

# La tectonique des plaques de 1970 à 2011 : qu'est ce qui a changé dans le modèle et n'a pas (assez) changé dans sa transmission depuis l'époque des pères fondateurs ?

09/06/2011

Auteur(s) :

Pierre Thomas

Laboratoire de Géologie de Lyon / ENS Lyon

Publié par :

Olivier Dequincey

Résumé

*Tectonique des plaques : évolution du modèle plus rapide que son enseignement.*

## Table des matières

- [Ce qui a été confirmé et ce qui a changé dans le modèle de la tectonique des plaques depuis l'époque des pères fondateurs](#)
  - [Les confirmations](#)
  - [Les modifications](#)
    - [Les modalités de la convection](#)
    - [Le « rôle » des dorsales et du magmatisme](#)
    - [Les différents types de dorsales](#)
    - [Les modalités d'ouverture d'un océan](#)
    - [La profondeur des subductions](#)
    - [Le caractère « indéformable » des plaques](#)
    - [Le caractère « insubductable » de la croûte continentale](#)
- [Ce qui aurait dû changer dans la transmission du modèle de la tectonique des plaques depuis l'époque des pères fondateurs](#)
  - [Schémas à ne plus propager](#)
  - [Phrases, lieux communs et expressions toutes faites à ne plus propager](#)

*Cet article fait partie de la série de 4 articles écrits par Vincent Deparis et/ou Pierre Thomas et consacrés à l'histoire de la tectonique des plaques : [La dérive des continents de Wegener](#), [La découverte de la convection mantellique](#), [Histoire de la théorie de la tectonique des plaques](#) et [La tectonique des plaques de 1970 à 2011](#).*

Le modèle de la tectonique des plaques a été élaboré entre 1960 et 1967-68. Les articles fondateurs datent de 1962, 1968, 1969 et 1970. En 1970, le modèle était au point et la communauté scientifique commençait à prendre conscience de sa richesse comme de ses implications dans toutes les sciences de la Terre. Cet historique est relaté dans Histoire de la théorie de la tectonique des plaques.

Mais en sciences, tout change, et aucun modèle, aucune théorie n'est figée pour l'éternité. Il y a toujours des confirmations postérieures, mais aussi des perfectionnements, des modifications à la marge, voire des remises en cause partielles ou totales. Qu'en a-t-il été de la tectonique des plaques pendant ses 41 ans d'existence ?

De plus, quand une théorie nouvelle remet en cause le passé, sa transmission est difficile, justement parce qu'elle change de façon majeure les habitudes intellectuelles. Il y a donc, provisoirement, nécessité de simplifier, de schématiser... pour rendre compréhensible et acceptable ce changement de paradigme. Mais, une fois que la théorie nouvelle a été acceptée par le public, il est hautement souhaitable d'aller plus loin que les nécessaires schématisations du début, et il faut intégrer les changements concernant la théorie qui continuent d'évoluer. Comment a, ou n'a pas, évolué la transmission de la tectonique des plaques, que ce soit auprès du grand public ou dans les milieux scolaire et universitaire ?

## Ce qui a été confirmé et ce qui a changé dans le modèle de la tectonique des plaques depuis l'époque des pères fondateurs

### Les confirmations

Il n'y a eu, somme toute, que peu de changements majeurs dans le modèle de la tectonique des plaques. Il y a eu par contre des confirmations éclatantes. Citons en trois.

Les forages en mer profonde, qui commencèrent en août 1968 avec le Glomar Challenger, confirmèrent les âges de plus en plus anciens des fonds océaniques en s'éloignant de part et d'autres des dorsales.

Les plongées et les observations *in situ* au fond des océans ont confirmé dès 1974 la réalité de l'ouverture océanique ([opération F.A.M.O.U.S en 1974](#)), et dès 1985 la réalité de la subduction ([opération Kaiko](#)). Chaque nouvelle campagne confirme et précise la pertinence du modèle.

Les [mesures précises de bathymétrie et de flux thermique](#) de part et d'autres de la dorsales... confirmèrent magnifiquement la réalité du modèle de convection mantellique.

Les mouvements des plaques déterminés par les mesures de positionnement satellitaires, type GPS, ont montré que les vitesses et directions actuelles, mesures "instantanées", sont comparables à ce qu'on déduisait des études magnétiques, valeurs "moyennes".

### Les modifications

Si le modèle a été amplement confirmé et reste très valable dans ces grandes lignes, il a quand même (heureusement) été modifié à la marge, ou même assez profondément (mais sans le remettre en cause). À titre d'exemple, on peut citer sept modifications.

#### Les modalités de la convection

Le moteur du mouvement des lithosphères n'était pas très clair en 1970. Certes, on savait que c'était la convection mantellique, mais où agissaient les forces faisant bouger la lithosphère ? Trois modalités, non incompatibles, étaient proposées : une poussée au niveau des dorsales (*ridge push*), une traction des zones de subduction (*slab pull*), ou un entraînement de la lithosphère par des mouvements asthénosphériques sous-jacents. De très nombreux arguments montrent aujourd'hui que la lithosphère n'est pas entraînée par des mouvements asthénosphériques sous-jacents. La lithosphère, partie supérieure et couche limite thermique de la convection est le propre moteur de son mouvement. Et [c'est surtout le poids des lithosphères âgées plongeant dans l'asthénosphère qui est la cause du mouvement des plaques](#).

#### Le « rôle » des dorsales et du magmatisme

La tectonique des plaques version 1970 avait tendance à surestimer la place et le « rôle » des dorsales par rapport à ce qu'on pense actuellement : les dorsales sont majoritairement passives, et ne font que « compenser » la subduction. La tomographie sismique montre qu'elles ne s'enracinent pas profondément dans le manteau. De même, la tectonique des plaques version 1970 avait tendance à surestimer la place et le « rôle » du magmatisme dans le fonctionnement des dorsales. Le magmatisme résulte de la fusion partielle du manteau qui remonte sous une dorsale et est la conséquence du fonctionnement des dorsales, et non sa cause. La découverte de dorsales fonctionnant sans magmatisme et de fonds océaniques sans croûte (où le fond péridotitique est à nu sous l'eau ou sous les sédiments) a renforcé ce point de vue « moderne ».

#### Les différents types de dorsales

En 1970, on présentait un seul type de dorsale, avec un rift médian, et créant partout une croûte basalto-gabbroïque de 5 à 10 km d'épaisseur. On sait maintenant que seules les dorsales lentes ont un rift central, mais que la croûte qu'elle génère a une épaisseur variable (0 à 5 km), et qu'elle est même souvent inexistante, avec le manteau (serpentinisé) à nu sous l'eau et les sédiments. Les dorsales rapides, avec un magmatisme important et qui génèrent une croûte épaisse (5 à 10 km) n'ont pas de rift central. On a même compris la cause de cette « erreur de jeunesse ». La sismique révèle partout une zone de 5 à 10 km d'épaisseur dans laquelle les vitesses sismiques sont « crustales », même sous les dorsales lentes qui ne font pas de croûte. C'est parce que la vitesse des ondes sismiques est approximativement la même dans basaltes, gabbros et serpentines. Ce que révèle la sismique, c'est soit le moho « pétrologique » (limite gabbro/peridotite), soit la limite basale de la péridotite serpentinisée.

### Les modalités d'ouverture d'un océan

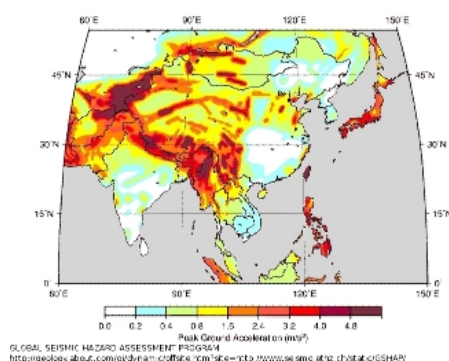
Le seul océan en train de s'ouvrir actuellement est le système Mer Rouge / Golfe d'Aden, et dans une moindre mesure le Grand Rift Africain (océan en cours d'ouverture, mais non encore ouvert). Ces zones en extension sont bordées d'épaulements surélevés, et riches en volcanisme (les plateaux Est-africain et d'Arabie-Yémen). Cet exemple a été généralisé, trop généralisé. On a découvert que cette situation n'était qu'une possibilité. L'ouverture d'un océan peut aussi se faire sans relèvement des bords et quasiment sans volcanisme sur ces marges. L'ouverture de l'Atlantique au Crétacé supérieur, en Aquitaine/Poitou-Charente/Bretagne s'est faite sans que ces régions bordières du rift ne soit surélevées. Il n'y a pas de volcans du Crétacé supérieur à La Rochelle, qui d'ailleurs était recouvert d'une mer épicontinentale à cette époque.

### La profondeur des subductions

On sait depuis Wadachi (Wadati) que les séismes des zones de subduction ne dépassent jamais 700 km de profondeur. Pendant les premières années de la tectonique des plaques, on pensait que la lithosphère plongeante ne dépassait pas cette profondeur, soit en « disparaissant », c'est-à-dire en acquérant une température égale à celle de l'asthénosphère environnante, soit en glissant horizontalement à la surface de la discontinuité à 660 km. La tomographie sismique, qui n'existait pas en 1970, a montré que les lithosphères océaniques plongeantes franchissent souvent la limite des 670 km et peuvent atteindre la limite manteau-noyau.

### Le caractère « indéformable » des plaques

En 1968, les plaques étaient, par définition, indéformables, sauf sur d'étroites bandes situées à leurs frontières. On s'est aperçu, depuis, que les zones de déformations et de tremblements de terre pouvaient être très larges et déborder largement la simple notion de « frontière de plaque », en particulier au voisinage des zones de collision. La Chine, le pays qui a eu au cours de l'histoire le plus grand nombre de morts à cause de séismes (plus que le Japon) est le plus spectaculaire exemple montrant que les déformations ne se cantonnent pas, parfois, aux seules limites de plaques.



Source - © 1998 [Global Seismic Hazard Assessment Program](#)

### Figure 1. [La sismicité en Asie.](#)

Carte établie d'après les reconstitutions, données et enregistrements de l'an -7670 à 1997.

Pékin (Beijing, localisation approximative), qui n'est pas situé sur une limite de plaque, a été détruit en 1679 par un séisme de magnitude (estimée) 8,0.

### Le caractère « insubductible » de la croûte continentale

Bien que moins dense que le manteau, on sait désormais que de la croûte continentale peut être entraînée en subduction. En effet, on connaît des fragments de croûte continentale dont le métamorphisme indique un enfouissement dans le manteau avant remontée (puisqu'on les observe à l'affleurement). Citons [les quartzites à coesite du massif de la Dora Maira](#) qui indiquent que la roche sédimentaire (donc de surface) a été enfouie jusqu'à 100 km de profondeur. Certaines roches diamantifères sont interprétées comme résultant de l'enfouissement de croûte continentale à plus de 120 km ([4 GPa, diamants du Dabie Shan - Chine](#)), voire à 130-170 km ([4,5 À 6 GPa, diamants du massif du Kokchetav - Azerbaïdjan](#)).

## Ce qui aurait dû changer dans la transmission du modèle de la tectonique des plaques depuis l'époque des pères fondateurs

À partir de 1970, quelques géologues, minoritaires, ont dû faire accepter le modèle de la tectonique des plaques à une communauté géologique réticente. Les pères de la tectonique des plaques n'étaient pas des géologues *sensu stricto*; ils ne s'occupaient ni de roches, ni de fossiles, ni de montagnes... Ils s'occupaient de convection, d'océan, de magnétisme... Les rares géologues *sensu stricto* diffusant le nouveau modèle de la tectonique des plaques n'étaient pas spécialistes de ce dont ils devaient convaincre leurs collègues géologues, les scientifiques généralistes, le grand public... Alors, la tectonique des plaques a été présentée de manière simplifiée, de façon imagée, avec de plus les imperfections inhérentes à toutes sciences débutantes. Cette situation est parfaitement normale, et heureusement que ces quelques géologues minoritaires en 1970 ont fait ce travail. Le problème, c'est que 40 ans plus tard, beaucoup en sont restés à ces simplifications et images du début, aussi bien dans le domaine de la vulgarisation auprès du grand public, que dans le domaine de l'enseignement, que ce soit au niveau collège, lycée et même université.

Que l'on regarde des revues, des livres de classes (même (très) récents), des émissions de télévision, le web..., on trouve force schémas et forces « phrases toutes faites et autres lieux communs » directement hérités des années 1970, comme fossilisés, momifiés, comme si en 40 ans les sciences de la Terre s'étaient arrêtées. Nous allons commenter deux schémas et trois « expressions toutes faites » encore couramment utilisés en 2011, parfaitement justifiées en 1970, mais qu'il faut impérativement éviter d'utiliser si on ne veut pas induire lecteurs, téléspectateurs, élèves, étudiants... en erreur.

### Schémas à ne plus propager

Les deux schémas sélectionnés ont été glanés sur le web (leurs légendes ont été légèrement modifiées ici). Depuis leur origine, ces schémas ont été tellement empruntés, copiés, redessinés... qu'il est devenu impossible d'en trouver la source originale. Que leurs auteurs initiaux m'excusent de passer ces schémas à la « moulinette 2011 » alors qu'ils étaient légitimes et bienvenus à l'époque héroïque de la naissance de la tectonique des plaques.

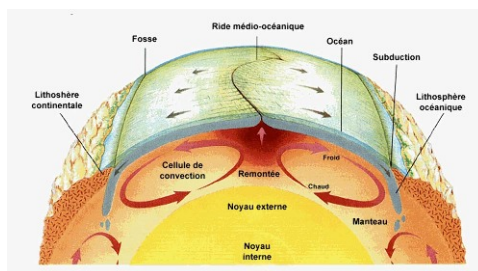


Figure 2. [Schéma représentant le fonctionnement du globe dans le modèle de la tectonique des plaques, version 1970.](#)

Ce schéma, parfaitement légitime dans les années 1970, est l'exemple typique de ce qu'il est très maladroit de montrer en 2011, car il contient, implicitement ou explicitement, des maladresses ou des erreurs, bien connues en 2011. Une comparaison avec un [modèle de convection mantellique simplifié actuel](#) (fig. 9 de l'article [La convection mantellique, moteur de la tectonique des plaques](#)) est riche d'enseignements.

On peut faire au moins 8 "remarques" ou "reproches" à ce premier schéma.

1. Le manteau est figuré en rouge (alors que la péridotite est une roche verte). Bien sûr, une roche à une température de plus de 1300°C est rouge, mais pour un élève, le rouge signifie magma, c'est-à-dire liquide. La grosse tache rouge sous la dorsale suggère une énorme poche de magma de quasiment 2000 km de diamètre. Or, bien que l'on sache depuis le début du XX<sup>ème</sup> siècle que la Terre est globalement solide, un « centre de la Terre » en lave est inscrit dans l'inconscient collectif. Tout doit être fait pour combattre cette idée fausse.
2. La dorsale est située au centre du schéma, ce qui, implicitement, lui donne un « rôle » majeur, qu'elle n'a pas.
3. La remontée du manteau sous la dorsale part du noyau ; on sait maintenant que la remontée sous les dorsales ne s'enracine absolument pas et n'est qu'un phénomène superficiel.
4. La convection mantellique est dessinée par des flèches, assez longues. Le mouvement de la lithosphère est lui dessiné par des flèches bien plus courtes. Implicitement, ce schéma suggère que les mouvements asthénosphériques sont plus rapides que les mouvements lithosphériques, et donc que l'asthénosphère entraîne la lithosphère. On sait maintenant que c'est faux !
5. Deux zones de subduction sont représentées, toutes deux sous un continent. Cela suggère au moins implicitement qu'une subduction, c'est la plongée d'un océan sous un continent, ce qui bien sûr est inexact : il y a des subductions intra-océaniques.
6. Une « fissure » est représentée tout le long, au centre de la dorsale, suggérant l'existence d'un rift. Seules les dorsales lentes sont pourvues d'un rift. Les dorsales rapides, celles qui comptent dans le bilan thermique de la Terre, n'en ont pas.
7. La dorsale est appelée « médio-océanique ». Ce n'est pas le cas général, bien que ce soit le cas de « notre » océan (l'Atlantique). Les dorsales pacifiques ne sont absolument pas « médio ».
8. Enfin, sauf à quelques kilomètres de part et d'autre de la dorsale, la lithosphère a une épaisseur constante. C'est bien sûr faux.

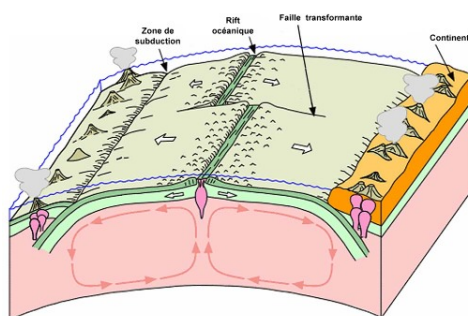


Figure 3. Schéma, un peu plus "scientifique", du fonctionnement du globe dans le modèle de la tectonique des plaques.

Ce schéma est plus « scientifique » et moins « grand public » que le précédent car il introduit des notions nouvelles (croûte océanique, faille transformante). Il introduit aussi la notion de subduction intra océanique. Mais des "erreurs" persistent.

Le schéma ci-dessus introduit des notions supplémentaires par rapport au premier schéma passé en revue : croûte océanique, faille transformante et subduction intra-océanique. Mais on retrouve les mêmes « erreurs » que le schéma précédent : dorsale au centre du schéma, présence systématique d'un rift dont le nom remplace d'ailleurs celui de dorsale, grande profondeur de l'origine de la convection mantellique sous les dorsales, mouvement asthénosphériques semblant entraîner les mouvement des plaques, lithosphère d'épaisseur constante... De plus, ce schéma introduit une nouvelle « erreur potentielle » par rapport au schéma précédent : il représente des espèces de « champignons » d'une couleur rose bonbon sous les volcans de subduction et sous la dorsale. Un élève, face à cela, ne pourra pas ne pas interpréter ces « champignons » roses comme des poches, des réservoirs magmatiques. Or il n'y a pas de réservoirs magmatiques là où ces poches sont dessinées, en particulier à l'aplomb des dorsales.

La figure suivante montre un agrandissement non modifié de ce schéma au niveau de la dorsale, et propose un schéma « corrigé » selon les conceptions 2011.

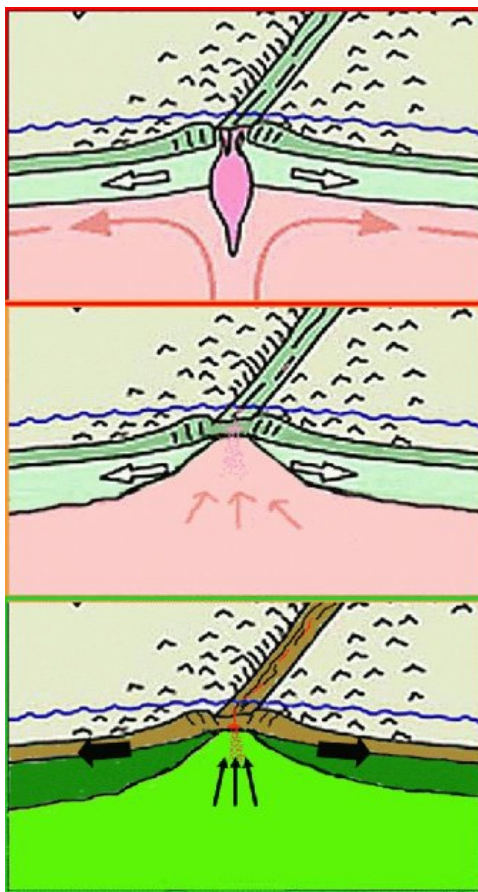


Figure 4. Représentations 1970 (en haut) et 2011 (en bas) d'une dorsale océanique.

La figure du haut n'est qu'un agrandissement du schéma précédent.

La figure du milieu propose une correction locale du schéma conformément au modèle 2011, en gardant le même code de couleur. On peut interpréter le code de couleur de la façon suivante : vert foncé = croûte océanique, vert clair = manteau lithosphérique, rose clair = asthénosphère, et rose « bonbon anglais » = magma.

La figure du bas propose des couleurs plus "réalistes" : brun = croûte océanique, vert foncé = manteau lithosphérique, vert clair = asthénosphère, et rouge = magma. Les pointillés rouges sous la dorsale indiquent la zone de fusion partielle intra-asthénosphérique. Le réservoir magmatique, intra-crustal, est représenté sous forme d'une mini lentille rouge.

Le schéma initial (figure du haut) suggère une lithosphère d'épaisseur constante, entraînée par les mouvements de l'asthénosphère. Il suggère aussi la présence d'un gros réservoir magmatique intra-mantellique.

La figure du bas reprend ce même schéma, mais en « corrige » les « simplifications / approximations / inexactitudes » des années 1970 et représente le modèle 2011.

Trois différences majeures sautent aux yeux. (1) Il n'y a pas de courant asthénosphérique entraînant la lithosphère, mais seulement une remontée locale de l'asthénosphère sous la dorsale, pour « combler le vide » laissé par l'écartement des lithosphère. (2) Si la croûte océanique basalto-gabbroïque a bien une épaisseur constante (qu'elle n'a peut-être pas puisqu'il s'agit d'une dorsale à rift, donc lente), il n'en est pas de même du manteau lithosphérique (= manteau refroidi), absent juste à l'aplomb de la dorsale et qui s'épaissit de part et d'autre de cette dorsale. (3) Le magma basaltique, figuré en « rose bonbon » est extrêmement limité en volume. Il forme une « lentille » intra-crustale (le réservoir qui, en cristallisant, va donner la couche de gabbro), près de la base de la croûte au niveau de l'axe de la dorsale. Cette petite lentille alimente les éruptions sous-marines et les coulées de pillows par des filons, et est alimentée par le bas, également par des filons ou par la migration inter-granulaire du magma basaltique qui remonte entre les cristaux de la péridotite mantellique. Ce magma provient d'une zone de fusion très partielle du manteau ( $\leq 25\%$ ), zone représentée par des petits points couleur rose bonbon au sein de l'asthénosphère rose pale.

### Phrases, lieux communs et expressions toutes faites à ne plus propager

À côté de ce genre de schémas qui induisent (voire enduisent) l'élève en erreur, il y a des phrases et expressions  
<https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/tectonique-plaques-1970-2011.xml> - Version du 07/04/21

toutes faites qui font de même et que chaque transmetteur de connaissance (journaliste, vulgarisateur, enseignant...) devrait éviter comme la peste. Citons en trois.

L'image du **tapis roulant**, dans des phrases du genre « *la tectonique des plaques, l'expansion océanique, c'est comme un tapis roulant* ». Il s'agit d'une très mauvaise image, car un tapis roulant est mis en mouvement par des roues dentées ou engrenages situés sous lui. Or la lithosphère n'est pas mise en mouvement par ce qu'il y a sous elle, mais par son propre poids qui la fait plonger au niveau des zones de subduction.

La phrase du genre « **comme il y a expansion des fonds océaniques, et comme la Terre n'augmente pas de volume, il faut bien que la lithosphère océanique disparaisse quelque part, au niveau des subductions** » est à proscrire. Ce genre de phrase a une origine historique. Les anomalies magnétiques ont apporté la preuve formelle d'une expansion des fonds océaniques, qu'on pouvait quantifier (on pouvait en mesurer direction, sens et vitesse). La preuve et surtout la quantification du mouvement dans les zones de subduction étaient beaucoup plus délicates à établir en 1970 (peu de mécanismes au foyer, pas de tomographie, pas de mesures GPS...). Un des deux mouvements (les dorsales) était démontré, quantifié, indiscutable. L'autre (les subductions) était moins bien démontré, non quantifié, donc plus discutable. Pour convaincre une communauté scientifique réticente, les pères de la tectonique des plaques ont donc proposé ce raisonnement intellectuel : « **comme il y a expansion des fonds océaniques, et comme la Terre n'augmente pas de volume, il faut bien que la lithosphère océanique disparaisse quelque part, au niveau des subductions** ». Mais il ne s'agissait que d'un raisonnement intellectuel, d'une démonstration, et non pas d'une relation de cause à effet. Et souvent, ce raisonnement, a été transformé en relation causale, comme si l'expansion océanique causait la subduction, comme si les dorsales « poussaient », ce qui est faux. Si les techniques des mécanismes au foyer et de la tomographie sismique avaient précédé la découverte des anomalies magnétiques et des forages en mer, on aurait démontré la réalité de la subduction avant l'expansion au niveau des dorsales, et on aurait dit : « **comme il y a disparition des fonds océaniques au niveau des fosses et zones de subduction, et comme la Terre ne diminue pas de volume, il faut bien que la lithosphère océanique se fabrique quelque part, au niveau des dorsales** ». Et dans ce cas, le raisonnement intellectuel aurait été plus proche de la réalité causale, puisque ce sont les subductions qui mettent la lithosphère en mouvement et sont donc responsables de l'existence des dorsales.

La phrase du type « **quand il y a convergence et rapprochement entre des croûtes océanique et continentale, c'est la croûte océanique, plus dense, qui subducte** » est fautive pour plusieurs raisons. D'abord cette phrase parle de croûte, alors que ce qui subducte, ce n'est pas une croûte seule, mais une lithosphère. Ensuite, cette phrase sous-entend un rapprochement dont la cause est à rechercher au loin (sous-entendu, les dorsales qui « poussent », ce qu'elles ne font pas). Enfin, dans le cas général, une lithosphère océanique subducte parce que, vieillie, elle est devenue plus dense que l'asthénosphère sous-jacente. Une lithosphère océanique âgée « coule » sous son propre poids. Ce qui compte quand un objet coule, c'est la densité de ce qu'il y a dessous, pas de ce qu'il y a à côté ! Quand un bateau coule (subducte) près d'un quai de port, ce n'est pas parce qu'il est plus dense que le quai, c'est parce qu'il est plus dense que l'eau !