale composée de croûte continentale et d'une partie du manteau supérieure.

Les types *purs* de plaques uniquement composés d'un de ces deux types sont rares (plaque de Nazca, plaque philippine), dans la plupart des cas, les plaques sont mixtes (plaque sud-américaine, plaque eurasienne etc.)



On peut également différencier deux types de plaques suivant leur taille :

- les plaques majeures au nombre de quatorze (plaque australienne, plaque eurasienne, plaque nord-américaine, etc.) ;
- les plaques mineures ou microplaques au nombre d'une quarantaine (plaque des Mariannes, plaque Scotia, plaque de la mer des Moluques, etc).

Contacts

La limite entre deux plaques peut être très claire comme dans le cas des dorsales ou des fosses de subduction mais elle peut être également très floue lorsque la limite correspond à une zone de déformation plus ou moins étendue de la lithosphère comme c'est le cas entre la plaque eurasienne et la plaque africaine au niveau de l'océan Atlantique ou de la Méditerranée occidentale.

Il existe également des plaques soumises à un processus d'orogénèse, c'est-à-dire que leur surface et leurs frontières sont en évolution (disparition, soudure à une autre plaque, etc.). Il s'agit de la plaque adriatique, la plaque Explorer et la plaque Gorda.


D'autres phénomènes, comme les points chauds, impliquent les plaques tectoniques. Les points chauds expliquent l'existence de volcans en dehors des zones de contact entre plaques.

Annexes

Articles connexes

- Liste de plaques tectoniques
- Tectonique des plaques

Liens externes


- Plaques terrestres, plaques océaniques et mouvements de la Terre ^[1]
- **(en)** Université de Californie, Département des sciences de la Terre et de l'espace ^[2]
-  Portail des sciences de la Terre et de l'Univers

Références

[1] <http://www.geopedia.fr/plaques-terre.htm>

[2] http://element.ess.ucla.edu/publications/2003_PB2002/2003_PB2002.htm

Roche

 Pour les articles homonymes, voir Roche (homonymie).

La **roche**, du latin populaire *rocca*, désigne tout matériau constitutif de l'écorce terrestre entrant dans la composition du sous-sol et formé par un assemblage de minéraux, comportant parfois des fossiles, et/ou des agrégats d'autre(s) roche(s). Les roches peuvent être formées d'une seule - la roche est dite monominérale - ou de plusieurs espèces minérales - cas de roche polyminérale - :

- la calcite peut construire calcaires et marbres purs,
- le quartz n'est qu'un composant des quartzites), des gneiss et granites, des basaltes.

L'ensemble présente une certaine homogénéité statistique. La classification des roches est complexe car elle est basée sur un grand nombre de critères.

Une roche présente une grande diversité d'aspects. Elle peut être :

- souvent dure et cohérente : elle est dénommée pierre (marbre, granite), caillou, galet...
- friable ou inconsistante à l'image de la craie et du talc pressés sous les doigts
- plastique comme l'argile humidifiée
- meuble à l'exemple du sable qui coule dans le sablier
- à la limite liquide - huile - ou gazeuse.

La pétrographie néologisme du grec *petra*, pierre, et *graphê*, description est la science de la description et de l'analyse des roches, alors que la pétrologie autre néologisme du grec *petra* et *logos*, étude est la science qui étudie les mécanismes de formation et de transformation des roches. La discipline scientifique associée à l'étude des mouvements et déformations des roches s'appelle la mécanique des roches.

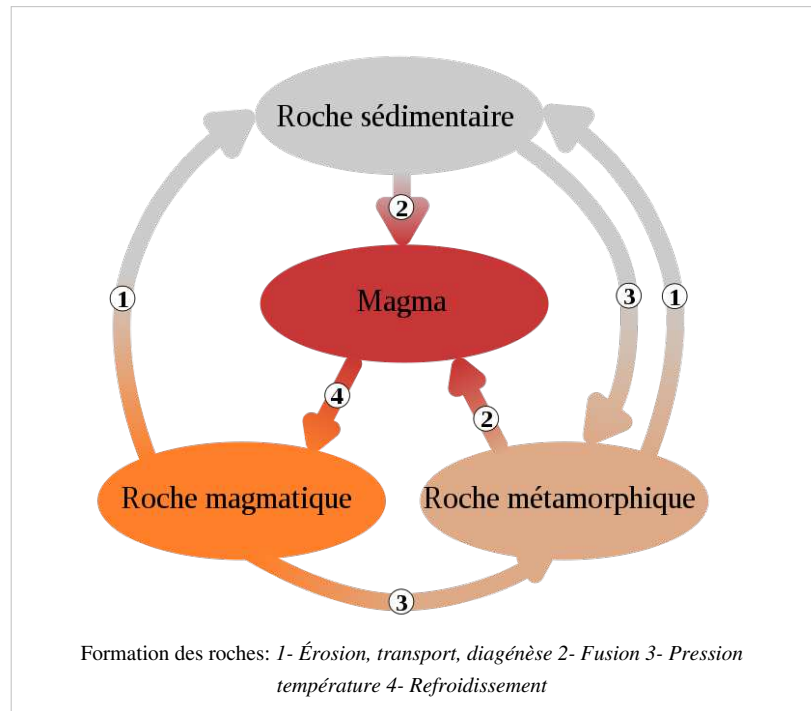
Un bloc de roche est un rocher. Ces mots ne sont pas synonymes.

Classification

Par origine

Les roches sont classées selon leur composition, leur origine ou la modalité de leur formation ; d'abord en trois grandes catégories :

- les roches magmatiques (aussi qualifiées d'ignées ou d'éruptives) formées par la solidification de magmas, dont :
 - les roches volcaniques ou *extrusives* ou *effusives*, refroidies brutalement en surface après une éruption volcanique, hémicristallines ;
 - les roches plutoniques ou *intrusives* qui se sont refroidies en profondeur, lentement et sans dégazage dans la chambre magmatique, et sont donc holocristallines ;
 - les roches filoniennes ou *hypoabyssales* (*hypabyssales*), intermédiaires entre les roches extrusives et intrusives, et ayant subi un dégazage partiel...
- les roches sédimentaires, formées à la surface de la Terre ou dans les mers par l'accumulation en couches de matériaux sous l'action d'agents exogènes, comme le vent et l'eau ;
- les roches métamorphiques ou *cristallophylliennes* formées par la recristallisation (et généralement la déformation) de roches sédimentaires ou magmatiques sous l'action de la température et de la pression qui croissent avec la profondeur dans la croûte terrestre ou au contact d'autres roches.



Selon leurs propriétés

Dureté

On peut également classer les roches en trois types, selon leurs propriétés :

- les roches meubles comme le sable ou l'argile ;
- les roches friables comme la craie ;
- les roches cohérentes telles que le granite.

Les roches sont plus ou moins dures : ainsi, le talc et le gypse sont très sensibles à l'érosion, alors que le corindon et le diamant sont très résistants^[1].

Texture

L'homogénéité des roches varie en fonction des minéraux : on distingue quatre types de textures^[2] :

- texture grenue (granite) ;
- texture porphyroïde ;
- texture microgrenue (batholite) ;
- texture vitreuse (basalte).

Dilatation

Les roches peuvent plus ou moins se dilater.



argile (Estonie)

sable (Vallée de la Mort)

Éboulis de granite (Yosemite)

Perméabilité

Certaines roches sont perméables, c'est-à-dire qu'elles laissent passer l'eau à grande échelle (perméables en petit, sur un petit échantillon) ou à petite échelle (perméable en grand, par des fissures ou diaclases, par exemple dans les terrains karstiques) ; d'autres sont imperméables, telles que l'argile. Les roches poreuses, comme le grès, permettent à l'eau de s'infiltrer. Les roches poreuses peuvent être des roches réservoirs (gaz naturel, pétrole, eau). Aussi, d'autres roches et minéraux sont solubles^[3] :

- moins de 0,05 grammes par litre de quartz ;
- 1 gramme par litre pour les carbonates ;
- 2,4 grammes par litre de gypse ;
- 2,5 grammes pour les sulfates ;
- 300 grammes par litre de sel gemme.

Utilisation

Les roches ont de nombreuses utilisations, notamment :

- la laine de roche, excellent isolant thermique et acoustique, à base de roche volcanique ;
- les pierres à bâtir (pierres de taille et moellons) ;
- les granulats ;
- les sculptures et ornements ;
- l'extraction de minerais ;
- le sel gemme.

Notes et références



- [1] Pierre Pech, Hervé Régnauld, *Géographie physique*, Paris, PUF, 1992, ISBN 978-2-13-044735-1, p.241
- [2] Pierre Pech, Hervé Régnauld, *Géographie physique*, Paris, PUF, 1992, ISBN 978-2-13-044735-1, p.241-242
- [3] Pierre Pech, Hervé Régnauld, *Géographie physique*, Paris, PUF, 1992, page 247 ; *Paysages et érosion. La Terre à visage découvert*, TDC n°749, 1-15 février 1998, Paris, CNDP, page 10

Voir aussi


Articles connexes


- Géologie
- Glossaire des minéraux
- Liste des roches
- Mécanique des roches

Synonymes

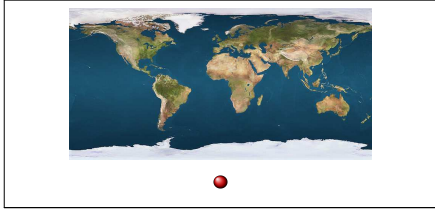
- La Roche-sur-Yon ville établie sur un promontoire rocheux
- Monaco
-  Portail des minéraux et roches
-  Portail de la chimie

Mer Méditerranée

 Pour l'article homonyme, voir Méditerranée (revue).

Mer Méditerranée	
 <p>Image satellite du bassin méditerranéen.</p>	
Superficie	2510000 km ²
Profondeur	5150 m (max.) 1500 m (moy.)
Type	Mer intercontinentale
Localisation	Océan Atlantique
Coordonnées	36° N 17° E36° N 17° E
Pays côtier(s)	Espagne, Gibraltar, France, Monaco, Italie, Malte, Slovénie, Croatie, Bosnie-Herzégovine, Monténégro, Albanie, Grèce, Turquie, Chypre, Chypre du Nord, Akrotiri et Dhekelia (enclaves britanniques), Syrie, Liban, Israël, Palestine, Égypte, Libye, Tunisie, Algérie, Maroc
Subdivision(s)	Mer d'Alboran, mer Ligure, mer Tyrrhénienne, mer Ionienne, mer Adriatique, mer de Crète, mer Égée, mer de Thrace, mer de Marmara

Géolocalisation sur la carte : Monde

modifier ^[1] ⓘ

La **mer Méditerranée** est une mer intercontinentale presque entièrement fermée, située entre l'Europe, l'Afrique et l'Asie et qui s'étend sur une superficie d'environ 2,5 millions de kilomètres carrés^[2]. Son ouverture vers l'océan Atlantique par le détroit de Gibraltar est large de 14 kilomètres.

Elle doit son nom au fait qu'elle est littéralement une « mer au milieu des terres », en latin *mare medi terra* (selon Isidore de Séville au VII^e siècle).

Durant l'Antiquité, la Méditerranée était une importante voie de transports maritimes permettant l'échange commercial et culturel entre les peuples émergents de la région - les cultures de la Mésopotamie, de l'Égypte, sémitiques, persanes, phéniciennes, carthaginoises, berbères, grecques et romaines. L'histoire de la Méditerranée est importante dans l'origine et le développement de la civilisation occidentale.

Étymologie

Le terme de Méditerranée vient du latin *mediterraneus* qui veut dire « au milieu des terres », sous-entendu « du monde connu » (*medius* pour milieu et *terra* pour terre).

La mer Méditerranée est, ou a été, connue sous de nombreux noms à travers l'histoire :

- « Grand-vert » (W3d-wr), c'est ainsi que les Égyptiens de l'antiquité la nommaient ;
- Elle s'appelait le plus souvent *Mare nostrum* (« notre mer ») ou occasionnellement *Mare internum* (« mer intérieure ») à l'époque des Romains ;
- Dans l'Ancien Testament, sur la côte ouest de la terre sainte, elle s'appelait la « Mer Hinder », parfois traduite comme la « Mer de l'ouest » (Dt. 9,24; Joel, 2,20), ou comme la « Mer des Philistins » (Ex. 23,31), car ce peuple occupait une grande partie des côtes situées près de la Palestine. Cependant, parfois il s'agissait de la « Mer suprême » (Nb.34,6-7; Jos.1,4; 9,1; 15,47; Ez. 47,10..15..20), ou simplement « la Mer » (1 Rois 5,9; 1 Macc. 14,34 ;15,11) ;
- En hébreu, elle est appelée *ha-Yam ha-Tikhon* (הַיָּם הַתִּיכוֹן), « la Mer du milieu », une adaptation littérale de l'allemand *Mittelmeer* ;
- En turc, c'est Akdeniz, « la Mer blanche », c'est-à-dire la « mer du sud », car anciennement les Turcs désignaient les points cardinaux par des couleurs (ainsi Mer Noire signifiait pour eux « mer du Nord » ; rouge pour l'ouest ; vert ou jaune pour l'Est);
- En arabe, elle s'appelle Al-Baḥr Al-Abyad Al-Muttawasit (البحر الأبيض المتوسط), « la mer blanche du milieu ».
- En berbère, elle est nommée *Ilel Agrakal*, littéralement « Mer entre les terres » (Ilel-Agr-Akkal).



Le détroit de Gibraltar et la mer d'Alboran à l'extrême occidental de la Méditerranée vue depuis un satellite

La plupart des langues des pays situés autour de la Méditerranée ont un nom propre à leur culture, souvent une traduction de la « mer du milieu » ou de la « mer blanche » :

Langue	Vocabulaire
Albanais	<i>Deti Mesdhe</i>
Allemand	<i>das Mittelmeer</i>
Anglais	<i>Mediterranean sea</i>
Arabe	<i>Al-Bahr Al-Abyad Al-Muttawasit</i> (طس و ت م ل ا ض ي ب أ ل ا ر ح ب ل ا)
Berbère	<i>Iel Agrakal</i> (« la mer d'entre terre »)
Breton	<i>Mor Kreizdouar</i> (« mer au milieu de la terre ») ou <i>Mor Kreiz</i> (« la mer du milieu »)
Bulgare	<i>Средоземно Море</i>
Catalan	<i>Mar Mediterrània</i>
Corse	<i>Mare Terraniu</i>
Croate	<i>Sredozemno more</i>
Danois	<i>Middelhavet</i> (« la mer du milieu »)
Estonien	<i>Vahemeri</i> (« la mer du milieu »)
Espagnol	<i>Mar Mediterráneo</i>
Finnois	<i>Välimeri</i> (« la mer du milieu »)
Français	<i>Mer Méditerranée</i>
Grec	<i>Mesogeios Thalassa</i> (Μεσόγειος Θάλασσα), et plus avant, <i>Asori Thalassa</i> (Ἀσόρι Θάλασσα)
Hébreu	<i>ha-Yam ha-Tikhon</i> (הַיָּם הַיְחִידִים) « la mer du milieu »
Islandais	<i>Miðjarðarhaf</i>
Italien	<i>Mar(e) Mediterraneo</i>
Japonais	地中海 (ちちゅうかい) 地 (chi) « terre » 中 (chū) « milieu » et 海 (kai) « mer ».
Kabyle	<i>Iel agrakal</i>
Latin	<i>Mare Mediterraneum</i> , ou <i>Mare Nostrum</i>
Luxembourgeois	<i>Mëttelmier</i>
Macédonien	<i>Средоземно Море</i>
Maltais	<i>Baħar Mediterran</i>
Néerlandais	<i>Middellandse zee</i> (« la mer au milieu des terres »)
Nissart	<i>mar Méditerranèa</i>
Norvégien	<i>Middelhavet</i> (« la mer du milieu »)
Polonais	<i>Morze Śródziemne</i>
Portugais	<i>Mar Mediterrâneo</i>
Roumain	<i>Marea Mediterană</i>
Serbe	<i>Sredozemno more</i> (Средоземно море)
Slovaque	<i>Stredozemné more</i>
Slovène	<i>Sredozemsko morje</i>
Suédois	<i>Medelhavet</i> (« la mer du milieu »)
Turc	<i>Akdeniz</i> (« la mer blanche » ou « mer du sud »)

Le terme de « mer Méditerranée » désigne également parfois une mer presque fermée communiquant avec l'océan, car l'Espagne et le nord du Maroc se touchent presque.

Histoire

Article détaillé : Histoire de la Méditerranée.

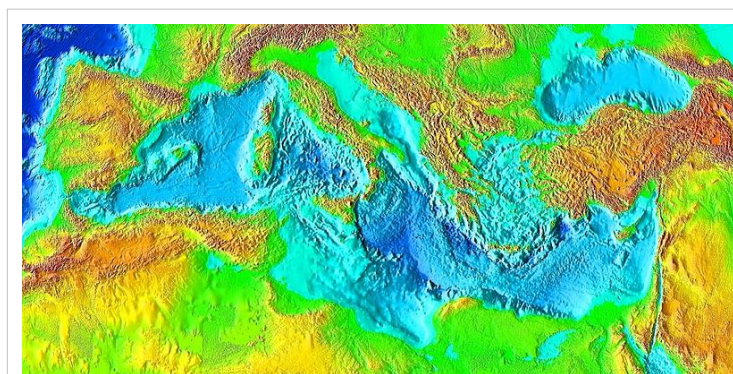
Le bassin méditerranéen est riche d'une histoire complexe et ancienne. Elle est le berceau de la civilisation occidentale. L'Antiquité connaît un foisonnement de civilisations diverses comme les Égyptiens ou les Mésopotamiens. Puis, de grands empires prennent le contrôle des côtes de la mer Méditerranée. La Grèce, Carthage et Rome sont bien connus pour leur domination autour du bassin méditerranéen. Ils développèrent le commerce maritime et les guerres navales.

Géologie

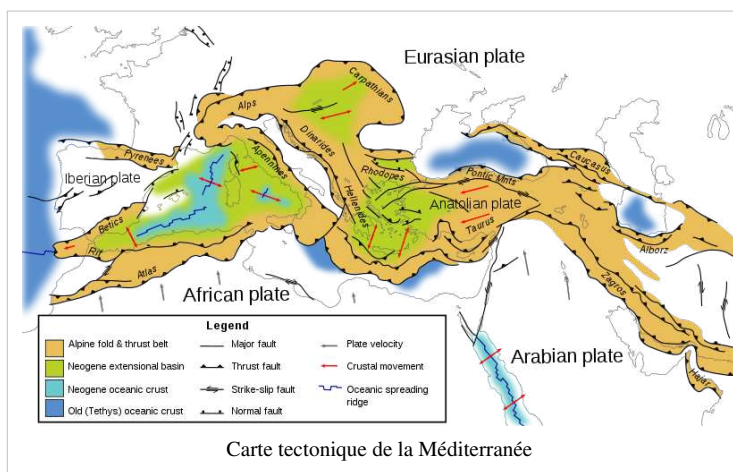
Quelques chiffres essentiels :

- Profondeur moyenne : 1500 mètres.
Certains de ses abysses rivalisent avec ceux des océans, comme sous les ondes tyrrhéniennes (3731 mètres) et sous la nappe ionienne (5121 mètres).
- Superficie : 2,5 millions de km² (3 millions avec la Mer Noire, soit 1 % de l'océan mondial)
- Volume : 3,7 millions de km³

La mer Méditerranée a une profondeur moyenne de 1500 mètres et le point enregistré le plus profond est de 5121 mètres en mer Ionienne au creux de la fosse de Matapan (au large du Péloponnèse). Le littoral se déroule sur 46000 kilomètres. La mer Méditerranée se divise en deux bassins bien individualisés, séparés par des hauts fonds situés entre la Sicile et la Tunisie : la **Méditerranée occidentale** et la **Méditerranée orientale**, elles-mêmes nettement compartimentées. La première recouvre une superficie d'environ 0,85 million de km² tandis que la seconde recouvre environ 1,65 million de km².



Relief de la mer Méditerranée



Carte tectonique de la Méditerranée

La Méditerranée se trouve à la limite entre deux plaques: les plaques africaine et eurasiennne. Ces deux plaques se rapprochent, ce qui est à l'origine de collisions continentales et de subduction. Cela explique la forte activité sismique dans cette région et le volcanisme (Vésuve, Etna, Stromboli, Santorin...).

Le fond de la Méditerranée occidentale est constitué d'une lithosphère océanique relativement récente, qui a commencé à se former au Miocène. La Méditerranée orientale est aussi constituée de lithosphère océanique mais d'âge plus ancien datant de l'ère secondaire. C'est le vestige d'un ancien océan: la Téthys. Cette lithosphère océanique ancienne s'enfonce (subduction) sous l'Italie, la Sicile, la Mer Égée, ce qui est à l'origine de la remontée du continent

africain, mais aussi de l'étirement de la lithosphère dans la Mer Égée et le bassin algéro-provençal et la Mer Tyrrhénienne. Les séismes récents en Italie ont pour origine cet étirement de la croûte.

Histoire géologique

La mer Méditerranée est en partie le vestige d'un ancien domaine océanique que l'on nomme aujourd'hui la Téthys, qui était plus vaste que la mer Méditerranée actuelle. À partir du Crétacé, la Téthys s'est « refermée » progressivement par subduction, avec le rapprochement des continents africain et eurasiatique. Ceci entraîne la formation de chaînes de montagne, comme les Pyrénées, ou les Alpes. Durant l'Oligocène (il y a 30 millions d'années), la Méditerranée occidentale subit une phase d'étirement qui sépare la Corse et la Sardaigne du continent européen.

Il y a cinq millions d'années, le détroit de Gibraltar s'est refermé réduisant la mer Méditerranée à un lac très salé. On nomme cet épisode la crise de salinité messinienne. Des dépôts salins au fond de la mer produits durant un million d'années témoignent de ce phénomène. Puis la différence de niveau entre l'Atlantique et la Méditerranée a causé la rupture de la digue naturelle de roche qui bloquait le détroit. Une énorme cascade a alors rempli en quarante ans le volume d'eau qui avait pris des centaines d'années pour s'évaporer.

Les fonds marins de la mer Méditerranée se modifient encore aujourd'hui car les plaques africaine et eurasiatique sont en contact. Leurs mouvements provoquent des séismes en Italie, Grèce, Turquie et Israël et entretiennent une activité volcanique en Italie avec l'Etna, le Vésuve et le Stromboli.

Géographie

La Méditerranée est reliée à l'océan Atlantique par le détroit de Gibraltar à l'ouest, à la mer de Marmara et à la mer Noire par les Dardanelles et le Bosphore à l'est. La mer de Marmara - mais pas la mer Noire - est souvent considérée comme faisant partie de la Méditerranée. Le canal de Suez au sud-est relie la Méditerranée à la mer Rouge.

Article détaillé : climat méditerranéen.

Le climat méditerranéen est caractérisé par un hiver humide et doux et par un été chaud et sec. Cependant, les inter-saisons laissent place à une violence certaine du climat. Des pluies très importantes et très violentes s'abattent parfois alors que la terre asséchée par des périodes de sécheresse ne peut absorber ces précipitations (parfois équivalents à trois mois de pluie voire bien plus selon la latitude). Les inondations fréquentes en témoignent comme pour les vidourlades fréquentes, à Vaison-la-Romaine en 1992 et l'Aude en 2000.

Les marées sont de faible amplitude et l'évaporation y est plus importante que dans l'océan Atlantique. Les précipitations et la quantité relativement faible d'eau apportée par les fleuves qui s'y jettent sont largement insuffisantes pour combler cette évaporation (déficit d'environ 3000 milliards de mètres cubes) ; d'où un taux de salinité plus élevé et des températures d'eau plus chaudes qu'en Atlantique.



Îles méditerranéennes

Les principales îles de la Méditerranée sont :

- Chypre, la Crète et Rhodes à l'est ;
- la Sardaigne, la Corse, la Sicile et Malte au centre ;
- les Baléares à l'ouest.
- Djerba au sud-est de la Tunisie

Pays côtiers

Les pays qui bordent la Méditerranée sont :

- au nord : la France, Monaco, l'Italie, la Slovénie, la Croatie, la Bosnie-Herzégovine, le Monténégro, l'Albanie, la Grèce et la Turquie ;
- à l'est : la Syrie, le Liban, Israël ;
- au sud : l'Égypte, la Libye, la Tunisie, l'Algérie et le Maroc ;
- à l'ouest : l'Espagne ;
- au centre : Malte et Chypre

Auxquels on peut ajouter à l'ouest Gibraltar, possession du Royaume-Uni, et à l'est la Bande de Gaza, qui n'est juridiquement rattachée à aucun État.

Cantons méditerranéens

La mer Méditerranée se divise en deux bassins bien séparés par des hauts-fonds entre la Sicile et la Tunisie. Chaque bassin est divisé en différents compartiments portant le nom de mers, bassins ou golfes, parfois eux-mêmes divisés en zones géographiques de taille inférieure :

- | Méditerranée occidentale | Méditerranée orientale |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • mer Tyrrhénienne <ul style="list-style-type: none"> • golfe de Gaète • golfe de Naples • golfe de Salerne • bassin algéro-provençal <ul style="list-style-type: none"> • mer Ligure <ul style="list-style-type: none"> • golfe de Gênes • mer de Sardaigne • golfe du Lion • mer des Baléares <ul style="list-style-type: none"> • Golfe de Valence • Mer d'Alboran | <ul style="list-style-type: none"> • mer Égée <ul style="list-style-type: none"> • mer de Crète • mer de Thrace • mer Ionienne <ul style="list-style-type: none"> • golfe de Squillace • golfe de Tarente • golfe de Corinthe • golfe de Messénie • golfe de Laconie • mer Adriatique <ul style="list-style-type: none"> • golfe de Venise • golfe de Trieste • golfe de Manfredonia • Baie de Kvarner • mer de Marmara (anciennement Propontide) • bassin Levantin <ul style="list-style-type: none"> • baie de Haïfa • golfe de Saint-Georges • mer de Libye • bassin Pélagien <ul style="list-style-type: none"> • golfe de Syrte • golfe de Gabès (anciennement Petite Syrte ou Syrte Mineure) • golfe d'Hammamet • golfe de Tunis |

Plusieurs détroits relient ces différentes parties de la Méditerranée :

- les Dardanelles
- le canal d'Otrante
- le détroit de Messine
- le canal de Corse
- le canal de Sicile
- les bouches de Bonifacio

Écologie

Biodiversité

La Méditerranée étant un des derniers vestiges océaniques de la Téthys, la plupart de ses espèces étaient pantropicales (espèces présentes dans toutes les mers chaudes du globe : récifs coralliens à porites, mangroves) avant la crise de salinité messinienne. La fermeture de la communication avec l'Océan indien il y a 14-18 Ma et l'assèchement de la Méditerranée durant cette crise messinienne il y a 5,96 à 5,33 Ma ont eu pour conséquence que le biotope marin de la mer Méditerranée est depuis lors principalement issu de l'océan Atlantique. L'Atlantique nord est beaucoup plus froid et plus riche en aliments que la Méditerranée, et la vie marine méditerranéenne a dû s'adapter à des conditions changeantes au cours des cinq millions d'années qui ont suivi son remplissage^[3].

La Méditerranée représente 0.8% de la surface de l'océan mondial et 8 à 9% de la biodiversité marine (10 à 12000 espèces). Le domaine continental de la Méditerranée représente 1.6% de la surface des continents et 10% de la biodiversité mondiale (notamment 20000 plantes, dont 38% d'endémiques). La faune et la flore méditerranéennes comportent environ 20-30% d'endémiques, 3-10% d'espèces pantropicales, 55-70% d'espèces atlantiques et 5% d'« espèces lessepsiennes »^[4]. Le taux d'endémisme y est de 18% chez les Decapoda et les poissons^[5], 46% chez les spongiaires, 20% chez les algues, 50% chez les ascidies, si bien que la Méditerranée occupe la deuxième place mondiale en terme de richesse d'espèces endémiques^[6].

État des lieux

Le percement du canal de Suez en 1869 a créé le premier passage d'eau de mer entre la mer Méditerranée et la mer Rouge. Cette dernière est plus haute que la partie orientale de la Méditerranée. Aussi, le canal forma un fleuve d'eau salée de la mer Rouge qui se déversait dans l'eau de mer de la Méditerranée. Les grands lacs Amer, qui sont des lacs normaux très salés, forment le canal Suez et ont bloqué la migration des espèces de la mer Rouge vers la Méditerranée pendant plusieurs décennies, mais comme la salinité des lacs s'est égalisée graduellement avec celle de la mer Rouge, la barrière migratoire s'est levée, et les plantes et les animaux de la mer Rouge ont commencé à coloniser la Méditerranée orientale.

La mer Méditerranée est plus salée et plus pauvre en nutriments que l'océan Atlantique car le détroit de Gibraltar bloque les grands courants de l'Atlantique. Les espèces animales et végétales de la mer Rouge prennent l'avantage sur les espèces de l'océan Atlantique dans l'environnement méditerranéen oriental salé et pauvre en aliments. La construction du barrage d'Assouan à travers le Nil dans les années 1960 a réduit l'apport d'eau douce riche en nutriments dans la Méditerranée orientale, ce qui rend l'environnement de la Méditerranée proche de celui de la mer Rouge. Cet échange d'« espèces lessepsiennes » ou « érythréennes » (du grec *eruthros* signifiant « rouge ») est connu sous le nom de migration de Lesseps, d'après Ferdinand de Lesseps, l'ingénieur qui a surveillé la construction du canal. Ces espèces s'installent principalement dans le bassin oriental et s'y acclimatent, si bien que 15% des poissons de la Méditerranée orientale sont exotiques en 2007 (en Turquie elles représentent 43% des ressources halieutiques ; au Liban, 72% des poissons sont des *Siganus rivulatus*^[7]). Certaines migrent dans le bassin occidental (*Siganus luridus*, *Fistularia commersoni*).

En 2008, 560 espèces exotiques (une majorité de poissons, arthropodes et mollusque) ont été recensées en Méditerranée. Leurs voies d'arrivée sont le détroit de Suez, le détroit de Gibraltar et la voie anthropique (notamment l'aquaculture, les eaux de ballasts ou le fouling). 220 proviennent du bassin indo-pacifique, 100 de l'Océan indien, 58 de la mer Rouge, 34 de l'Océan atlantique.^[8]

Prospective

Le dérèglement climatique pourrait avoir des effets exacerbés sur la zone biogéographique méditerranéenne qui abrite un grand nombre de hot-spot de biodiversité. Anticiper les effets du changement climatique sur l'eau, l'agriculture, le tourisme, la pêche, l'énergie, le transport et l'urbanisme et l'environnement et la santé (zoonoses, épidémies, maladies émergentes) dans cette zone est une priorité croissante pour les élus et habitants de cette région déjà très dégradée par les feux de forêts et les sécheresses^[9].

Économie

Le bassin méditerranéen concentre 150 millions d'habitants et attire quelque 200 millions de visiteurs chaque année^[10]. 20 % des pétroliers, 30 % des navires marchands du monde circulent en Méditerranée, pour un trafic total de 120000 bateaux^[10].

Première destination touristique du monde

C'est sur la Grande Bleue, de la riviera italienne à la Côte d'Azur, que l'industrie touristique est apparue, au tournant du XIX^e siècle. Depuis, la région accueille un nombre toujours croissant de voyageurs : elle capte près du tiers du tourisme mondial.

Dans les vingt ans à venir, la France, l'Espagne et l'Italie resteront leaders mais la Turquie et l'Égypte devraient tripler, voire quadrupler leur nombre de visiteurs. Entre 2000 et 2025, dans toute la région méditerranéenne, le nombre de « pèlerins estivaux » devrait décoller de 300 à 600 millions.



La Méditerranée vue depuis Menton.

Quelques chiffres

- **Superficie** : 2,51 millions de km²
- **Dimensions** : 3860 km de l'est à l'ouest et 1600 km du nord au sud^[11]
- **Périmètre** : 46000 km de littoral
- **Profondeurs** : moyenne : 1500 m, maximale : 5150 m^[11]
- **Renouvellement de l'eau** : environ 90 ans
- **Apport de la pêche** : approximativement 2 % de la pêche mondiale
- **Salinité moyenne** : aux alentours de 3,8 ‰
- **Fleuves qui s'y jettent** : 69
- **Fleuves les plus importants** : Pô, Rhône, Nil, Èbre

Notes et références






- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Mer_m%C3%A9diterran%C3%A9e
- [2] Msn encarta (http://fr.encarta.msn.com/encyclopedia_761558007/MÃ©diterranÃ©e.html)
- [3] Jean-Pierre Suc, *Origin and evolution of the Mediterranean vegetation and climate in Europe*, Nature n° 307, 1984, pp. 429-432.
- [4] Biodiversité : faune, flore et endémisme (<http://www.com.univ-mrs.fr/gisposi/spip.php?article100>) Site de l'Université de la Méditerranée Aix-Marseille II sur la biologie méditerranéenne
- [5] G Fredj et C. Maurin, *Les poissons dans les banques de données Médifaune*, Cybium, 11, 1987, p.218-299.
- [6] L. Garibaldi et J.F. Caddy, *Biogeographic characterization of Mediterranean and Black seas faunal provinces using GIS procedures*, Ocean Coast. Manage, 39, 1998, p. 211-227.
- [7] M. Bariche et coll, *Settlement of the lessepsian blue-barred parrotfish *Scarus ghobban* (Teleostei: Scaridae) in the eastern Mediterranean*, J. Mar. Biol. Assoc. 2. Biodiversity records, 2005
- [8] **(en)** Frida Ben Rais Lasram et coll., « Historical colonization of the Mediterranean Sea by Atlantic fishes: do biological traits matter? », dans *Hydrobiologia*, vol. 607, n° 1, 2008, p. 51-62 [lien DOI (<http://dx.doi.org/10.1007/s10750-008-9366-4>) (le 24 novembre 2010)]
- [9] Stéphane Hallegatte, *Anticiper le changement climatique autour de la Méditerranée*, coll. « Notes & Documents », Institut de prospective économique du monde méditerranéen (IPEMED), 76 p.
- [10] Pablo Linde, « Méditerranée. La mer la plus polluée du monde », dans *Courrier international* du 27 juillet 2007, [lire en ligne (http://www.courrierinternational.com/article.asp?obj_id=76286)]
- [11] La mer Méditerranée (<http://www.polmar.com/guidelamer/mediterranee.htm>)


Voir aussi

Articles connexes

- Climat méditerranéen
- Flore méditerranéenne
- ancien département de la Méditerranée
- Bassin méditerranéen (approche civilisationnelle)
- Liste des poissons de Méditerranée
- Union méditerranéenne

Bibliographie

- Fernand Braudel, *La Méditerranée et le monde méditerranéen à l'époque de Philippe II*, 1^{re} édition, Paris : Armand Colin, 1949.
- Yves Lacoste, *Géopolitique de la Méditerranée*, Armand Colin, 2006
- Gérard Claude, *La Méditerranée. Géopolitique et relations internationales*, Ellipses, 2006
- Germaine Tillion, *Le Harem et les cousins*, Paris : éditions du Seuil, 1966.
- Christian Bromberger et al., *L'Anthropologie de la Méditerranée*, Paris : Maisonneuve et Larose ; Aix-en-Provence : Maison méditerranéenne des sciences de l'homme, 2001.
- Fabio Maniscalco, *Mediterraneum. Protection, conservation and valorization of cultural and environmental patrimony*, Naples : Université L'Orientale, collection monographique 2002.
- Dominique Borne et de J. Scheibling (dir.), *La Méditerranée*, Paris, Carré-Géographie, 2002
- Jacques Bethemont, *Géographie de la Méditerranée*
- Béatrice Patrie et Emmanuel Espanol, *Méditerranée... sur les tensions en orient*, Actes-sud/Sindbad, 2008 (ISBN 978-2-7427-7366-4)
- Paulet Jean Pierre, 2007, « les villes et la mer », Ellipses.
-  Portail de l'eau
-  Portail de la Méditerranée
-  Portail du monde maritime
-  Portail du Moyen-Orient
-  Portail de l'Europe

-  Portail de l'Afrique
bjn:Laut Tengah

Atlas (massif)

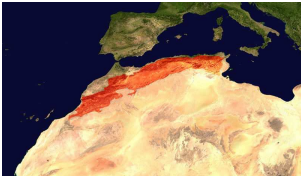

Coordonnées géographiques: 31° 03′ 42″ N 7° 54′ 57″ W



Cet article est une ébauche concernant la montagne.

Vous pouvez partager vos connaissances en l’améliorant (**comment ?**) selon les recommandations des projets correspondants.

 Pour les articles homonymes, voir Atlas.

Atlas	
	
Localisation de l'Atlas	
Géographie	
Altitude	4167 m, Jbel Toubkal
Longueur	2400 km
Administration	
Pays	 Maroc <ul style="list-style-type: none"> Algérie Tunisie
Géologie	
Âge	Précambrien
modifier ^[1] 	

L'**Atlas** est un massif montagneux du nord de l'Afrique. Il s'étend du sud-ouest au nord-est, en s'abaissant progressivement, sur les trois pays du Maghreb : Maroc, Algérie et Tunisie.

Son nom évoque le mythe grec du géant Atlas condamné par Zeus à supporter sur ses épaules la voûte céleste.

Subdivisions

On divise le massif de l'Atlas en trois parties (d'ouest en est) :

- l'Atlas marocain (Maroc), divisé lui-même en trois parties^[2] :
 - le Moyen Atlas qui culmine à 3356 mètres (Maroc)
 - le Haut Atlas qui culmine à 4167 mètres (Maroc)
 - l'Anti-Atlas qui culmine à 3305 mètres (Maroc)
- l'Atlas saharien (Algérie et Tunisie), comprenant :
 - les monts Aurès qui culminent au mont Chélia à 2328 mètres (Algérie)
 - la dorsale tunisienne qui culmine au Djebel Chambi à 1544 mètres (Tunisie)
- l'Atlas tellien (Algérie et Tunisie), comprenant :
 - le Djurdjura qui culmine à 2308 mètres (Algérie)

- l'Ouarsenis qui culmine à 1985 mètres (Algérie)

L'Atlas est peuplé essentiellement par des Berbères.

Point culminant

Le point culminant est le Jbel Toubkal (4167 m) situé dans le massif du Haut Atlas marocain. Il attire de plus en plus de randonneurs occidentaux.



Notes

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Atlas_%28massif%29

[2] Les montagnes méditerranéennes du Rif se trouvent également au nord du Maroc et culminent à 2456 mètres.

Navigation catégories massifs de montagne

Rocheuses ° Chaîne d'Alaska ° Chaînes côtières ° Chaîne des Cascades ° Sierra Nevada		Islande ° Îles Britanniques ° Scandinavie		Alpes	Oural	Sibérie	Alpes japonaises Chine
Mexique	Appalaches	Vosges ° Massif central ° Chaîne des Puys ° Jura ° Pyrénées	Massif des Alpes françaises ° Massif des Alpes suisses ° Massif du Mont-Blanc ° Massif des Écrins ° Alpes valaisannes ° Alpes uranaises ° Alpes bernoises ° Alpes glaronaises ° Alpes lépontines		Massif des Carpates	Sous-continent indien ° Himalaya ° Karakoram	
					Caucase		
Andes		Atlas ° Hoggar ° Afrique		Apennins ° Balkans			Antarctique

-  Portail de la montagne
-  Portail du Maghreb

Atlas saharien

Coordonnées géographiques: 34°0′0″N 2°0′0″E



Cet article est une ébauche concernant l'Algérie et la montagne.

Vous pouvez partager vos connaissances en l’améliorant (**comment ?**) selon les recommandations des projets correspondants.

Atlas saharien	
Carte de l'Atlas montrant l'Atlas saharien au centre.	
Géographie	
Altitude	2328 m, Chélia
Massif	Atlas
Administration	
Pays	<div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 5px;"> <div>★ Maroc</div> <div>🇩🇿 Algérie</div> <div>🇹🇳 Tunisie</div> </div>
Géologie	
Âge	Crétacé, Jurassique
modifier ^[1] 	

L'**Atlas saharien** est la partie méridionale du massif de l'Atlas. Le plus haut pic de la chaîne est le mont Chélia, dans les Aurès (Algérie), à 2328 m d'altitude.

Il comprend plusieurs ensembles : les monts des Ksour (2236 m au Djebel Aïssa), le djebel Amour, les monts des Oulad-Naïl, le massif de l'Aurès (2238 m au djebel Chélia), les monts des Némentchas et de Tébessa, etc.^[2] . Il précède les hauts plateaux du Sahara^[3] .

Notes et références

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Atlas_saharien

[2] Monts Atlas (http://www.cosmovisions.com/Atlas.htm)


[3] Géographie de l'Algérie (http://www.el-mouradia.dz/francais/algérie/geographie/geographie.htm)

Voir aussi

- Atlas (massif)
- Désert du Sahara
- Portail de la montagne
- Portail du Maghreb

Dorsale tunisienne

Coordonnées géographiques: 36° 03′ 10″ N 9° 36′ 11″ E

Dorsale tunisienne	
	
Géographie	
Altitude	1544 m, Djebel Chambi
Massif	Atlas saharien
Administration	
Pays	 Tunisie
Géologie	
modifier ^[1] 	

La **dorsale tunisienne** est un ensemble d'alignements montagneux s'étendant, en Tunisie, des monts de Tébessa, à la frontière avec l'Algérie, jusqu'aux hauteurs du cap Bon sans toutefois les inclure en général.

Elle constitue le prolongement oriental de l'Atlas saharien et s'oriente sur un axe sud-ouest - nord-est. Elle se caractérise par des altitudes globalement décroissantes, entre le Djebel Chambi (1544 m) à l'ouest, point culminant de la Tunisie, et le Djebel Boukornine (576 m) à l'extrémité orientale.

Limites

Plutôt qu'un ensemble compact de montagnes (appelées djebels), la dorsale est une succession de massifs montagneux plus ou moins alignés, plus ou moins élevés et séparés entre eux par des trouées transversales^[2]. On peut distinguer, sur le plan orographique, huit divisions comprenant des alignements montagneux, des hautes terres et une trouée :

- Moitié nord de la dorsale :
 - Axe occidental : un alignement de hautes montagnes — djebels Bargou (1266 m), Kesra (1174 m), Serj (1357 m) et Zaghouan (1295 m) — situé entre la vallée de l'oued Miliane au nord et le couloir Zaghouan-Bouficha au sud, avec en extrémité le Djebel Boukornine ;
 - Hautes terres autour de Makthar (900 m) et Rebaa (600 m) séparées par la vallée de l'oued Siliana ;
 - Axe oriental formé d'un alignement montagneux plus modeste, culminant au Djebel Ousselat (895 m), en contact avec la grande plaine de Kairouan au centre du pays ;
 - Monts d'Enfida et de Sidi Jedidi qui forment de petits massifs montagneux en contact avec la plaine littorale du golfe d'Hammamet.
- Moitié sud de la dorsale :
 - Trouée de Rouhia-Meruellil caractérisée par des formes de relief irrégulières avec le bassin versant de l'oued Meruellil et le bassin d'effondrement de Rouhia-Sbiba ;
 - Plus au sud, on trouve trois alignements majeurs parallèles :
 - Alignement des djebels Essif (1352 m), Birinou (1419 m) et Oum Jedour (1309 m) ;
 - Alignement des djebels Chambi, Semmama (1356 m) et Tioucha (1363 m) ;
 - Alignement des djebels Salloum (1373 m) et Mrhila (1376 m).



Panorama du versant septentrional du Djebel Serj, de l'axe occidental de la dorsale

Milieu naturel

La dorsale tunisienne apparaît comme un espace de transition entre le nord de la Tunisie d'une part, le centre et le sud de la Tunisie d'autre part. En effet, le nord, ou Tell, se caractérise par un climat plus humide, tandis que le centre et le sud sont concernés par le climat aride ou semi-aride. L'isohyète de 400 millimètres de précipitations par an traverse la dorsale tunisienne et permet de différencier notamment les végétations de montagne. Ainsi, au nord et à partir des altitudes 950-1050 mètres, la végétation est dominée par la forêt avec pour espèces les plus répandues le chêne kermès, le chêne-liège et le chêne vert tandis que le sud est dominé par la végétation steppique. Par ailleurs les altitudes sont insuffisamment élevées pour retrouver le domaine végétal caractéristique de l'Atlas.



Aperçu de la dorsale (axe occidental)

Peuplement

Dans l'Antiquité, la dorsale apparaît comme un espace peuplé si l'on considère le cas de cités florissantes telles qu'Oudna, Mactaris (Makthar), Hir Souar, Sufetula (Sbeïtla), Cillium (Kasserine), etc.

Après la conquête arabe au VII^e siècle, certaines ont périclité (Sufetula ou Cillium) tandis que d'autres ont trouvé leur place dans le réseau de villes organisées autour de Kairouan (Aïn Jeloula, Agar, Hir Souar ou encore Sbiba). Avec les invasions par les tribus hilaliennes au XI^e siècle, on assiste à une importante déprise agricole et à une mutation du peuplement vers une nomadisation de tribus bédouines laissant quelques foyers pour la vie sédentaire rurale (Bargou, Serj et Kesra au nord-est).

Au XIX^e et XX^e siècles avec l'époque beylicale puis celle du protectorat français, cet espace est exploité au profit des grandes villes littorales (Tunis, Sfax et Sousse) à travers l'acquisition de grands domaines d'agriculture extensive par des notables urbains, la famille beylicale ou de grands fermiers coloniaux et la captation des eaux de source (Aïn Tebournouk, Jougar, Bargou, Haffouz et Sbeïtla). La dorsale est ainsi considérée comme le « château d'eau » de la Tunisie.



Depuis l'indépendance, une politique d'aménagement du territoire et de développement local a encouragé quelques spécialisations agricoles intensives avec l'extension de l'irrigation et de l'arboriculture (pommiers, abricotiers, etc.). De même, la création des gouvernorats a fait accéder leur chefs-lieux au rang de centres administratifs (Zaghouan,

Siliana et Kasserine).

Notes et références

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Dorsale_tunisienne

[2] On doit l'étude la plus complète de l'espace géographique de la dorsale tunisienne au géographe tunisien Amor Moktar Gammar.

-  Portail de la montagne
-  Portail de la Tunisie

Djebel Chambi



Cet article est une ébauche concernant la géographie de la Tunisie et la montagne.

Vous pouvez partager vos connaissances en l’améliorant (**comment** ?) selon les recommandations des projets correspondants.

Djebel Chambi	
<div></div> <div>IMAGE MANQUANTE</div> <div>Une illustration sous licence libre serait la bienvenue</div>	
Géographie	
Altitude	1544 m
Massif	Dorsale tunisienne
Coordonnées	35° 12′ 23″ Nord 8° 40′ 57″ EstCoordonnées géographiques: 35° 12′ 23″ N 8° 40′ 57″ E
Administration	
Pays	 Tunisie
Gouvernorat	Kasserine
Géologie	
Géolocalisation sur la carte : Tunisie	
<div></div> <div></div>	
<div>modifier ^[1] </div>	

Le **Djebel Chambi** (جبل اّشلال ل بّج) est le nom donné au massif montagneux (*djebel*) qui comprend le point culminant de la Tunisie (1544 m^[2]).

Situé au centre-ouest du pays, à 17 kilomètres au nord-ouest de la ville de Kasserine et à quelques kilomètres de la frontière algérienne, on peut y accéder par un chemin emprunté par les véhicules tout-terrain jusqu'à une altitude de 1300 mètres. Par la suite, une randonnée pédestre d'une durée de deux heures permet d'accéder au sommet. Ce sont les Scouts tunisiens, au lendemain de l'indépendance du pays en 1956, qui y ont placé un croissant métallique, symbole de l'islam pour marquer leur ascension^[3].

Il constitue l'un des sommets des monts Tébessa rattachés à la chaîne de la dorsale tunisienne. Cette montagne calcaire est profondément entaillée et ravinée par l'érosion. Elle est recouverte d'une flore et d'une faune typiques d'un milieu semi-aride car la pluviométrie reste limitée à 250 millimètres de précipitations par an en plaine et à 500 en altitude. Un très léger manteau neigeux peut recouvrir le sommet durant l'hiver.

Le parc national de Chambi est inauguré en 1980 afin de protéger le milieu naturel du massif.

Références

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Djebel_chambi

[2] **(en)** Djebel Chambi (Planetware.com) (<http://www.planetware.com/kasserine/djebel-chambi-tun-ka-kadc.htm>)

[3] **(fr)** Présentation du parc national de Chambi (Edunet) (<http://www.economie.edunet.tn/ressources/sitetabl/sites/kasserine/echebbi/ka1/parc1.html>)

- Portail de la Tunisie
- Portail de la montagne

Atlas tellien



Cet article est une ébauche concernant la montagne.

Vous pouvez partager vos connaissances en l’améliorant (**comment ?**) selon les recommandations des projets correspondants.

Atlas tellien	
 <div>Carte de l'Atlas montrant l'Atlas tellien au nord.</div>	
Géographie	
Altitude	2308 m, Lalla-Khadidja
Massif	Atlas
Longueur	1500 km
Administration	
Pays	 Tunisie <p> Algérie</p>
Géologie	
Âge	Mésozoïque, Crétacé, Jurassique
	modifier ^[1]



L’**Atlas tellien** (en kabyle : *Di atlas udraren*, en arabe : سلسلة جبال الأطلس) est un relief montagneux principalement situé au nord de l’Algérie qui se poursuit dans la Tunisie de l’ouest.

Il est formé d'une chaîne de montagnes longeant le littoral et s'étirant sur environ 1500 kilomètres. Le mont Lalla-Khadîdja, en Algérie, en est le point culminant, il s'élève à 2308 mètres d'altitude.

L'Atlas tellien forme avec l'Atlas saharien, plus au sud, deux ensembles de relief parallèles se rapprochant en allant vers l'est. Les 2 Atlas tendent à se confondre dans l'est de l'Algérie et en Tunisie.

Entre ces deux gigantesques barrières naturelles s'intercalent de vastes plaines et plateaux, fertiles, riches par leur flore et leur faune. Il s'agit notamment de la vallée du Chéelif, de la plaine de Sétif, la vallée de la Hodna.

Principaux lacs et cours d'eau

- Le Chéelif (725 km), prenant sa source dans l'Atlas tellien pour se jeter dans la mer Méditerranée. D'autres sources citent néanmoins l'Atlas saharien comme point d'émergence de ce fleuve.
- Lac de Fetzara, dans la wilaya d'Annaba
-  Portail de la montagne
-  Portail du Maghreb

Références

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Atlas_tellien

Sources et contributeurs de l'article

Géologie *Source*: <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=59405848> *Contributeurs*: (et)j, Agawax, Andre Engels, Anne97432, Anthere, Archipel, BTH, Badmood, Barbe-sauvage, Baronnet, Basicdesign, Bionet, Blaizot marc, Bob Saint Clar, CT.54, Carlo denis, CommonsDelinker, Crouchineki, Céréales Killer, Dam s.vador, David Berardan, Dillparty, Doudoman, Dra^^Gon, Ektoplastor, Elfix, Frakir, Frosselet, GL, GabHor, Giliam, H.G ANTON, Hg.naton, Igel 14, Inisher, Iznogood, JB, JSDX, Jd, Jeanot, Jef-Infojef, Jide, Kalki101, Lamiot, Leag, Liquid 2003, Looxix, Lucius69, MG, Marlène95, Medium69, Mikayé, Mike old, Mutatis mutandis, NicoRay, Nicolas Ray, O. Morand, Oxo, Phe, Poppy, Poulos, Prosumac2, Rqgh, Remike, Rigolithe, Rémi, Sherbrooke, Skiff, Stanlekub, Tados, Theon, TigH, Urban, Ursus, VIGNERON, Verdy p, Vincnet, Wikialine, Www.batisseurs-tunnel.com, Xavier M., Xic667, Zubro, 100 modifications anonymes

Hydrogéologie *Source*: <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=59446953> *Contributeurs*: Abrahami, Alphatwo, Anbé, Ashendorus, Astirmays, Barsamuphe, Buggs, Cefuroxime, Dam s.vador, Davidetchev, Dhatier, Didiervberghel, Elodiemathieu17, Expression libre, GillesC, H2ea, Hemmer, Holycharly, Ivann, Jd, Jef-Infojef, KH251, Karl1263, Kilom691, Leag, Lomita, Looxix, Mig, Mro, Mutatis mutandis, Nono64, Nouill, Npajon-perrault, Oliw, Paternel 1, Phe, Prosumac2, Romanc19s, Rémi, Sherbrooke, Smeette666, Speculos, Stéphane33, Tvpmm, 21 modifications anonymes

Pédologie (géotechnique) *Source*: <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=59446423> *Contributeurs*: A2, A3 nm, Abrahami, Alphax, Anthere, Bapt1steD, Basicdesign, Buzz, Dyorker, Eiffel, Francois Trazzi, Gemini1980, Gemme, Hemmer, Hine, JYCEE, Jastrow, Jeangagnon, Jeffdelonge, JihemD, Jucao57, Jusjih, Labé, Lamiot, Leag, Leridant, Looxix, Mikue, NicoV, Noritaka666, Orthogaffe, Peiom, Penjo, Pierre Solterre, Pixeltoo, Prosumac2, Roland45, Rémi, Sam Hocesvar, Stanlekub, Stéphane33, TED, Tvpmm, TwoWings, Verdy p, Vincnet, Wart Dark, Wololoo, script de conversion, 33 modifications anonymes

Profil du sol *Source*: <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=18254739> *Contributeurs*: Abrahami, Bapt1steD, Bouette, Daphnis, Grondin, Grotono, JeanClem, Julien06200, Litlok, Pamputt, Philippe hirou, Pierre Solterre, Prettycrevette, Roland45, TigH, X-or, 29 modifications anonymes

Pédogenèse (géologie) *Source*: <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=58760695> *Contributeurs*: Abrahami, Ataraxie, Bapt1steD, Béotien lambda, David Berardan, Dhatier, JihemD, JI staub, Kilom691, Laddo, Leag, Lomita, Nathanos, Nouill, Numbo3, Oxam Hartog, Pierre Solterre, Romanc19s, Sebleouf, Sletuffe, Spedona, TED, VonTasha, 8 modifications anonymes

Géodynamique *Source*: <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=59444888> *Contributeurs*: Badmood, Bernard.guignot, Bionet, EDUCA33E, F.Chiodo, JihemD, Notos, Nouill, Phe, Prosumac2, Rémi, Sador, Sherbrooke, 3 modifications anonymes

Structure interne de la Terre *Source*: <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=59523415> *Contributeurs*: 44leen, A2, Andre315, Anto, Bayo, Bionet, Boris Crépeau, Bouklette, Buggs, C Patrick, Dake, Dhatier, ECORD, EDUCA33E, Elfix, Elldorado, Escaladix, Exocet, Frédéric Priest-monk, G-Samson, Gribeco, Guillom, Hégésippe Cormier, JLM, Joxavh, Kelson, Kilom691, Korg, Kornemuz, Kvardek du, Kytrix, Leag, Loloemr, Malta, Manuguf, Matrok, Miniwark, Mpgarcia, Paskalo, Phe, Platypus, Poleta33, Polluks, Pseudomoi, Quéré, Rajive, Roma69, Rominandreu, Rémi, SaReVoK MuAd DiB, Senda, Ske, Skiff, Spooky, Stanlekub, Thesaurus, Toony, Vazkor, Yann, Yves, Zedh, 90 modifications anonymes

Croûte terrestre *Source*: <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=59118844> *Contributeurs*: ARAGONESE35, Abrahami, Alno, Andre315, Badmood, Baronnet, Bernie 69, Bionet, Buggs, CUSENZA Mario, Céréales Killer, Desoxy, Dhatier, Environnement2100, Fransoua69, Jerome66, Jide, Jyp, Korrigan, Kyro, Lacoste, Leag, Lechat, Malta, Marc Mongenet, Medium69, Nataraja, Pachycephale, Padawane, Pulsar, Ske, Sprachpflieger, Toony, Traroth, Urban, 36 modifications anonymes

Croûte continentale *Source*: <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3443338> *Contributeurs*: ARAGONESE35, Abrahami, Alno, Andre315, Badmood, Baronnet, Bernie 69, Bionet, Buggs, CUSENZA Mario, Céréales Killer, Desoxy, Dhatier, Environnement2100, Fransoua69, Jerome66, Jide, Jyp, Korrigan, Kyro, Lacoste, Leag, Lechat, Malta, Marc Mongenet, Medium69, Nataraja, Pachycephale, Padawane, Pulsar, Ske, Sprachpflieger, Toony, Traroth, Urban, 36 modifications anonymes

Croûte océanique *Source*: <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=2367352> *Contributeurs*: ARAGONESE35, Abrahami, Alno, Andre315, Badmood, Baronnet, Bernie 69, Bionet, Buggs, CUSENZA Mario, Céréales Killer, Desoxy, Dhatier, Environnement2100, Fransoua69, Jerome66, Jide, Jyp, Korrigan, Kyro, Lacoste, Leag, Lechat, Malta, Marc Mongenet, Medium69, Nataraja, Pachycephale, Padawane, Pulsar, Ske, Sprachpflieger, Toony, Traroth, Urban, 36 modifications anonymes

Subduction *Source*: <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=59547463> *Contributeurs*: A2, Aeleftherios, Agrafian Hem Rarko, Anakin, Andre315, Badmood, Buggs, Chaps the idol, Citron, Crochet.david, Croquant, Darkdadaah, DjArequ, Dneegel, EDUCA33E, Ediacara, El Charpi, Erikamartial, Eskimo, FH, Fabrice.Rossi, Florence.Cirio, Frosselet, Gz260, Hercule, Horace Velmont, Isaac Sanolnacov, Jef-Infojef, Jide, Jujubbe, Kolossus, Kromsson, Kropotkine 113, Leag, Lmaltier, Lyhana8, Mahlerite, Marc Mongenet, Med, Nykozof, Olmec, Orthomaniaque, Oxo, Peter17, Phe, Pipin, Pixeltoo, Pld, Pline, Poke2001, Racconish, Stanlekub, Sum, Tgeoffrey02, Thibault Taillandier, Toony, Ursus, Yeliyop, Zouavman Le Zouave, 168 modifications anonymes

Manteau (Terre) *Source*: <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=18144857> *Contributeurs*: 16@r, Alno, Andre Engels, Artocarpus, Beatnick, Bionet, Bob08, Buggs, Cantons-de-l'Est, Chtfn, Duch, EDUCA33E, F175, Haltopub, JLM, Jmarchal, Laurent Nguyen, Leag, Loloemr, Manoucha, Nono64, Phe, Pwin, Rominandreu, Salsero35, Ske, Tizeff, Toony, Vivarés, 42 modifications anonymes

Manteau (géologie) *Source*: <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=59488753> *Contributeurs*: 16@r, Alno, Andre Engels, Artocarpus, Beatnick, Bionet, Bob08, Buggs, Cantons-de-l'Est, Chtfn, Duch, EDUCA33E, F175, Haltopub, JLM, Jmarchal, Laurent Nguyen, Leag, Loloemr, Manoucha, Nono64, Phe, Pwin, Rominandreu, Salsero35, Ske, Tizeff, Toony, Vivarés, 42 modifications anonymes

Noyau (planète) *Source*: <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=58827518> *Contributeurs*: Alno, Anthere, Badmood, Bionet, CUSENZA Mario, Cdang, Clatourre, Dhenry, Diotime, Felghana, Gemme, Gene.arboit, Guillaume70, Orthogaffe, Phe, Pierregunther, Pixeltoo, Ploum's, Poulyp, Rominandreu, Sam Hocesvar, Siren, Ske, Tatoonie, TigH, Ton1, Vyskocil, Webmasterca, Z653z, 14 modifications anonymes

Lithosphère *Source*: <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=58441321> *Contributeurs*: A oué, Alno, Bapti, BdeBreuil, Bionet, Bob08, Buggs, Cdang, Gz260, Howard Drake, Jide, Kelson, Leag, Nitsah, Nono64, Oblic, Orthogaffe, Phe, PieRROMaN, Pierre cb, Rhizome, Sherbrooke, Ske, Sting, Svstiste, Teper, Theoliane, Zutroy, 49 modifications anonymes

Lithosphère océanique *Source*: <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=58425635> *Contributeurs*: Archeos, F.Chiodo, Iafss, Ji-Elle, Jide, Leag, Loveless, Phe, Romanc19s, Σ:ζξ, 6 modifications anonymes

Lithosphère continentale *Source*: <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=58425615> *Contributeurs*: Aporie, Badzil, Batrap, Bayo, Ji-Elle, KuSh, Phe, Sontagnon, VonTasha, 3 modifications anonymes

Asthénosphère *Source*: <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=57987734> *Contributeurs*: Andre315, Arnaud.Serander, Bionet, Buggs, Iafss, Josquin, Korrigan, Leag, Miniwark, MisterMatt, Nojhan, Phe, Rawet05, Ske, Svstiste, VT78, 19 modifications anonymes

Discontinuité de Gutenberg *Source*: <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=54660595> *Contributeurs*: Chaoborus, Ciaurlec, Clio64, Esprit Fugace, Leag, Rémi, Shawn, Skiff, 6 modifications anonymes

Discontinuité de Mohorovicic *Source*: <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=2542519> *Contributeurs*: Abracadabra, Bionet, Buggs, Chene, Doc Carbur, Esprit Fugace, G. Cornec, Jean-François Clet, Jide, Ivano, King37, Laurent Nguyen, Leag, Mafiou44, Matrok, Moi-Non-Plus, Nouill, Pamputt, Romanc19s, Rémi, Sanao, Ske, Totodu74, Wart Dark, Zetud, 19 modifications anonymes

Tectonique des plaques *Source*: <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=59445352> *Contributeurs*: Aadri, Abdallahdjabi, Alef Burzmali, Alex0o, Alno, Andre315, AntonyB, Archi02, Arct, Barbe-sauvage, Baronnet, Barraki, Ben D, Bionet, Bob08, Boucheel, Buggs, Cantons-de-l'Est, Castafior, Cdiot, Chocolat32, Citron, Colindla, Complex (de), Cutter, Cuyesse, Céréales Killer, David Berardan, Dhatier, DocteurCosmos, Duncan.france, EDUCA33E, EarendilSilmariels, Eiffel, Ektoplastor, El Machino, Elfix, Emmanuel legrand, En passant, En rouge, Esprit Fugace, Fenkys, Flash0uz, FoeNyx, Fred.th, Frederic lavachery, Frosselet, Gede, Gemme, Gz260, Hemmer, Hercule, Historicaire, Howard Drake, IALex, Iafss, Inisher, Iznogood, Jerome66, Jide, JoYz, JojoCrans, Jtombeur, Julien1311, Kakaboudin, Kelson, Kertraon, Kirikou, Kolossus, Koyuki, Kwak, Lachaume, Lachine83, Lamiot, Laurent Nguyen, Leag, LeonardoRob0t, Lilliputien, Lilyu, Lisette143, Litlok, Loloemr, M-Tullius-Cicero, Maniak, Mathieuw, Moyg, Naturnet, Nbeaudet, Nebula38, NicoV, Nonopoly, Oblic, Oookdelph, Padawane, Paternel 1, PatrickL, Pcorpet, Phe, Pedro2000, Pierre cb, Pixeltoo, Pj44300, Plus-tout-à-fait-Naïf, Pota87, Poulyp, Rawet05, Reclame, Remi, Rominandreu, Rémi, Sadich, Salamandre, Salsero35, Sand, Sebrider, Sherbrooke, Skiff, Sting, Stockholm, Svstiste, Sylfred1977, Tejgad, Teksmecksh, Tenbysie, Teper, Toony, Toto Azéro, Traroth, Treehill, Urban, Valerie, Valrog, Vargenau, Vivarés, Vyk, Wart Dark, Xinpeijin, Yéti86, Zemeilleur, Zeld, Épiméthée, 217 modifications anonymes

Plaque tectonique *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=59117529> *Contributeurs:* Alno, Barbe-sauvage, Boretti, Calvus mons, D4m1en, DocteurCosmos, EDUCA33E, Edhral, En rouge, Escaladix, Fafnir, F175, Fred.th, Funcmcuffins, Gz260, G6Tò, Hercule, Koyuki, Le Galéanthrope, Mathew5000, Nataraja, Nono64, PP Tom, Paternel 1, Phe, Pouppy, Rémi, Sebjarod, Stef48, Taguelmoust, Thewayforward, Traroth, Valerie, Vincenet, Wart Dark, Wowijustiedlol, Xofc, Yf, ZeMeilleur, Zelda, 47 modifications anonymes

Roche *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=59500191> *Contributeurs:* Albanoreau, Anbé, Andre315, Artocarpus, Ash Crow, Buggs, Calcineur, Chaoborus, Cyberugo, Dauphiné, David Berardan, Doc103, Fafnir, Fanhon, Framartin, Gemme, G6Tò, H.G ANTON, Hemmer, Hercule, Historicair, IcemanGrrrr, Jeanot, Jef-Infojef, Jide, Kalviner, Kanabiz, Leag, Mahlerite, Malta, Marc Mongenet, Mpb Blanchette, N'importe lequel, Orthogaffe, Pixeltoo, Powerwil85430, Rémi, Sam Hocevar, Semnoz, Seudo, Sherbrooke, Tarquin, Tpa2067, Urban, V. M., Vivarés, Webkid, X-or, Zetop, Zubro, 59 modifications anonymes

Mer Méditerranée *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=59558098> *Contributeurs:* A2, Aeleftherios, Alibaba, Alno, Alvaro, Ampon, Aristarché, Arria Belli, Azzopardi, Babynoud2luxx, Badmood, Bap, Batni, Beaukarpo, Bibi Saint-Pol, Bob08, Butterfly austral, CHEFALAIN, Cantons-de-l'Est, CaptainHaddock, Cdiot, Cham, Chatsam, Chgras, Christophe.moustier, CédricGravelle, David Berardan, Delio, Dhatier, DocteurCosmos, Eiffel, Elapied, Eleferio, Emmanuel espanol, En passant, Eysteinn, Fagairrolles 34, Fakirizigh, Filip Phloppe, Fouziks, Fr.Latreille, France01100, Francois Trazzi, Gonioul, Gronico, Gédé, Hashar, Hbbk, Hcanon, Hemmer, Hercule, Herr Satz, Hiwi, Holycharly, Iafss, Idarvol, Inestella, JLM, Jmax, Jmc, Kanabiz, Kelson, Kolossus, Lakamira, Leag, Leparc, Leridant, Litlok, Lomita, LordAnatar, Lou Montana, Louis-garden, Ludo29, Marc Mongenet, Masterdeis, Mathieu, Med, Medium69, MicroCitron, Mirka2410, Mro, Mwm, Nanoxyde, Nepomuk, Néfermaât, Oblonski, Olivier, Olrick, Orel'jan, Orlodrim, Orthogaffe, Oxo, Palpalpalpal, Paternel 1, Phe, Philippe rogez, Pinpin, Pixeltoo, Pj44300, Poilodiseau, Popo le Chien, Popolon, Poulpy, Poux, Pramzan, Prosopé, Pseudomoi, R, Rafehm, Rhizome, Rled44, Romary, Roymail, Ryo, Rémi, Salsero35, Sebjarod, Spedona, Star Trek Man, Sting, Surdox, Syssoun, Tarquin, Tavernier, Thedreamtree, Thierry Caro, Tieum512, TigH, Tooony, Ultrogothe, Urban, Utod15, UwKCharlie, VIGNERON, Vargenau, Vinbaron, Vivarés, Wikialine, Wikig, Wiz, Ysidlo, Yendred, Youandme, Z = ADOLF HITLER = Z, Zelala, Zetud, 173 modifications anonymes

Atlas (massif) *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=59395868> *Contributeurs:* Alno, Badmood, Basilic, Bbullet, Bibi Saint-Pol, Chouya500, Croquant, Daniela, Deux esprits, Dr Brains, Elcèd77, Erasmus, Fabiform, Fredphan, Gede77, Gemini1980, Graouilly, Guérin Nicolas, Kafka1, Kassus, Lakamira, Laurent Nguyen, Manu bcn, Moha1990, Moumou82, Mschlindwein, Nataraja, Numidix, P'tit Ju, Petrusbarbygere, Phso2, Pld, Romano1246, Rémi, Saltassine, Sherbrooke, Spedona, Sts, Thierry Caro, Urban, Yann, Yves30, Z653z, 35 modifications anonymes

Atlas saharien *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=59564490> *Contributeurs:* Badmood, Boris grishenko, CommonsDelinker, Gemini1980, Guérin Nicolas, Lakamira, Moumou82, Rémi, Seb35, Waran18, بولس ياروم, 2 modifications anonymes

Dorsale tunisienne *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=59223247> *Contributeurs:* Badmood, Cimoi, Elcèd77, Gemini1980, Guérin Nicolas, Habib.mhenni, Mbenoist, Moumou82, Rémi, Thierry Caro, 10 modifications anonymes

Djebel Chambi *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=55613064> *Contributeurs:* Adrien66, Badmood, Badre, Cimoi, Elcèd77, Gemini1980, Guérin Nicolas, Hercule, Mbenoist, Moumou82, Ollamh, Omar86, Paskalo, RedSolution, Rémi, Tunisino?, 2 modifications anonymes

Atlas tellien *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=59564637> *Contributeurs:* Badmood, Boeb'is, Boris grishenko, Clem23, CommonsDelinker, Elcèd77, Gemini1980, Guérin Nicolas, Lakamira, Moumou82, Numidix, Rémi, Yoos, 3 modifications anonymes

Source des images, licences et contributeurs

Fichier:Volcano.jpeg *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Volcano.jpeg> *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* Dbenbenn, Jurema Oliveira, Mattes, Rémi

Fichier:Crystal browser.png *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Crystal_browser.png *Licence:* GNU Lesser General Public License *Contributeurs:* w:Everaldo CoelhoEveraldo Coelho and YellowIcon

Fichier:LogoG&G.png *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:LogoG&G.png> *Licence:* GNU Free Documentation License *Contributeurs:* Utilisateur:Carlo denis

Fichier:Geographylogo.svg *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Geographylogo.svg> *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* OpenClipart

Image:Лазоревый грот. Неаполь.jpg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Лазоревый_грот_Неаполь.jpg *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* Butko, Mattes

Fichier:Crystal pipe.png *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Crystal_pipe.png *Licence:* GNU Lesser General Public License *Contributeurs:* Dake, Pseudomoi, Wst, 1 modifications anonymes

Fichier:Question book-4.svg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Question_book-4.svg *Licence:* GNU Free Documentation License *Contributeurs:* w:en:User:Tkgd2007Tkgd2007

Image:Soil sci.jpg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Soil_sci.jpg *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* Duesentrieb, Paleorthid

Image:Bodenart.jpg *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Bodenart.jpg> *Licence:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Contributeurs:* Eugen Lehle, JuergenL, 3 modifications anonymes

Image:Soilprofile.PNG *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Soilprofile.PNG> *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* USGS

Fichier:cowicon.svg *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Cowicon.svg> *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* User:Abu badali

Image:Soil profile.jpg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Soil_profile.jpg *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* Duesentrieb, Juan de Vojnkov, Paleorthid, Pkravchenko, Siebrand, Wknight94, 4 modifications anonymes

Image:Disambig colour.svg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Disambig_colour.svg *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* User:Bub's

Image:Mosses over limestone.jpg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Mosses_over_limestone.jpg *Licence:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Contributeurs:* User:Remulazz

Image:Slice earth.svg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Slice_earth.svg *Licence:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Contributeurs:* Dake, Fschoenm, Hmmwhatsthisdo, Ji Wha, Rocket000, Stevecrye, 8 modifications anonymes

Image:Jordens inre-numbers.svg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Jordens_inre-numbers.svg *Licence:* GNU Free Documentation License *Contributeurs:* Original Vectorization:

Image:P sismic wave.jpg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:P_sismic_wave.jpg *Licence:* GNU Free Documentation License *Contributeurs:* Doc Carbur at fr.wikipedia

Image:S sismic wave.jpg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:S_sismic_wave.jpg *Licence:* GNU Free Documentation License *Contributeurs:* Doc Carbur at fr.wikipedia

Image:Globe4.jpg *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Globe4.jpg> *Licence:* GNU Free Documentation License *Contributeurs:* MushiHoshiIshi, Saperaud, 2 modifications anonymes

Image:dimensionsglobe.jpg *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Dimensionsglobe.jpg> *Licence:* GNU Free Documentation License *Contributeurs:* Doc Carbur, Symac

Image:Erdkruste-1.jpg *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Erdkruste-1.jpg> *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* ComputerHotline, LA2, MushiHoshiIshi, Timeshifter, TomCatX, W!B:

Image:Topo.jpg *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Topo.jpg> *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* USGS/USGov

Fichier:Zone de subduction djareku.png *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Zone_de_subduction_djareku.png *Licence:* GNU Free Documentation License *Contributeurs:* User:DjArequ

Fichier:Icone Abysses3.jpg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Icone_Abysses3.jpg *Licence:* GNU Free Documentation License *Contributeurs:* User:Sitron

Image:Structure planetes telluriques.jpg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Structure_planetes_telluriques.jpg *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* MushiHoshiIshi, Ruslik0, Vyskocil

Fichier:Celestia.png *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Celestia.png> *Licence:* GNU General Public License *Contributeurs:* 555, ComputerHotline, CyberSkull, Czeror, Gildemax, Go for it!, Rocket000, Rursus, Tony Wills

File:Plates tect2 fr.svg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Plates_tect2_fr.svg *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* User:BernardM

Image: Geology logo.svg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Geology_logo.svg *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* User:Tryphon

Image: Logo physics.svg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Logo_physics.svg *Licence:* Creative Commons Attribution 2.5 *Contributeurs:* Guillom, Karelj, Liquid 2003, Rocket000

Fichier:Disambig colour.svg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Disambig_colour.svg *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* User:Bub's

Fichier:Tectonic plates-fr.png *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Tectonic_plates-fr.png *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* Fabienkhan

File:2008 age of oceans plates.jpg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:2008_age_of_oceans_plates.jpg *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* NOAA

Fichier:Shema plaques tectoniques.png *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Shema_plaques_tectoniques.png *Licence:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Contributeurs:* User:Superwikifan

Fichier:Cycle orogénique.png *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Cycle_orogénique.png *Licence:* Creative Commons Attribution 2.5 *Contributeurs:* Saphon

Fichier:Pangea animation 03.gif *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Pangea_animation_03.gif *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* Original upload by

Fichier:Tectonic plates boundaries detailed-fr.svg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Tectonic_plates_boundaries_detailed-fr.svg *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* User:Sting

Image:Tectonic plates-fr.png *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Tectonic_plates-fr.png *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* Fabienkhan

Image:Global plate motion.jpg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Global_plate_motion.jpg *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* Enemy, João Sousa, TomCatX

Image:Formation des roches.svg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Formation_des_roches.svg *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* User:Historicair

Image:Clay-ss-2005.jpg *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Clay-ss-2005.jpg> *Licence:* GNU Free Documentation License *Contributeurs:* Didiervberghé, Siim

Image:DeathValley Dunes6.JPG *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:DeathValley_Dunes6.JPG *Licence:* GNU Free Documentation License *Contributeurs:* User:Urban

Image:Granit Yosemite CA.jpg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Granit_Yosemite_CA.jpg *Licence:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Contributeurs:* Hike395, Urban

Image:Golden Canyon Conglomerat.jpg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Golden_Canyon_Conglomerat.jpg *Licence:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Contributeurs:* Urban

Fichier:Emerald_rough_300x422.jpg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Emerald_rough_300x422.jpg *Licence:* GNU Free Documentation License *Contributeurs:* Ryan Salsbury

Fichier:Nuvola apps edu science.svg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Nuvola_apps_edu_science.svg *Licence:* inconnu *Contributeurs:* A32, Cwbn (commons), Humanist Geek, Ipatrol, Origamiemensch, Rocket000, Shizhao, Wknight94, Ysangkok, 3 modifications anonymes

Fichier:Mediterranean Sea political map-fr.svg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Mediterranean_Sea_political_map-fr.svg *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* User:Sting

Fichier:Earthmap1000x500compac.jpg *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Earthmap1000x500compac.jpg> *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* User:Rodrigod

Image:Red pog.svg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Red_pog.svg *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* User:Andux

Image:Gtk-dialog-info.svg *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Gtk-dialog-info.svg> *Licence:* GNU Lesser General Public License *Contributeurs:* David Vignoni

Fichier:Strait of gibraltar.jpg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Strait_of_gibraltar.jpg *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* NASA

Fichier:Mediterranean Sea surface.jpg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Mediterranean_Sea_surface.jpg *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* Fagairoles 34, Red devil 666, Rex, Ævar Arnfjörð Bjarnason

Fichier:Tectonic map Mediterranean EN.svg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Tectonic_map_Mediterranean_EN.svg *Licence:* inconnu *Contributeurs:* User:Woudloper

Fichier:Carte de la mer Méditerranée.png *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Carte_de_la_mer_Méditerranée.png *Licence:* GNU Free Documentation License *Contributeurs:* En rouge, European Boy, Idarvol, Izmir lee, Lycaon, PM, Tomia, 1 modifications anonymes

Fichier:mer mediterranee.JPG *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Mer_mediterranee.JPG *Licence:* GNU Free Documentation License *Contributeurs:* User:Vinbaron on fr.wikipedia

Fichier:Titre-mediterranee.gif *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Titre-mediterranee.gif> *Licence:* GNU Free Documentation License *Contributeurs:* Utilisateur:Topf

Fichier:Anchor.svg *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Anchor.svg> *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* BrockF5, EugeneZelenko, Wst

Fichier:Moyen Orient drapeaux.svg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Moyen_Orient_drapeaux.svg *Licence:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Contributeurs:* User:Masterdeis, User:Trex

Fichier:Europe green light.svg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Europe_green_light.svg *Licence:* Attribution *Contributeurs:* User:Haquino, User:MichaelPhilip

Fichier:Afrique (orthographique projection).svg *Source:* [http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Afrique_\(orthographique_projection\).svg](http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Afrique_(orthographique_projection).svg) *Licence:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Contributeurs:* User:Martin23230

Image: Matterhorn-SouthSide-viewedFromSkiRegionBreuilCervinia.jpg *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Matterhorn-SouthSide-viewedFromSkiRegionBreuilCervinia.jpg> *Licence:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Contributeurs:* User:Marcel Wiesweg

Fichier:AtlasRange.jpg *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:AtlasRange.jpg> *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* Erfil, Leavade, Mattes, 1 modifications anonymes

Fichier:Flag of Morocco.svg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Flag_of_Morocco.svg *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* User:Denelson83, User:Zscout370

Fichier:Flag of Algeria.svg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Flag_of_Algeria.svg *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* User:SKopp

Fichier:Flag of Tunisia.svg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Flag_of_Tunisia.svg *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* AnonMoos, Avala, Bender235, Duduziq, Elina2308, Emmanuel.boutet, Flad, Fry1989, Gabbe, Juiced lemon, Klemen Kocjancic, Mattes, Meno25, Myself488, Neq00, Nightstallion, Reisio, Str4nd, Фёдор Гусляров, 7 modifications anonymes

Fichier:Matterhorn-SouthSide-viewedFromSkiRegionBreuilCervinia.jpg *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Matterhorn-SouthSide-viewedFromSkiRegionBreuilCervinia.jpg> *Licence:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Contributeurs:* User:Marcel Wiesweg

Fichier:WikiProject maghreb (wo shadow).svg *Source:* [http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:WikiProject_maghreb_\(wo_shadow\).svg](http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:WikiProject_maghreb_(wo_shadow).svg) *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* User:Flad, User:Indif

Image: Flag and map of Algeria.svg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Flag_and_map_of_Algeria.svg *Licence:* GNU Free Documentation License *Contributeurs:* Marcin n@ ✨

Fichier:Atlas-Mountains-Labeled-2.jpg *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Atlas-Mountains-Labeled-2.jpg> *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* User:Williamborg

Fichier:Missing map.png *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Missing_map.png *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* user:Xfigpower

Image:Djebel_Serj_vue_panoramique.jpg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Djebel_Serj_vue_panoramique.jpg *Licence:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Contributeurs:* User:Habib.mhenni

Image:WSIS - Landschaft auf dem Weg von Hammamet nach Tunis (2005-11-18).JPG *Source:* [http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:WSIS_-_Landschaft_auf_dem_Weg_von_Hammamet_nach_Tunis_\(2005-11-18\).JPG](http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:WSIS_-_Landschaft_auf_dem_Weg_von_Hammamet_nach_Tunis_(2005-11-18).JPG) *Licence:* Creative Commons Attribution 2.5 *Contributeurs:* Kurt Jansson, Mounou82, 1 modifications anonymes

Image: TunisiaStub.svg *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:TunisiaStub.svg> *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* User:Emmanuel.boutet

Fichier:Default.svg *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Default.svg> *Licence:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Contributeurs:* User:Solensean on fr.wikipedia

Fichier:Tunisian Republic location map.svg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Tunisian_Republic_location_map.svg *Licence:* GNU Free Documentation License *Contributeurs:* User:NordNordWest

Image:Black triangle2.svg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Black_triangle2.svg *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* user:Obersachse

Licence

Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>

www.tunisie-etudes.info

Ce document a été téléchargé depuis
www.tunisie-etudes.info

Des documents gratuits, devoirs, examens, cours, exercices, corrigés... Ainsi que toute une rubrique pour vous aider à trouver un emploi sans oublier les avis de concours en direct

Notre page Twitter :

<http://www.twitter.com/TunisieEtudes>

Notre page FaceBook :

<http://www.facebook.com/TunisieEtudes>

The screenshot shows the homepage of Tunisia-études.info. At the top, there is a navigation bar with the site name 'TUNISIE-ETUDES.INFO' and three menu items: 'Tous les documents', 'BAC', and 'Avis de co'. Below this is a 'Newsflash' section with a blue background and white text, stating: 'Tunisie-etudes.info vous aide dans votre préparation pour le concours de l'ENA. Documents de préparation pour le concours national tunisien de l'ENA'. A 'Home' button is visible below the newsflash. On the left side, there is a 'Main Menu' with a list of links: Home, News, Web Links, Documents, Primaire, Collège, Secondaire, and Supérieur. The main content area features a 'BIENVENUE SUR TUNISIE-ETUDES.INFO' section with a sub-heading 'Avis de concours', 'Écrit par Administrateur', and a date 'Mercredi, 20 Janvier 2010 08:47'. The text below reads: 'Accéder aux derniers avis de concours publier par les entreprises tunisiennes au jour le jour directement sur votre site'. A link 'Avis de concours en direct' is provided. At the bottom of this section, there are links for 'Accès aux documents' and 'Retrouvez nous sur FaceBook'.

Merci d'avoir choisi www.tunisie-etudes.info
Bonne lecture et bon travail

www.tunisie-etudes.info – www.algointro.info