



L'ENVELOPPE EXTERIEURE DE LA TERRE : LA LITHOSPHERE



La lithosphère est l'enveloppe extérieure de la Terre, à la fois froide et rigide.

Elle est fragmentée en « plaques » mobiles les unes par rapport aux autres, sur lesquelles nous vivons et bâtissons.



La lithosphère est constituée de deux couches superposées, de composition et de densité différentes :

- Une croûte légère en surface sur une épaisseur allant de 7 km à plus de 40 km.
- Le manteau lithosphérique, plus dense, en profondeur sur une épaisseur pouvant dépasser 100 km.

Une interface, nommé **Moho** (contraction de « discontinuité de Mohorovicic »), sépare la croûte du manteau et se retrouve presque partout.

LA CROÛTE

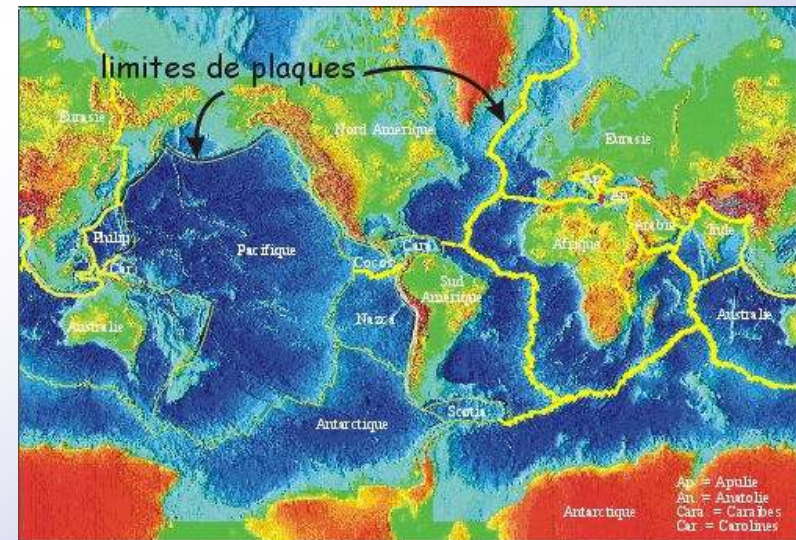


Dans le langage courant, le rivage sépare le continent de l'océan.
Mais, du point de vue géologique,
la frontière océan-continent est située sous la mer,
à la limite entre deux types de croûtes terrestres

. **La croûte continentale**, généralement émergée, mais submergée en bordure des continents :

. **La croûte océanique**, qui forme le plancher de l'océan profond.

La limite entre ces deux sortes de croûte est imposée par le mouvement des plaques tectoniques.

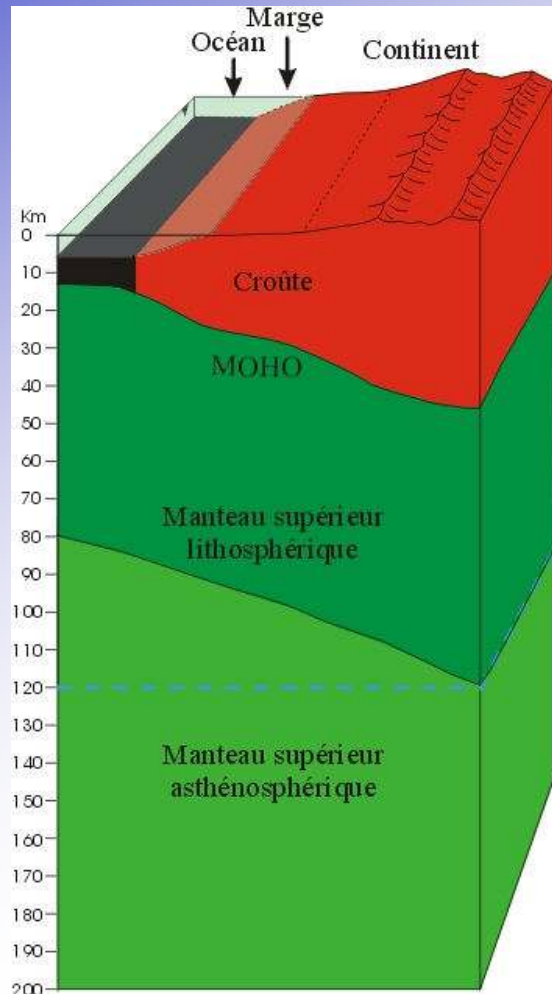


Les plaques sont des fragments de lithosphère.

L'ÉPAISSEUR LITHOSPHERIQUE



L'épaisseur de la lithosphère est de 120 km en moyenne. Cette épaisseur varie de 0 à l'axe des dorsales (panneau 3) à 200 km sous les continents âgés de plus de 1 milliard d'années.



← Croûte continentale

← Manteau lithosphérique

La **lithosphère** repose sur l'**asthénosphère**, (en vert clair sur le schéma), qui est un milieu se déformant facilement à l'échelle géologique: on dit qu'il est **plastique**.

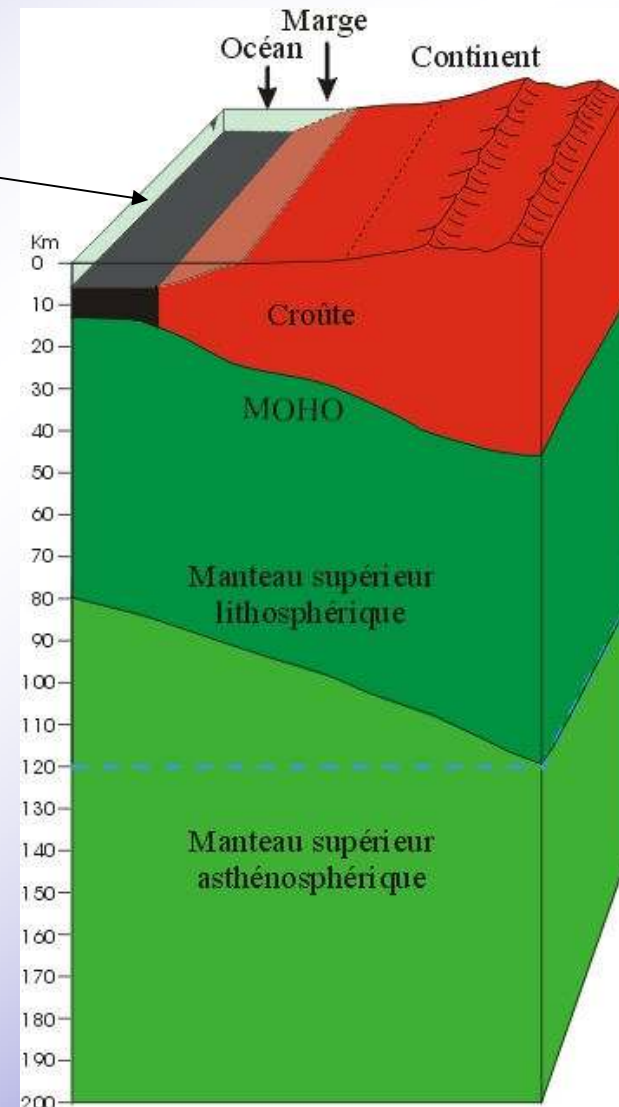
En général, l'**asthénosphère n'est pas constituée de roches en fusion**. Sa plasticité résulte des conditions de pression et de température (1300° environ) qui règnent sous la lithosphère.

LA CROÛTE OcéANIQUE

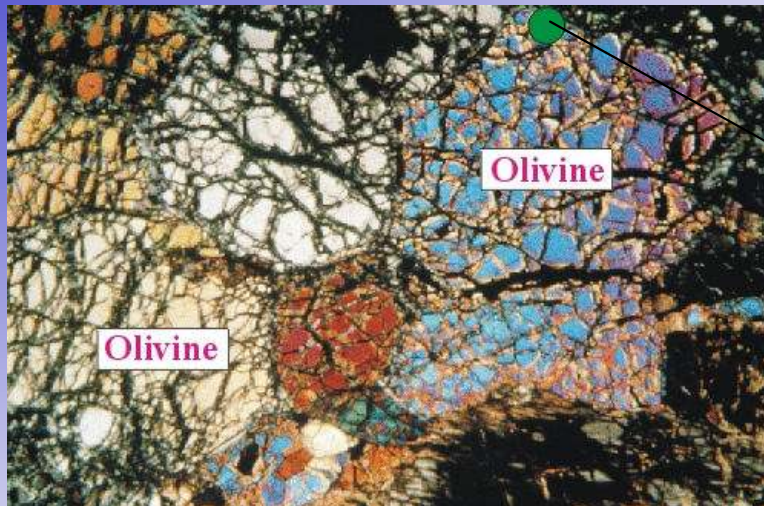


Basaltes en coussins (pillows-lava figés) observés en plongée au sommet de la croûte océanique

La croûte océanique (en noir sur le schéma) est mince (7 km en moyenne). Constituée principalement de basalte et de gabbro (du basalte cristallisé), cette croûte est relativement jeune puisque créée par la tectonique des plaques actuelle.

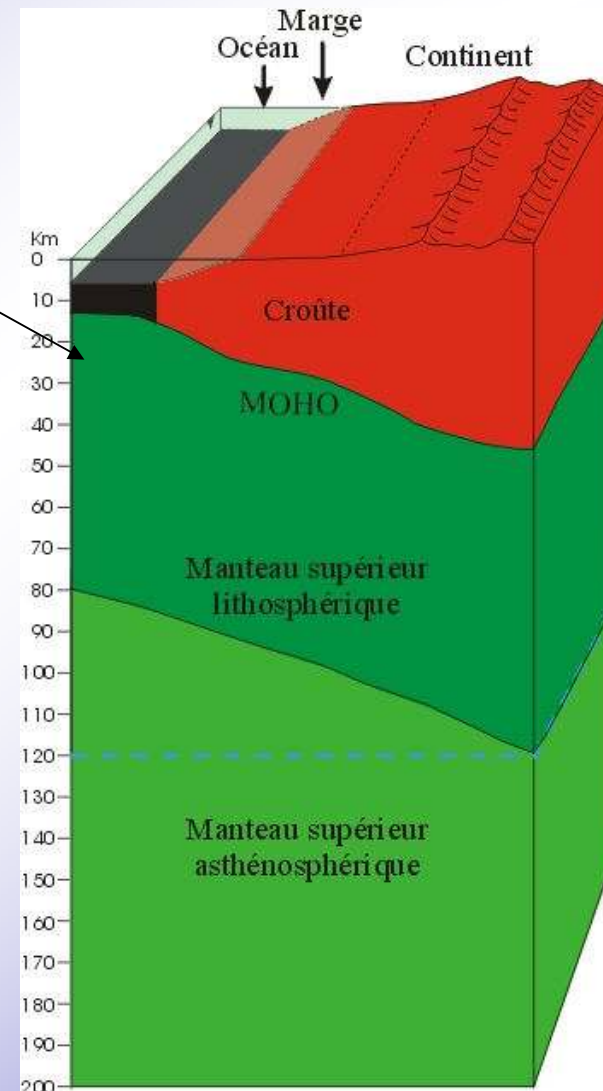


LE MANTEAU TERRESTRE



Lame mince taillée dans un échantillon de péridotite (roche du manteau). On distingue des cristaux de péridots (olivine) qui est le minéral principal ayant donné son nom à la roche.

Le manteau terrestre est situé sous la croûte. Il est constitué par une roche dense, la péridotite, qui appartient soit à la lithosphère (en vert foncé sur le schéma), soit à l'asthénosphère (vert clair).

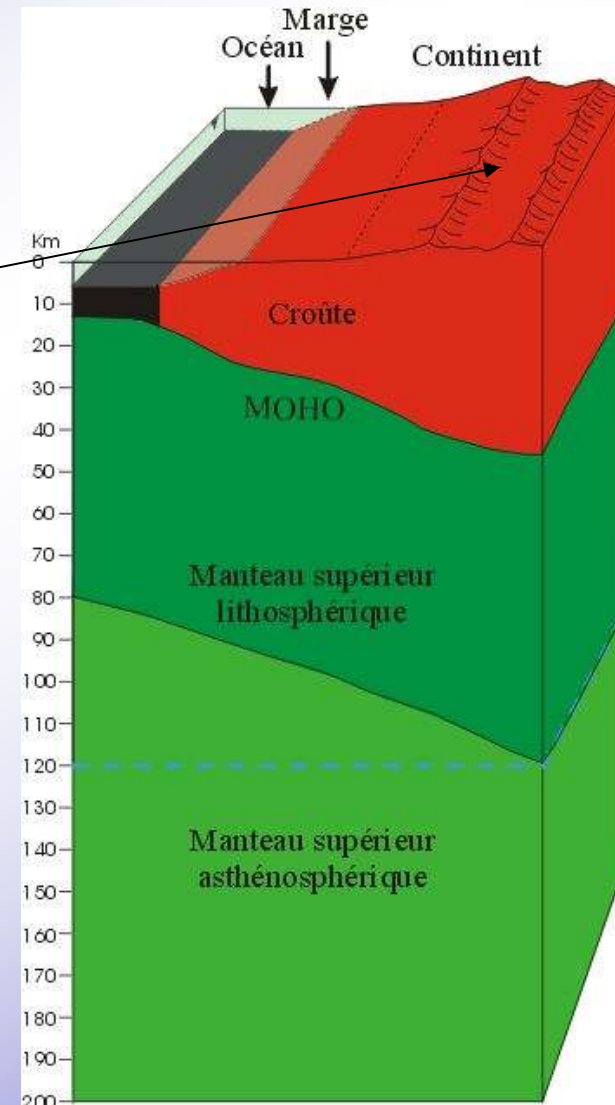


LA CROÛTE CONTINENTALE



Le sommet granitique de la cime de Tavels, au-dessus du lac des Terres rouges, Massif du Mercantour, Alpes-Maritimes.

La croûte continentale (en rouge sur le schéma) est épaisse (35 km en moyenne, jusqu'à 80 km sous les chaînes de montagnes). Elle est constituée principalement de roches granitiques et de roches sédimentaires. Sa densité moyenne est de 2,8. Cette croûte porte les roches les plus vieilles sur Terre au-delà des 4 milliards d'année. Elle est le fruit des tectoniques précédentes.

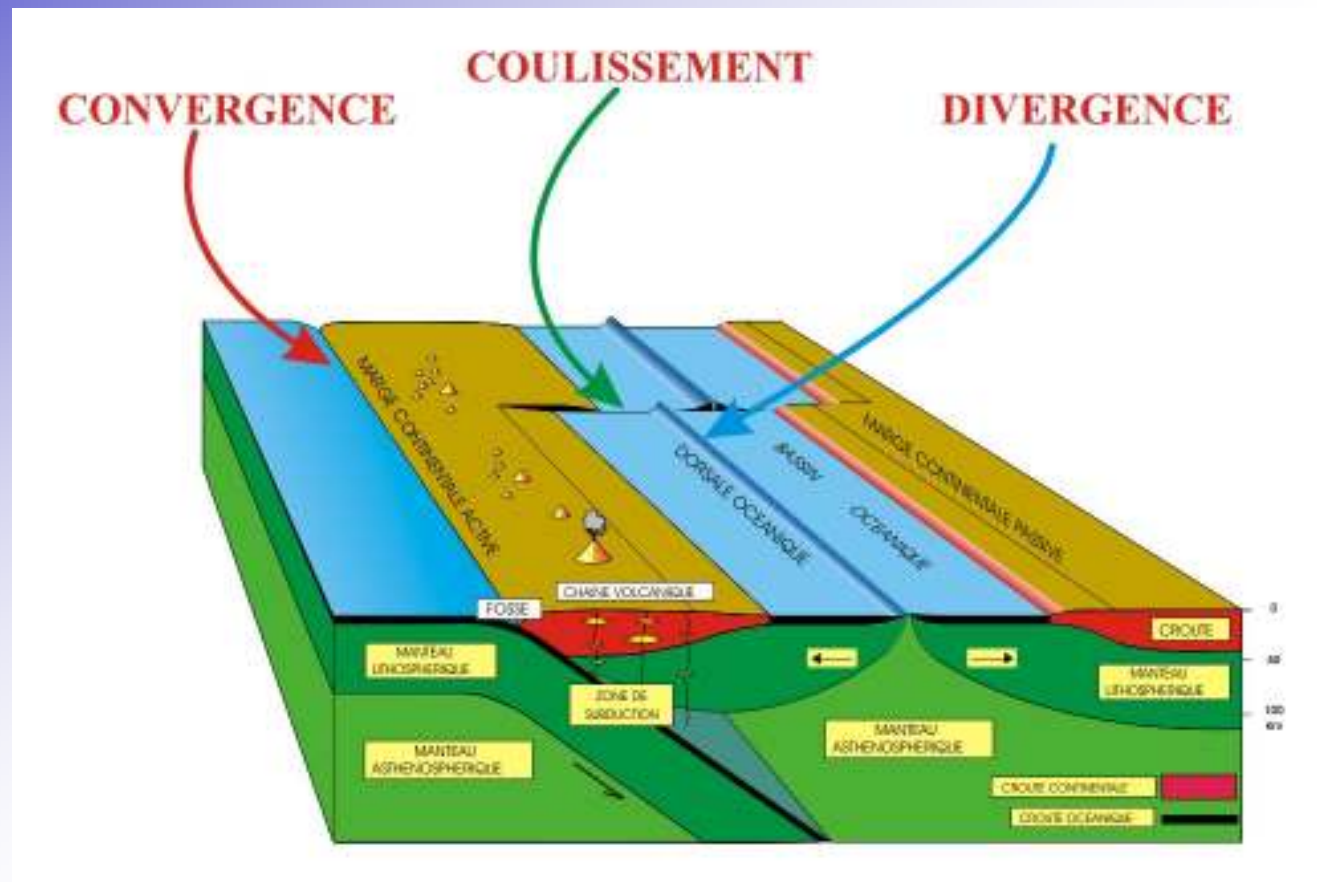


LE MOUVEMENT DES PLAQUES LITHOSPHERIQUES ET SES CONSEQUENCES GEOLOGIQUES



Trois mouvements sont possibles entre les plaques :
la **divergence**, la **convergence** et le **coulissement**
bord-à-bord. L'écartement et le rapprochement des
plaques expliquent la dérive des continents.

LES MOUVEMENTS DES PLAQUES

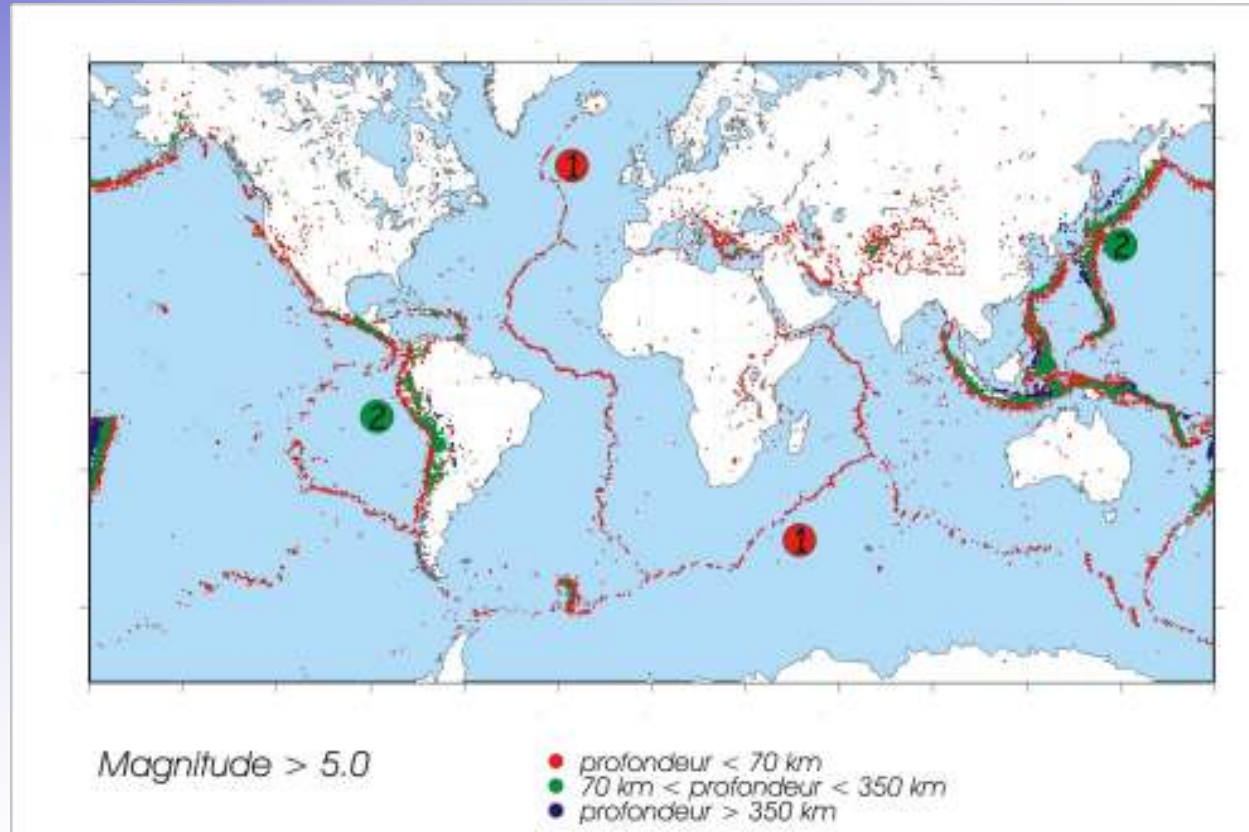


Les phénomènes géologiques sont **très intenses à la frontière des plaques** et tout particulièrement à la frontière des plaques convergentes.

LES SEISMES



Répartition mondiale des séismes enregistrés entre 1977 et 1996



Les **séismes** se produisent principalement à la **limite des plaques et dans les chaînes de montagnes** (Alpes, Himalaya), là où deux plaques continentales sont en collision. Les plaques tectoniques se dessinent d'elles-mêmes.

LA CONVERGENCE DES PLAQUES



Deux plaques se rapprochent, l'une glissant sous l'autre par « subduction ». C'est ainsi que se rétrécissent et disparaissent les océans.

A la frontière des plaques convergentes, la déformation des terrains est intense : elle s'effectue progressivement ou par à-coups (ruptures à l'origine de **tremblements de terre** ou **séismes**).

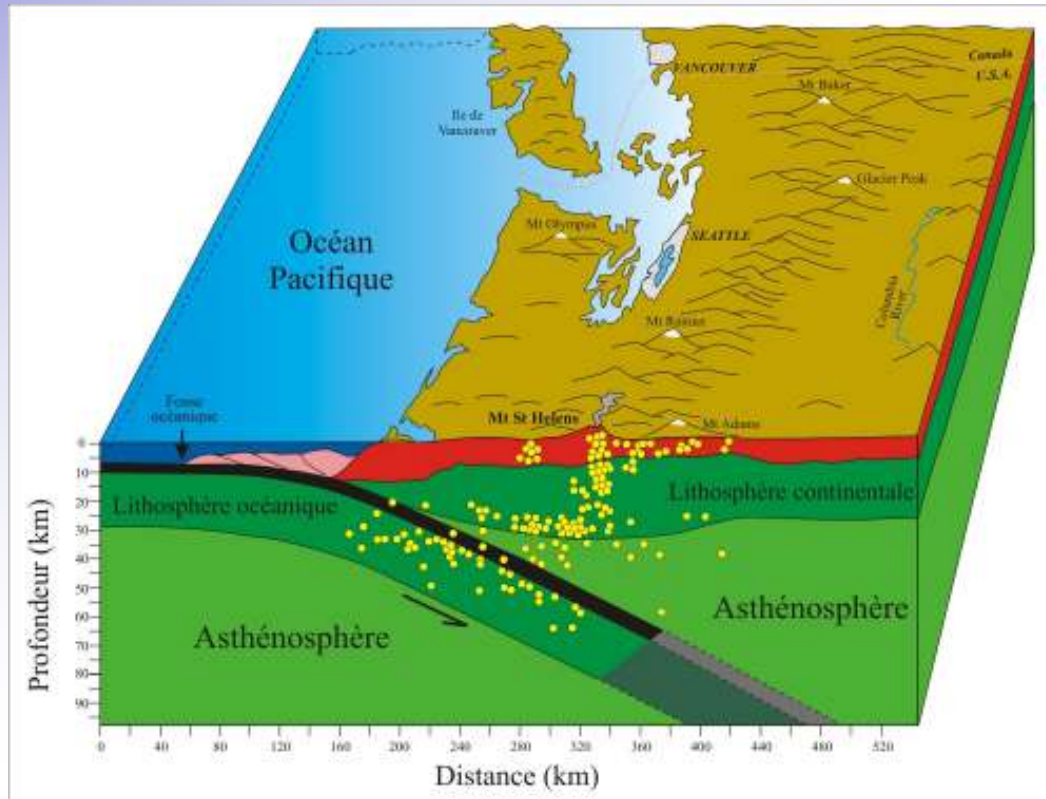


Schéma représentant la convergence entre une plaque continentale et une plaque océanique dans les régions de Seattle (U.S.A.) et Vancouver (Canada). Les lieux de rupture à l'origine des séismes sont représentés par des cercles jaunes.

LE VOLCANISME



Le **volcanisme** est très actif aux frontières convergentes.
Il résulte de la fusion partielle des roches du manteau de la plaque supérieure, facilitée par l'arrivée d'eau apportée par la plaque plongeante.



Le Mont st-Helens (Etats-Unis) avant et après l'explosion du 18 mai 1980.

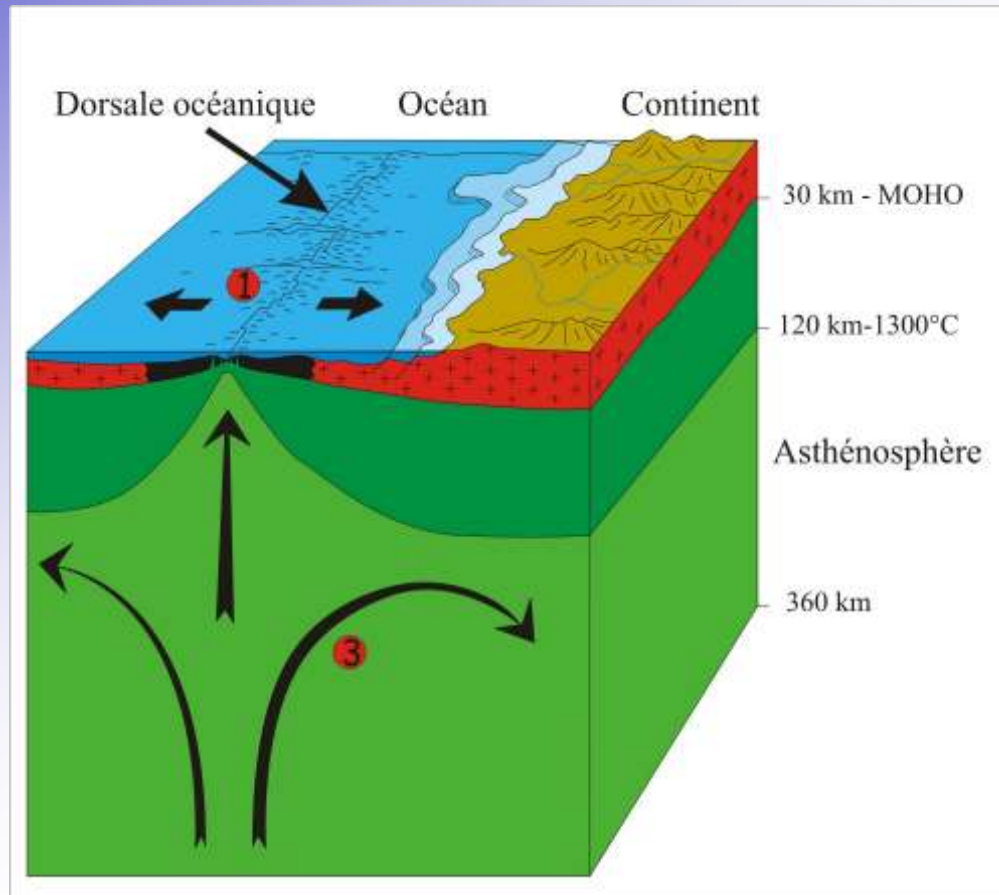
L'explosion du flanc nord du volcan a entraîné une avalanche de débris suivie d'une nuée ardente très rapide causant la mort de 57 personnes.

Le Mont St-Helens a perdu 430 m d'altitude lors de son explosion.

LA DIVERGENCE DES PLAQUES



Deux plaques s'écartent l'une de l'autre.
C'est ainsi que naissent et s'agrandissent les océans.



Les **frontières de plaques divergentes** (1) correspondent aux dorsales océaniques, où est fabriquée la croûte océanique. Ces frontières sont aussi le site d'une activité sismique (tremblement de terre); toutefois celle-ci est moins intense que celle observée aux frontières des plaques convergentes.

Les magmas qui se solidifient à l'axe des dorsales océaniques et forment ainsi la croûte océanique proviennent de la fusion en profondeur des roches du manteau par suite de l'élévation de température ou de la diminution de la pression (migration des terrains vers la surface); les flèches indiquent les lents mouvements à l'intérieur du manteau (3).



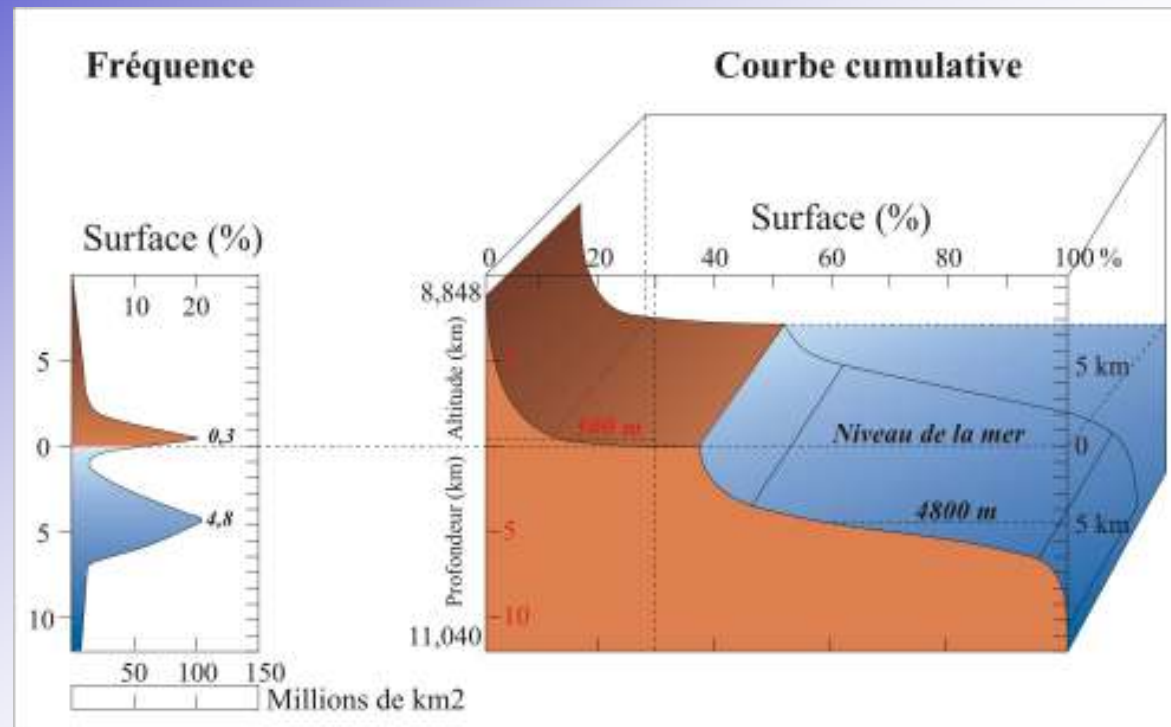
POURQUOI DES OCEANS PROFONDS ET DES CONTINENTS EMERGES ?



La lithosphère est l'enveloppe extérieure de la Terre,
à la fois froide et rigide.

Elle est fragmentée en « plaques » mobiles les unes par
rapport aux autres, sur lesquelles nous vivons et bâtissons.

LE RELIEF



La répartition des altitudes et des profondeurs à la surface de la croûte terrestre montre 2 pics :

- L'altitude la plus fréquente sur les continents est de 300 m.
- La profondeur des océans la plus fréquente est de 4800 m.

Ces deux pics, ayant pour origine les diverses tectoniques des plaques, correspondent à un état d'équilibre entretenu de la croûte continentale et de la croûte océanique. Sans tectonique, la courbe ne présenterait qu'un seul pic. En première approximation, cet équilibre respecte le principe d'Archimède.

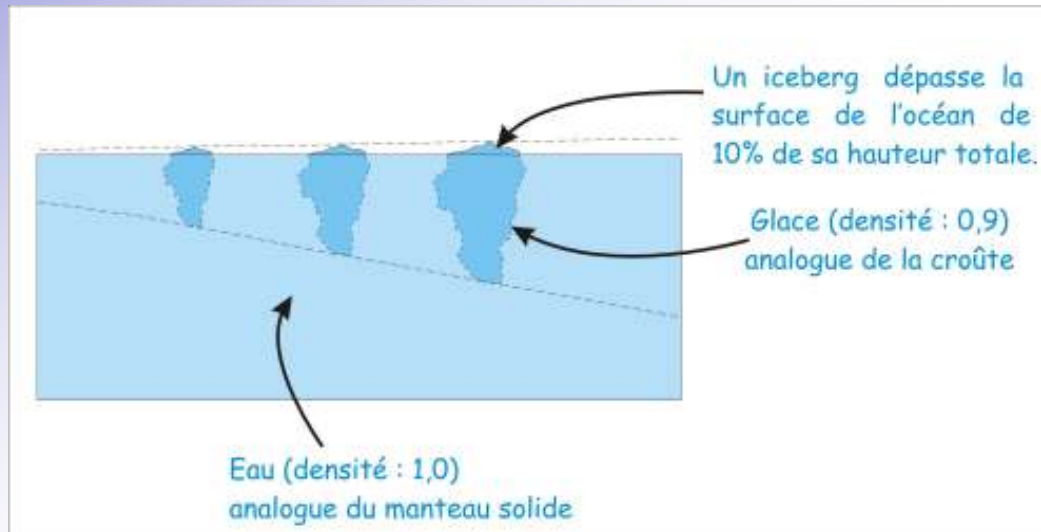
L'ISOSTATIE



Le principe d'Archimède appliqué à la croûte terrestre

Les différences de densité et d'épaisseur entre la croûte (densité 2,8 à 2,9), l'eau des océans et le manteau (densité 3,3 à 3,4) sont à l'origine des reliefs des continents et des fonds océaniques.

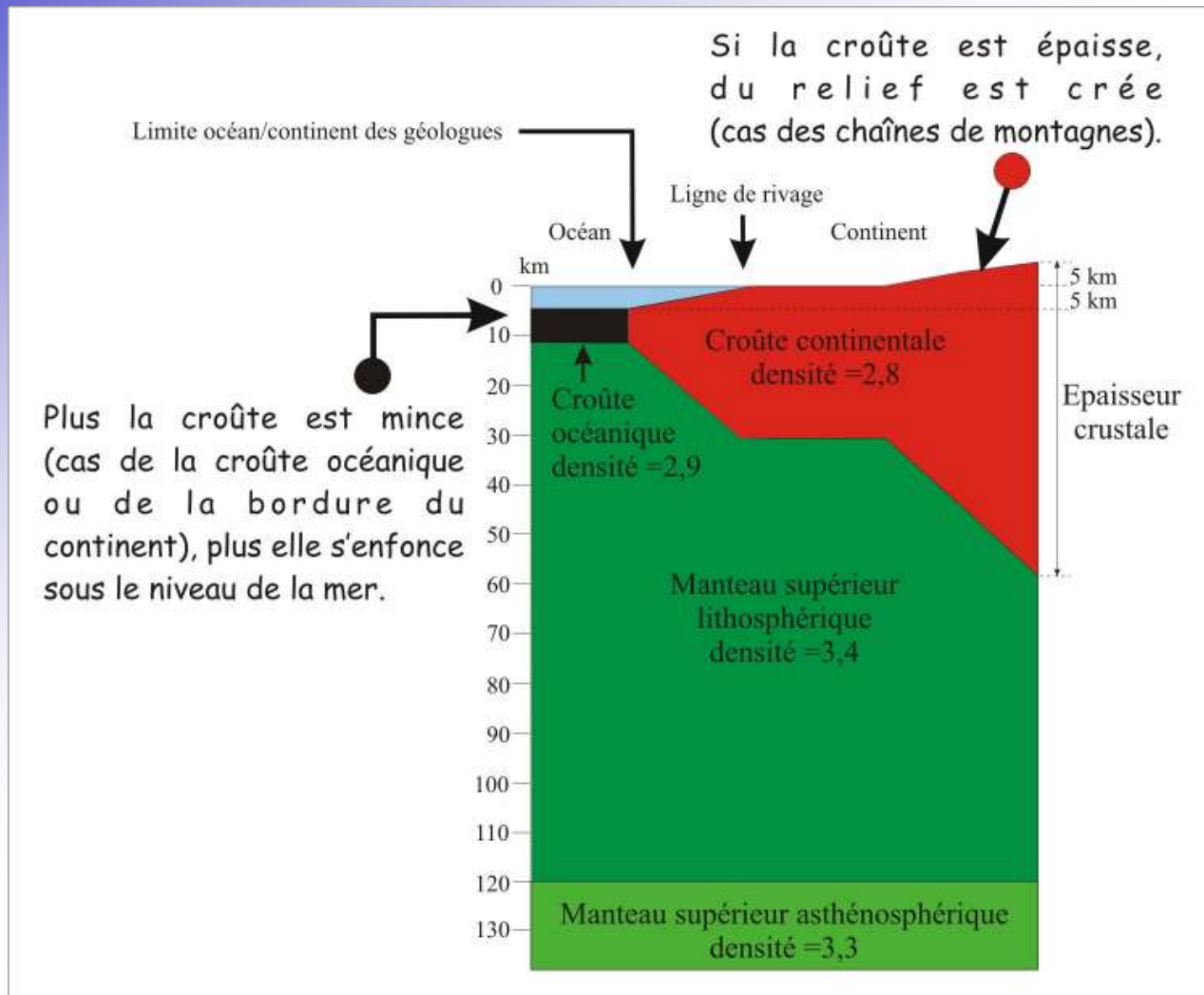
Pourquoi ?



La croûte légère reste à la surface de la lithosphère, à la manière d'un iceberg au milieu de l'océan. Plus la croûte est épaisse, plus le relief est élevé. C'est le principe d'Archimède que l'on appelle isostatie

Ainsi, pour émerger de 300 mètres, la croûte continentale doit être épaisse d'au moins 30 km.

LES LITHOSPHERES OCEANIQUE ET CONTINENTALE





L'épaisseur de la croûte commande la position de la ligne de rivage

Compte tenu de la quantité d'eau disponible dans les océans, la ligne de rivage se situe en général à l'endroit où l'épaisseur de la croûte est de 30 km.

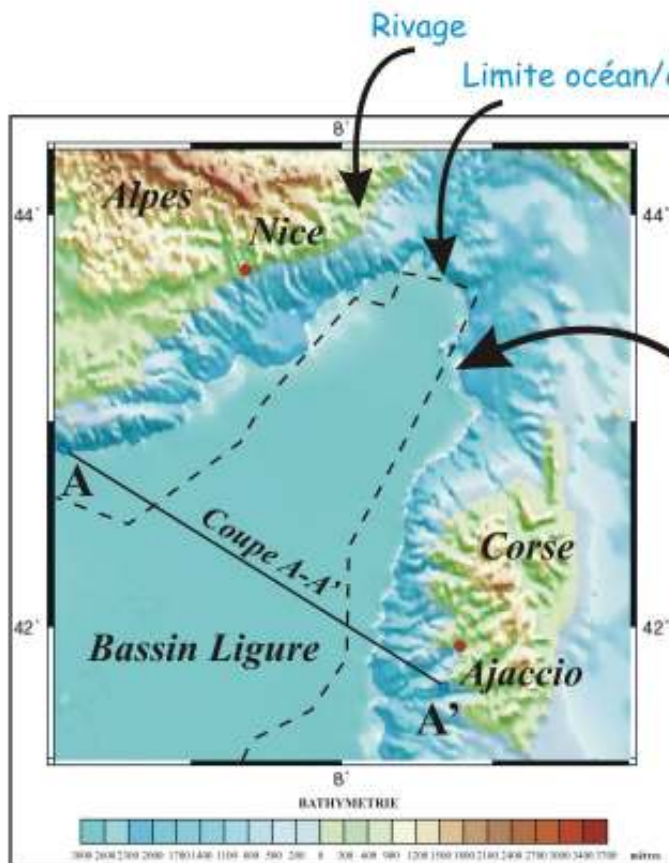
A la frontière géologique océan-continent, l'épaisseur crustale est voisine de 7 km. Cette frontière se situe donc au large, à quelques dizaines ou centaines de kilomètres de la ligne de rivage.

C'est le cas notamment au large de la Côte d'Azur en France.

LE BASSIN LIGURE



Un exemple : le bassin Ligure de Méditerranée

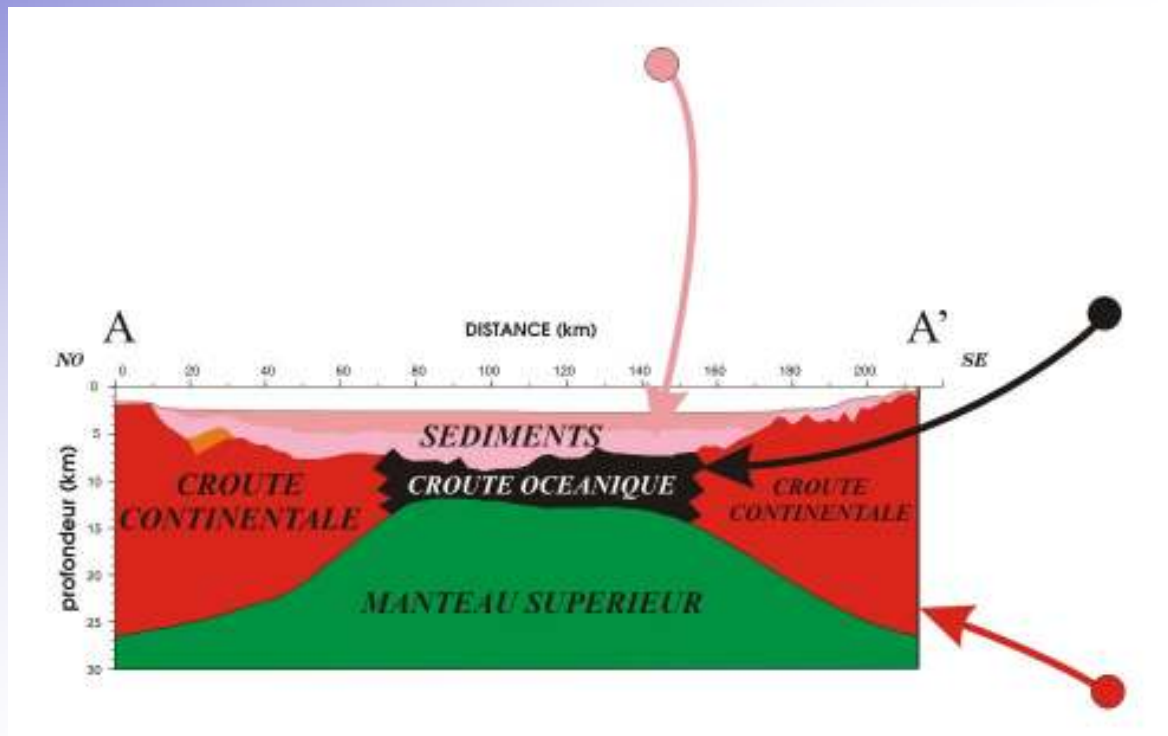


Le bassin Ligure est le nom attribué à la Mer Méditerranée entre la Corse et le continent.

Sur cette carte bathymétrique, la frontière géologique océan-continent (traits pointillés) est enfouie sous les sédiments, à plus de 2600 m de profondeur.

LES TRANSITIONS ENTRE CROUTES

Plusieurs milliers de mètres de sédiments se sont déposés depuis la rupture continentale entre la Corse et le continent (voir les figures au label 5).



Le bassin ligure est localisé là où la croûte est mince.

Le continent et la Corse correspondent à une croûte épaisse.

La coupe géologique A-A' montre la nature et la géométrie de la croûte entre la Provence et la Corse.

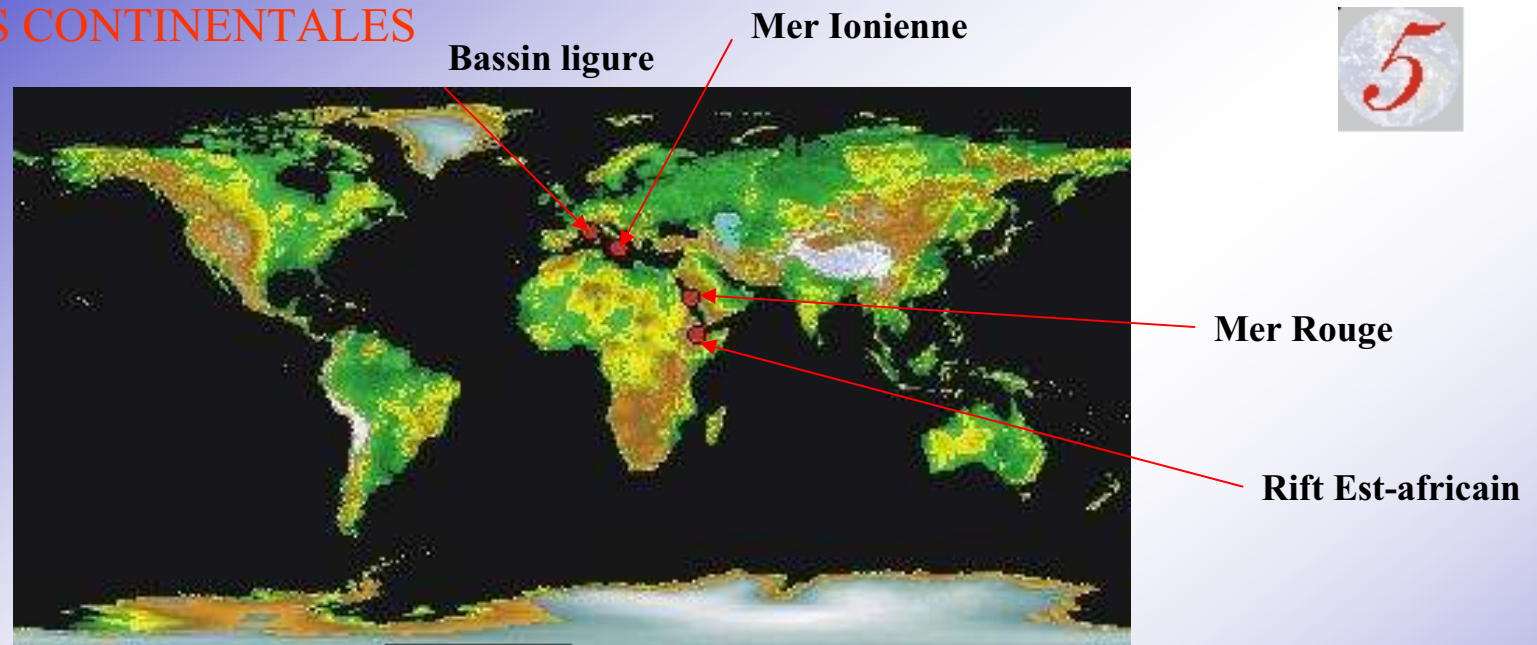
LA BORDURE DES CONTINENTS : MARGES PASSIVES ET MARGES ACTIVES



Dans les zones de divergence, la frontière océan-continent est figée, bordée par une marge continentale passive.

Dans les zones de convergence, cette frontière est mobile, bordée par une marge continentale active.

LES MARGES CONTINENTALES



La frontière géologique océan-continent est située au contact de la croûte océanique et de la croûte continentale. Cette frontière est partout submergée, décalée vers l'océan par rapport à la ligne de rivage.

Deux sortes de frontières océan-continent doivent être distinguées, produites par la divergence des plaques ou par leur convergence.

La première borde les **marges continentales passives**, la seconde les **marges continentales actives**, qui sont les plus dangereuses pour l'homme.



Naissance des océans et formation des marges continentales passives

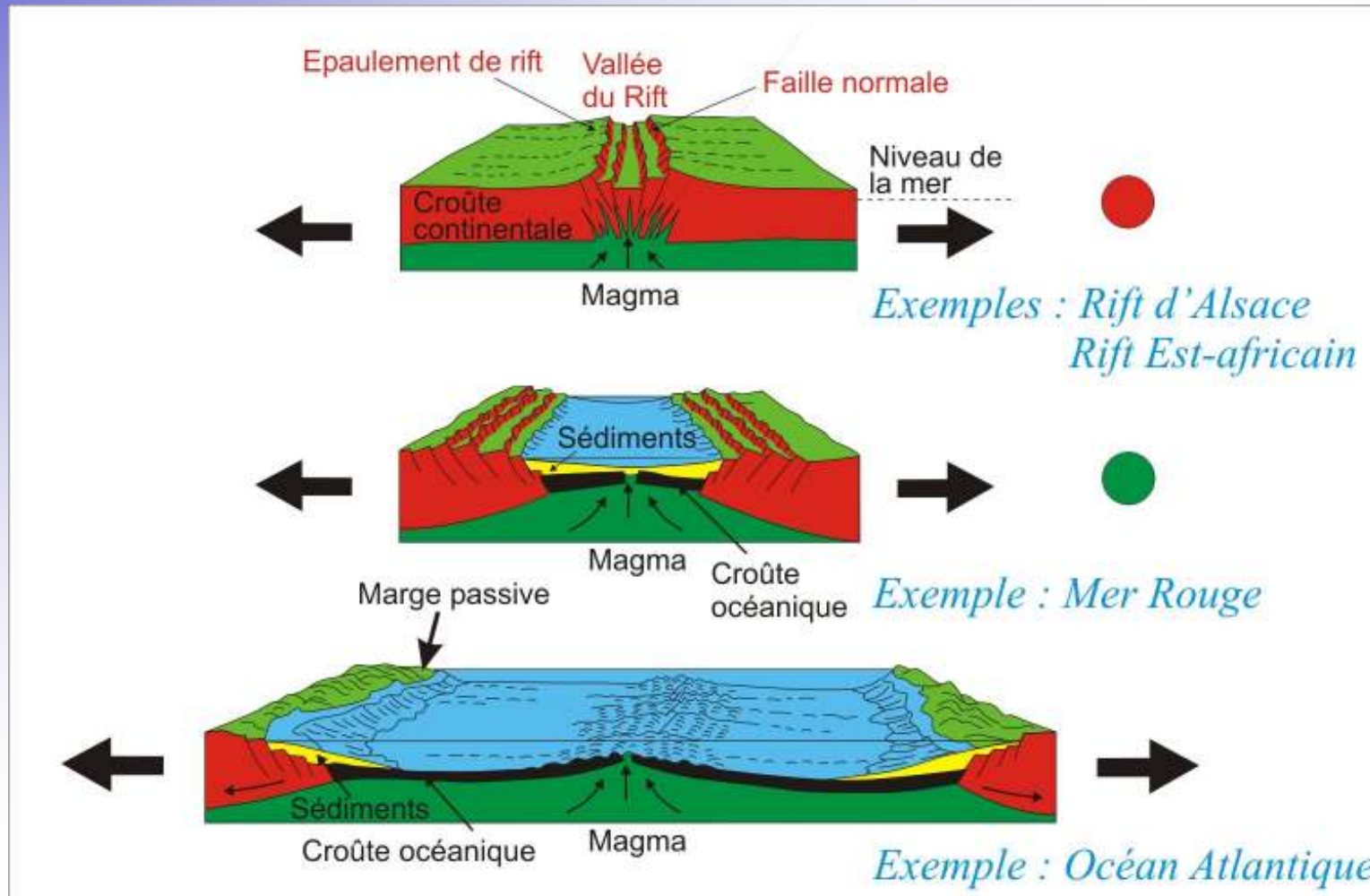
Une déchirure continentale (un rift) précède de plusieurs dizaines de millions d'années la naissance d'un océan. Mais une fois établie après la rupture continentale, la frontière océan-continent est figée. Le continent est alors bordé par une **marge passive**.

L'un des exemples le plus connu de rift continental en activité est celui de la plaine d'Alsace, bordée par les Vosges et la Forêt-Noire.

Un autre, plus évolué, est le rift Est-Africain.

Enfin, la Mer Rouge est un jeune océan (5 millions d'années) tandis que l'Atlantique est un océan ancien (entre 160 et 90 millions d'années selon les secteurs).

DES RIFTS AUX OCEANS



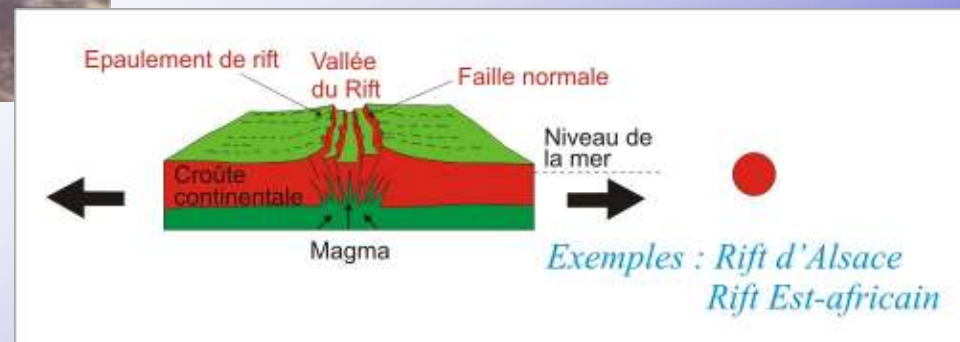
LE RIFT EST-AFRICAIN

Rift Est-africain



Le rift Est-africain est constitué de deux branches. La branche orientale (rift Est), court de la mer Rouge jusqu'au Kenya.

L'**extension** lithosphérique y est très forte et la production de magmas très élevée (nombreux volcans actifs). La photographie ci-contre montre la forme en y de la partie éthiopienne du rift oriental.



LA MER ROUGE



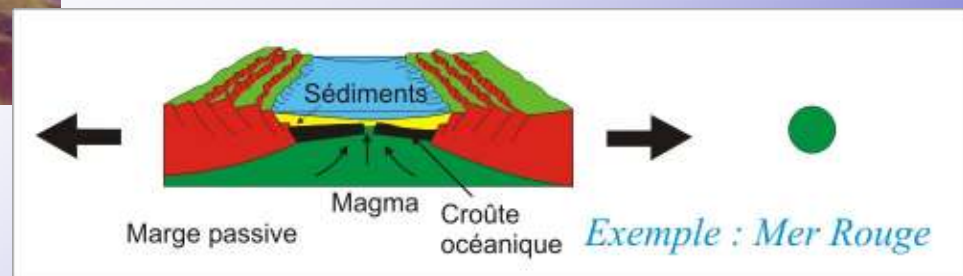
Mer Rouge



La connexion entre la branche orientale du rift Est-africain et la Mer Rouge est le siège d'une importante activité **volcanique** (volcan de l'Erta Ale).

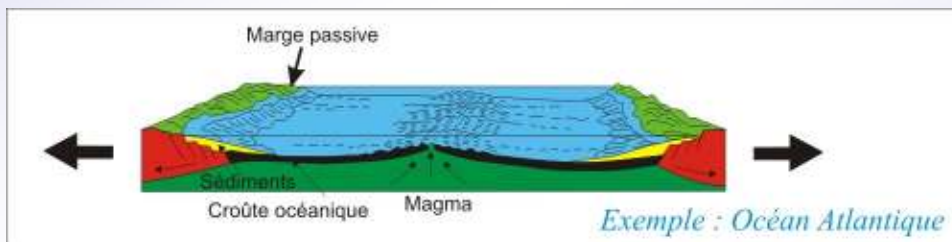
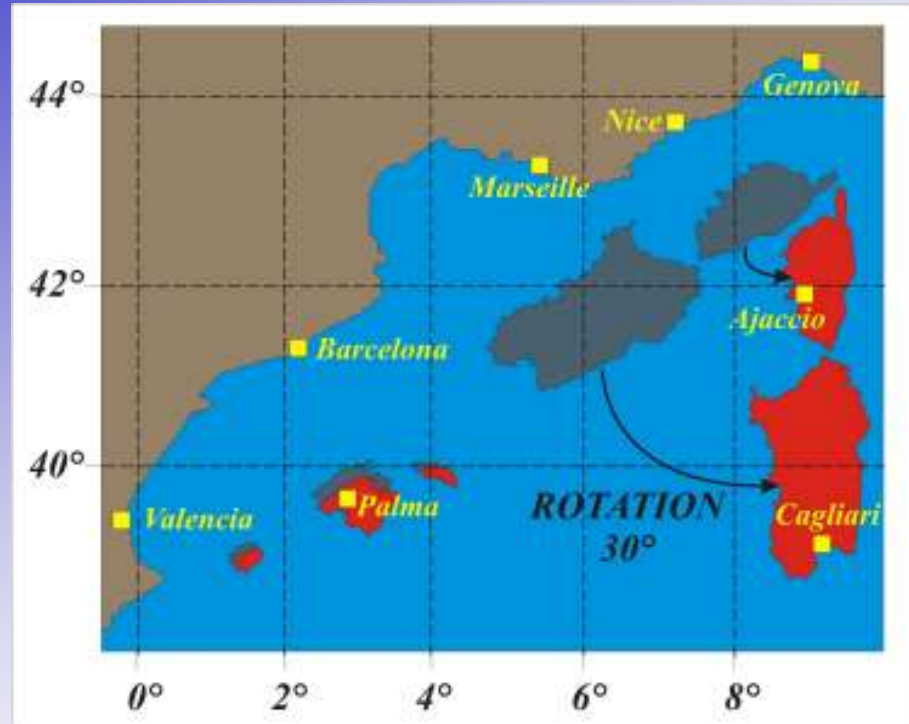
La Mer Rouge est un océan étroit, ouvert entre l'Arabie et l'Afrique.

De la croûte océanique a commencé à se former il y a 5 millions d'années dans sa partie la plus profonde.



LA DERIVE CORSO-SARDE

5



Un exemple :

la dérive corso-sarde et la naissance du bassin Ligure

Il y a 30 millions d'années environ, une **déchirure** est apparue entre le bloc corso-sarde (l'ensemble Corse et Sardaigne) et le reste de l'Europe.

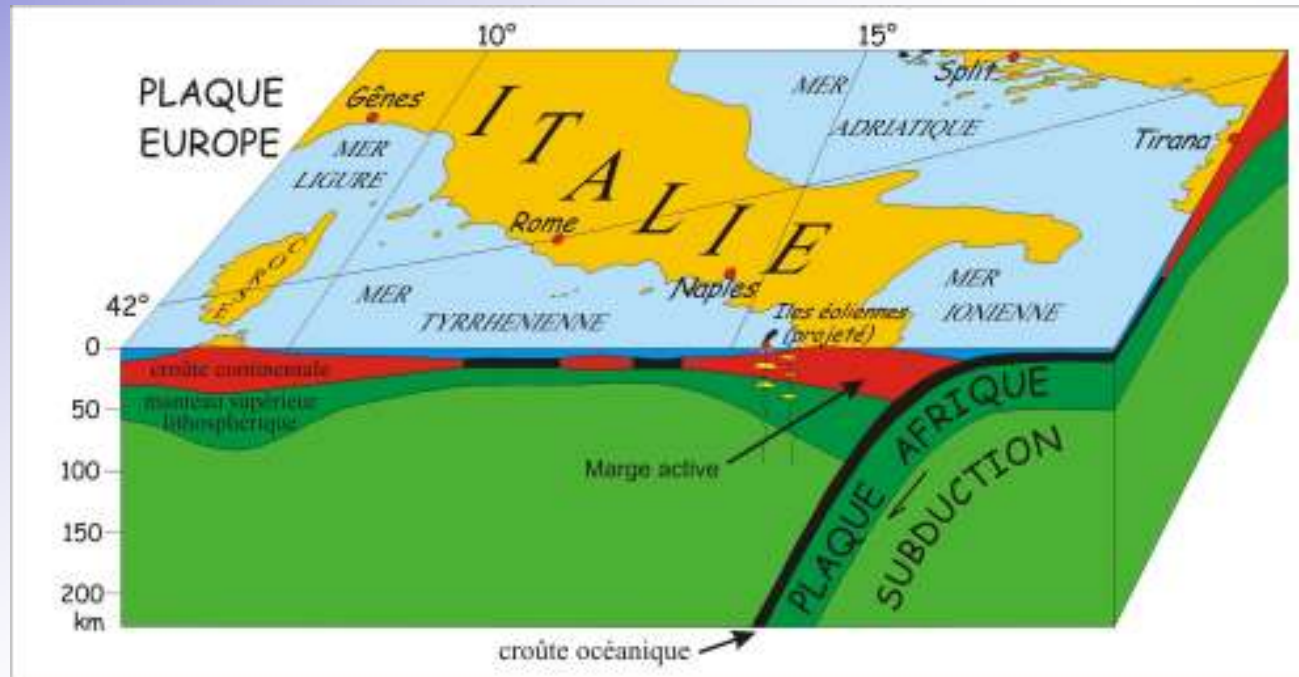
La **rupture continentale** complète s'est produite il y a 20 millions d'années environ et la formation de croûte océanique a alors commencé.

Mais la **dérive** de la Corse et de la Sardaigne s'est arrêtée il y a 17 ou 18 millions d'années de sorte que le bassin Ligure est resté un bassin océanique étroit et allongé.

LES MARGES ACTIVES



Un exemple de marge continentale active :
la zone de convergence Europe-Afrique

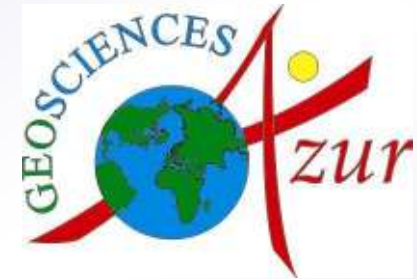


Deux plaques peuvent converger de façon durable si l'une d'entre elle au moins porte de la croûte océanique. En ce cas, celle qui ne porte pas de continent plonge dans l'asthénosphère. C'est le phénomène de la **subduction**. Le continent est alors bordé par une **marge active**.



La subduction de la plaque Afrique sous la plaque Europe a commencé en Méditerranée occidentale il y a 30 millions d'années environ.

De nos jours, la subduction se produit sous l'Italie du Sud. Elle est à l'origine du **volcanisme** des îles éoliennes et de celui complexe du Vésuve et des champs Flégréens par exemple, ainsi que des **tremblements de terre** qui se produisent en Calabre et en Sicile.



Réalisation scientifique

Laurent Olivier (Post-doctorant à Géosciences Azur)

Gilbert Boillot (Professeur Université Pierre et Marie Curie, Paris)

Mise en forme graphique

Véronique Pisot (Infographiste Université de Nice-Sophia Antipolis)

Aide scientifique

Jean Virieux (Professeur Université de Nice-Sophia Antipolis)

CREDITS PHOTOGRAPHIQUES

- Images de Kobe et d'Indonésie : NOAA – site web <http://www.ngdc.noaa.gov/seg/fliers/se-0801.shtml#eqslides>; Cliché du Monts-St-Michel : site web désactivé; Cliché des falaises d'Etretat : site web <http://www.etretat.com>; Cliché de Pillow-lavas : NOAA photo library – site web <http://www.photolib.noaa.gov>; Cliché de Péridotite : ODP.Tamu.edu; Cliché du Mercantour : Olivier Sardou, Géosciences Azur – site web <http://www.photolib.noaa.gov>; Carte du Bassin Ligure : Jacques Déverchère, Géosciences Azur; Clichés du Mont-St Hélens : USGS-Cascades Volcano Observatory – site web <http://www.photolib.noaa.gov>; Carte du Bassin Ligure : Jacques Déverchère, Géosciences Azur; Photos satellites du Rift Est-Africain et de la Mer Rouge : NASA Photo Gallery; Coupe et carte du Bassin Ligure : Nadège Rollet, Géosciences Azur; Carte en relief de la Terre : NOAA – site web <http://www.ngdc.noaa.gov/seg/topo/globe.shtml>; Photo satellite d'Izmit : EURIMAGE – site web fourni par Nicole Béthoux, Géosciences Azur; Clichés de la Cypress Highway : USGS – site web <http://wrgis.wr.usgs.gov>; Cliché du Nord –Chili : Tony Monfret, Géosciences Azur; Cliché d'El-Asnam : fourni par Nicole Béthoux, Géosciences Azur. Clichés de la cypress Highway : USGS – site web <http://wrgis.wr.usgs.gov>; Clichés de Bañardo : Olivier Laurent, Géosciences Azur; Cliché de Santorin : site web <http://www.geo.aau.dk/palstrat/tom>; Gravure de Lisbonne : Earthquake engineering Earthquake Center, University of California, Berkeley – site web <http://www.eerc.berkeley.edu/kozak>; Clichés de tsunami à Hawaï : NOAA – site web <http://www.ngdc.noaa.gov/seg/fliers/se-0801.shtml#eqslides>. Schéma GPS, cliché d'un GPS et carte de Californie du Sud : Eric Calais, Géosciences Azur; Données GPS (station WIDC) : Southern California Intergrating GPS Network – site web <http://www-social.wr.usgs.gov/scign/Analysis>; Cliché de Nouvelle-Zélande : I.G.N.S. – Nouvelle Zélande; Cliché du Mont Huesti : Olivier Laurent, Géosciences Azur; Cliché du Canada : Commission Géologique du Canada – site web http://sts.gsc.rucan.ca/tsdsvr/landf_new.asp; Carte d'Alexandrie : Fondation HILTI – site web <http://www.hilti.com/foundation/images/961.jpg>; Catres de L'Europe et des Alpes : Eric Calais, Géosciences Azur; Carte des séismes en PACA : Laboratoire de Géodynamique (LDG); Schéma structural des Alpes-Maritimes : Christophe Larroque, Géosciences Azur; Cliché des concrétions : Eric Gilli, Centre d'Etudes du Karst; Clichés de Diano Marina et Menton : André Laurenti; Cliché des capteurs sismique : Jean Virieux, Géosciences Azur; Cliché d'un OBS : Jacques Deverchère, Géosciences Azur; Carte de localisation des stations : Christophe Larroque, Géosciences Azur; Sismogrammes et accélérogrammes : Françoise Courboux, Géosciences Azur; Clichés de Données marégraphiques : The Global Sea Level Observing System – Site web <http://www.pol.ac.uk/psmsl/gloss.info.html>; Données Topex-Poseidon : CNES – site web http://sirius-ci.cst.cnes.fr:8090/HTML/information/frames/news/image_du_moisfr.html; Données de température : Climatic Research Unit – site web <http://www.cru.uea.ac.uk/~mikeh/research/wwfscenarios.html>; Données de gaz carbonique : Carbon Dioxide Information Analyse Center – site web <http://www.cdiac.esd.ornl.gov/trends/co2/contents.htm>; Gravure du Glacier d'Argentière : fourni par Olivia Lesne, Géosciences Azur; Cliché du glacier d'Argentières : Madame Fiagro, N°17113, 21/08/1999 – Clichés des puits de pétrole du Koweït : Pentagon – site web <http://web.patcafe.b.net/Pentagon/1012/leaf9.html>; Image satellite d'Utique : NASA Photo Gallery; Cliché de la digue d'Asfsluitdijk : site web <http://www.drf.nl/images/diversen>; Clichés de Biarritz et de la plage de Nice : Andrée Dagome, laboratoire ESPACE; Cliché de la côte des Basques : site web désactivé; Cliché de la Falaise Aval : site web <http://www.earthshots.com>; Clichés des îles barrières : USGS – site web <http://www.cru.uea.ac.uk/~mikeh/research/wwfscenarios.html>; Cliché de Tuvalu : site web <http://members.xoom.com/XMCM/tuvaluonline/ww2-index.htm>; Cliché de la Grande Motte : Andrée Dagorne, laboratoire ESPACE; Cartes du champ d'inondation de la Siagne et du PPR de la commune de Mandelieu : fournis par Andrée Dagorne, laboratoire ESPACE.