

Quelques aspects de la convergence Inde-Eurasie (d'après Agro-Véto 2016)

- 1) Une plaque lithosphérique est une partie rigide superficielle de la Terre constituée de la croûte et du manteau lithosphérique (au-dessus de la LVZ – 1300 °C), aux limites de laquelle se localise la déformation : elle est donc entourée de séismes. Sa rigidité fait que tous les points d'une même plaque sont censés montrer le même vecteur vitesse (cf doc 4).

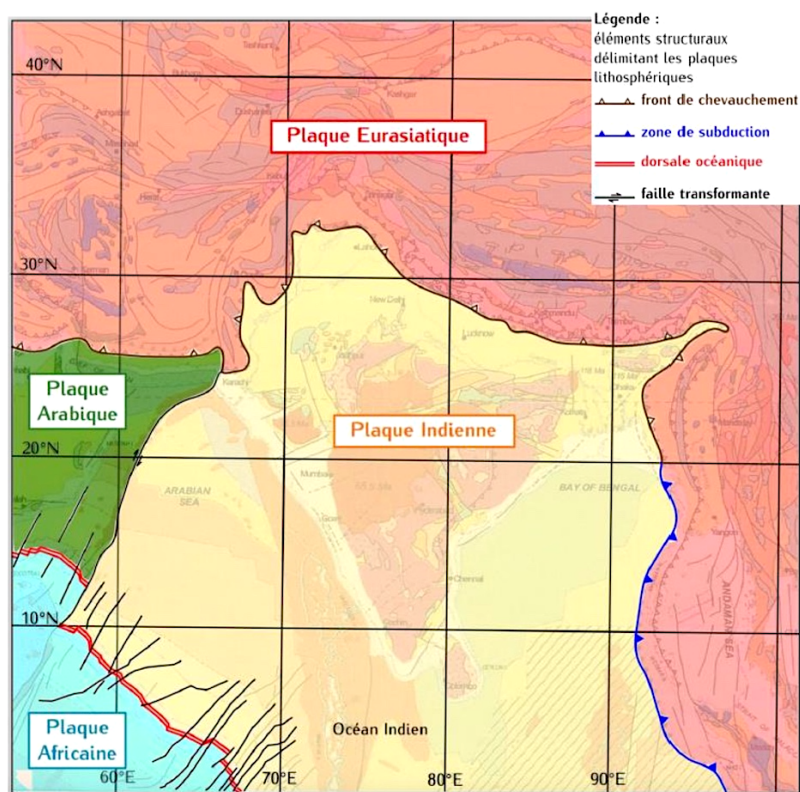


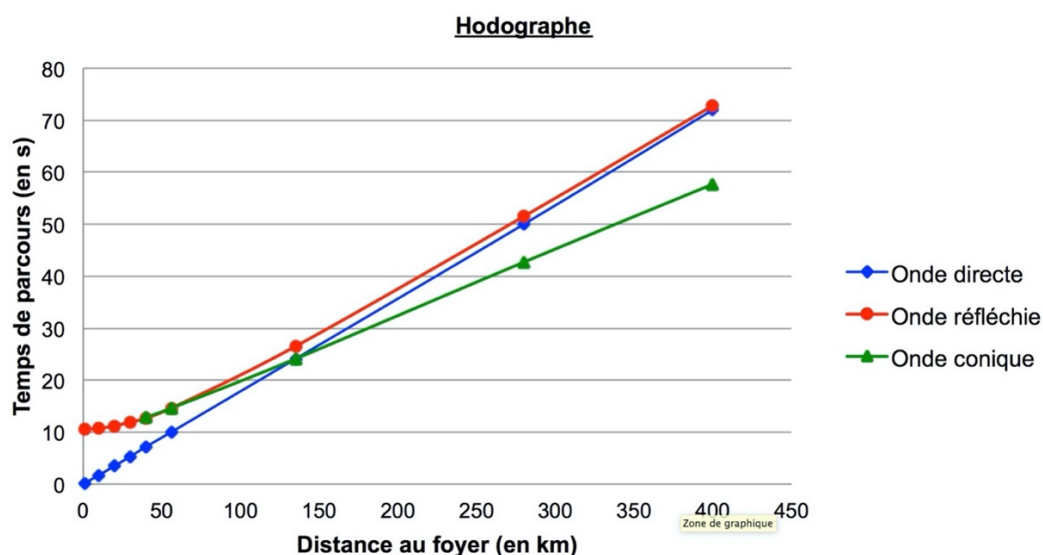
Schéma structural (centré sur l'Inde)

- 2) Les principaux traits structuraux de la chaîne himalayenne sont : la présence d'une zone de suture ophiolitique témoignant de l'existence d'un ancien océan refermé par subduction/ obduction, la présence de nombreux plis et chevauchements à vergence sud, la présence d'un bassin flexural périphérique (sub-Himalaya) lui-même déformé, et un épaissement crustal vers le Nord (racine crustale).
- 3) Du Nord au Sud, les chevauchements sont de plus en plus jeunes. La chaîne s'est édifiée en différentes séquences du Nord vers le Sud, formant ainsi un prisme d'échelle crustale.
- 4) Le profil de tomographie sismique montre une anomalie positive de vitesse correspondant à un matériau rigide/dense en profondeur sous la chaîne, donc un panneau plongeant de lithosphère froide. De plus, de nombreux séismes dessinent un plan de Wadati-Benioff confirmant l'existence d'une subduction sous l'Himalaya. Le moteur de l'édification de la chaîne est donc probablement la traction de ce panneau plongeant (*slab pull*).
- 5) On distingue 3 familles de vecteurs :
- en INDE, orientés vers le NNE (30° N) avec une norme de 50 mm/an environ
 - dans le TARIM, de même direction mais avec une norme de 10 mm/an
 - au TIBET les vecteurs s'orientent davantage vers l'Ouest (environ 70° N) et leur norme est de l'ordre de 30 mm/an

- 6) La diminution de la norme des vecteurs GPS en s'éloignant de l'Inde indique que le déplacement horizontal du nord au Sud se transforme, et est accommodé essentiellement :
- par empilement : l'Inde passe sous le Tarim et le Tibet
 - par évitement : le Tibet, comprimé dans l'axe Nord-sud, fuit vers l'Est et évite ainsi de se faire prendre en sandwich.
 - par écrasement : le Tarim se plisse sous la pression indienne, donc se déforme en partie dans le sens vertical.
- 7) On voit bien que les vecteurs changent brutalement de direction/vitesse entre l'Inde et l'Asie, ce qui est bien la preuve d'un changement de plaque. Néanmoins, dans une plaque, censée être rigide, tous les points devraient être animés du même mouvement (même vecteurs). Or, le Tarim et le Tibet (deux régions de la même plaque Eurasie) ont des vecteurs différents, ce qui est en contradiction avec la définition classique d'une plaque. Sauf à considérer une sous-plaque Tibétaine...
- 8) Le mécanisme au foyer indique un plan nodal horizontal (pendage très léger vers le sud) et un plan vertical (pendage très fort vers le nord) de direction Est-Ouest. Un plan de faille vertical est peu compatible avec le contexte tectonique en raccourcissement, en revanche, un plan nodal horizontal correspond bien avec une faille inverse chevauchante. Vu la position des couleurs noires/blanches, cette faille inverse aurait une vergence nord. Or, les chevauchements indiqués sur la carte ont une vergence sud. Donc ce séisme récent serait né dans le cadre d'un rétro-chevauchement.
- 9) Un risque sismique est la combinaison d'un aléa (probabilité qu'un séisme ait lieu à un endroit donné sur une période donnée) et de la vulnérabilité des enjeux exposés (dégâts potentiels sur les activités humaines). Pour limiter le risque, il faut estimer l'aléa (savoir la récurrence temporelle des séismes, savoir où sont les failles...) et, s'il est élevé, diminuer la vulnérabilité en construisant des infrastructures parasismiques, en éduquant les populations aux comportements adaptés en cas de secousses, en évitant de placer les villes sur les failles etc.

Étude des ondes P propagées lors d'un séisme artificiel (d'après Chatô 1 DS3 2020)

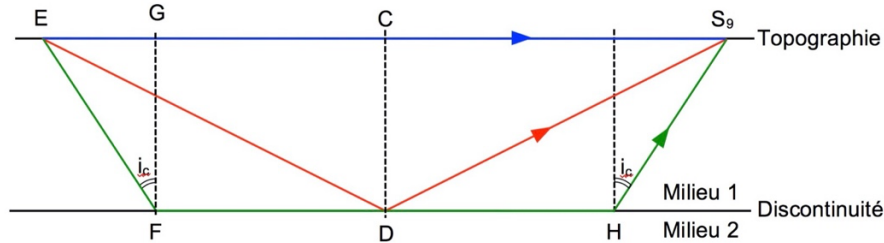
- 10) Report correct des points, légende des axes (nom du paramètre et unité) et titre.



- 11) Une 1^{ère} série de points est alignée selon une droite passant par l'origine du graphique : il s'agit d'une onde dont le temps de parcours est proportionnel à la distance au foyer. C'est l'onde P directe.
 Une seconde série de points décrit une asymptote à l'hodochrone de l'onde P directe : plus la distance au foyer augmente, plus l'écart entre les temps de parcours de ces deux ondes se réduit, mais cette onde arrive toujours après l'onde P directe. C'est l'onde P réfléchie.

Une 3^{ème} série de points est alignée selon une droite qui recoupe l'hodochrone de l'onde P directe : au-delà de 135 km du foyer, cette onde P arrive avant à l'onde P directe ayant pourtant parcouru le trajet le plus court. Cette onde a donc parcouru une partie de son trajet dans un second milieu où la vitesse des ondes P est plus élevée. Pour une distance au foyer inférieure à 40 km, cette onde n'est pas enregistrée. Le premier point de cette 3^{ème} hodochrone est commun à l'hodochrone de l'onde P réfléchie. Il s'agit de l'onde P conique qui apparaît qu'à partir d'un angle d'incidence dit critique i_c .

12)



- 13) Calcul de la vitesse des ondes P dans le milieu 1 à partir de l'onde P directe arrivant à la station 9 :
Il fallait choisir les données de S₉, station la plus éloignée, pour minimiser les imprécisions de mesure.
 Soit t_{p9} = temps de parcours de l'onde directe arrivant à la station 9 = 72 s.
 V_{p1} = distance parcourue / temps de parcours = $ES_9 / t_{p9} = 5,55 \text{ km.s}^{-1}$

Calcul de la profondeur de la discontinuité à partir de l'onde P réfléchie arrivant à la station 9 :

Soit $t_{p9'}$ = temps de parcours de l'onde réfléchie arrivant à la station 9 = 72,8 s.

D'après les lois de Snell-Descartes, on a :

$$- EC = ES_9 / 2$$

$$- ED = DS_9 \Leftrightarrow ED = (t_{p9'} \times V_{p1}) / 2 = [t_{p9'} \times (ES_9 / t_{p9})] / 2$$

D'après le théorème de Pythagore, dans le triangle CDE rectangle en C, on a : $ED^2 = EC^2 + CD^2$

$$CD = \sqrt{(ED^2 - EC^2)} = \sqrt{[(t_{p9'} \times (ES_9 / t_{p9}) / 2]^2 - (ES_9 / 2)^2}$$

$$CD = \sqrt{[(72,8 \times (400/72)) / 2]^2 - 200^2} = 29,9 \text{ km}$$

Identification de la discontinuité : celle-ci est située à -30 km sous un continent, il s'agit du Moho.

- 14) En raisonnant à partir des ondes coniques seulement, on peut considérer qu'entre l'onde conique qui arrive à S8 et celle qui arrive à S9, la seule différence, c'est un trajet de $400 - 280 \text{ km} = 120 \text{ km}$ faits sous la discontinuité à une vitesse à déterminer. Or l'onde conique arrive à S9 $57,7 - 42,7 = 15 \text{ s}$ plus tard que celle qui est arrivée à S8. Elle a donc mis 15s pour faire 120 km de plus, elle est donc allée sous la discontinuité à une vitesse de $8,0 \text{ km.s}^{-1}$

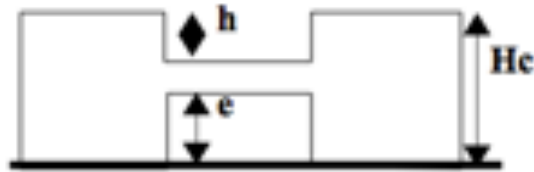
La Lune (d'après ENS 2011)

- 15) La morphologie est dominée par deux grands types d'affleurements : des zones claires fortement cratérisées et des zones sombres, montrant parfois des formes circulaires. On pourrait donc définir des « continents » à altitude « élevée » qui seraient alors composés de roches différenciées et des « mers » à altitude « faible » qui seraient constituées de roches peu ou pas différenciées.
- 16) On compare la valeur mesurée de g à celle théorique sur l'ellipsoïde de référence terrestre, ou ici lunaire. En général, la mesure de g n'a pas eu lieu à l'altitude 0 et il faut corriger cette différence d'altitude.
- La première correction à prendre en compte est la différence de distance au centre de masse entre l'altitude de mesure et l'altitude 0, c'est la correction à l'air libre.
 - La seconde correction prend en compte le fait que de la roche est présente entre l'altitude de mesure et l'altitude zéro, et il faut corriger l'effet gravitationnel de cette masse rocheuse. C'est la correction de plateau.
 - Une troisième correction, dite topographique, tient compte de l'éventuelle influence des masses voisines.

- La différence entre g mesuré et g théorique ainsi corrigé définit l'anomalie de Bouguer.

On constate que les anomalies de Bouguer sont fortement positives au niveau des cratères entourés. On peut donc penser qu'il y a un excès de masse en profondeur. Par analogie avec la Terre, on peut supposer qu'il y a une remontée du manteau à cet endroit-là.

- 17) Nous allons choisir le modèle de Airy, qui suppose une densité identique mais une épaisseur variable des colonnes au-dessus de la surface de compensation.



On suppose l'équilibre isostatique atteint. On a donc une surface de compensation telle que :

$$\rho_{\text{croûte}} \cdot H_c = \rho_{\text{croûte}} \cdot (H_c - h - e) + \rho_{\text{manteau}} \cdot e$$

$$e = (\rho_{\text{croûte}} \cdot h) / (\rho_{\text{manteau}} - \rho_{\text{croûte}}) = 29 \text{ km}$$

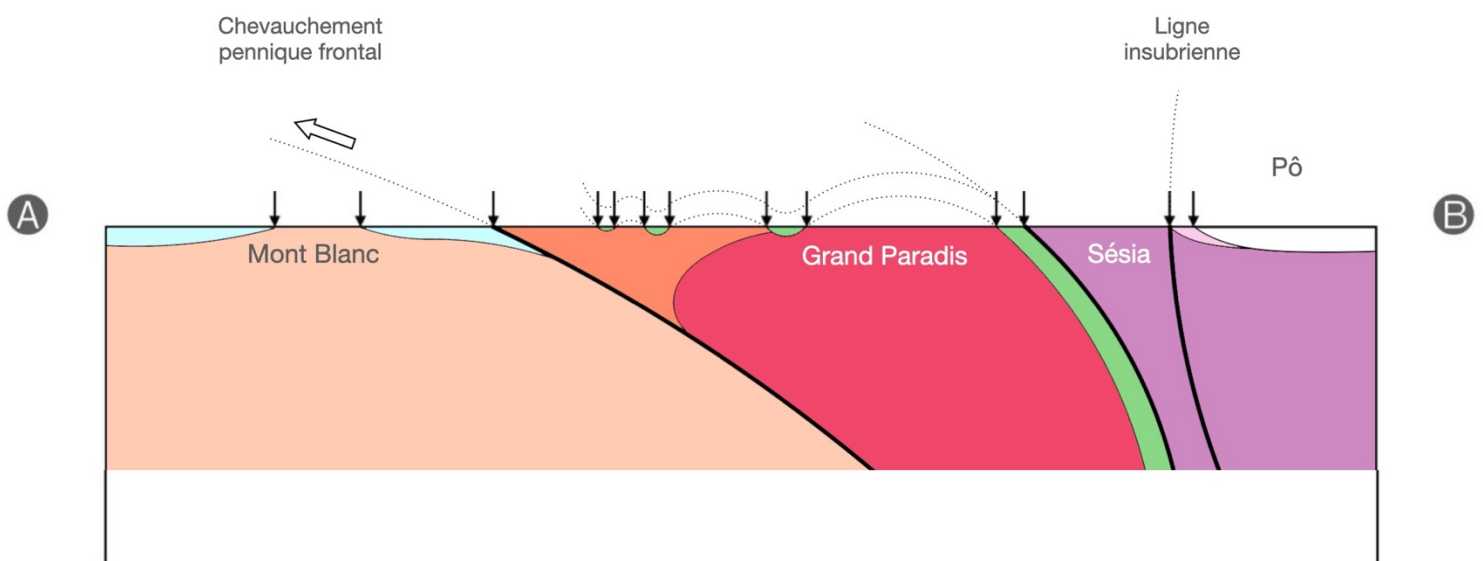
$$\Rightarrow \text{épaisseur de la croûte sous le cratère} = (H_c - h - e) = 40 - 3 - 29 = 8 \text{ km}$$

- 18) Les anomalies de masses sont atténuées mais restent positives une fois la correction à l'air libre effectuée. Il y a donc bien des excès de masse en profondeur sous les cratères. Ceci peut bien s'expliquer par une remontée de manteau. En revanche, si le système était à l'équilibre isostatique, c'est à dire si la compensation était réalisée, alors les anomalies à l'air libre devraient être nulles. On voit que ce n'est pas le cas. Donc l'équilibre isostatique n'est pas atteint. On en déduit donc que le calcul de la question 3 n'est pas tout à fait valable.

Les Alpes occidentales

- 19) Zone dauphinoise : Couverture sédimentaire / Socle mésozoïque = massifs cristallins externes
Zone Briançonnaise : Couverture sédimentaire / Socle mésozoïque = massifs cristallins internes
Zone liguro-piémontaise : Ophiolites et sédiments marins (schistes lustrés)
Zone austro-alpine : Couverture sédimentaire + socle

20)



Quelques aspects de la convergence Inde-Eurasie (sur 9 points)	
Q1 : - définition d'une plaque lithosphérique (croûte – manteau – limites inférieure et latérales) - schéma avec plaques lithosphériques (au moins eurasiatique, indienne et africaine) et leurs limites	/ 1 / 1
Q2 : - principaux traits structuraux de la chaîne himalayenne (ancien océan – bassin flexural – chevauchements)	/ 1
Q3 : - du Nord vers le Sud, chevauchements de plus en plus jeunes => chaîne édifée en différentes séquences du Nord vers le Sud	/0,5
Q4 : - anomalie positive de vitesse correspondant à un matériau rigide/dense + séismes qui dessinent un plan de Wadati-Benioff => <u>subduction</u> - moteur = traction exercée par le panneau plongeant	/1 /0,5
Q5 : - 3 familles de vecteurs	/0,5
Q6 : - empilement – évitement – écrasement	/0,5
Q7 : - raisonnement = dans une plaque, censée être rigide, tous les points devraient être animés du même mouvement (mêmes vecteurs) => ...	/0,5
Q8 : - faille inverse chevauchante (rétro-chevauchement)	/ 1
Q9 : - définition du risque sismique - deux modalités permettant de le limiter	/ 1 /0,5
Étude des ondes P propagées lors d'un séisme artificiel (sur 7,5 points)	
Q11 : - construction du graphique - points correspondant au même type de trajet reliés correctement	/ 1 / 1
Q12 : - identification argumentée des ondes directes – réfléchies – coniques - schéma présentant les différents trajets des ondes P arrivant à la station S ₉	/ 1,5 / 1,5
Q13 : - calcul de la profondeur de la discontinuité (29,9 km) - identification = Moho	/ 2 /0,5
Q14 : - calcul de la vitesse de propagation des ondes P (8,0 km.s ⁻¹)	bonus
La Lune (sur 8 points)	
Q15 : - zones claires : cratères + altitudes « élevées » => « continent » / zones sombres : altitudes « basses » => « mers »	/ 1
Q16 : - définition de l'anomalie de Bouguer - document 7 : anomalies positives au niveau des cratères et interprétation	/ 2 / 1
Q17 : - sélection d'un modèle (Airy) et schéma soigné - calcul raisonné de l'épaisseur de la croûte (8 km)	/ 1 / 2
Q18 : - anomalie à l'air libre non-nulle => déséquilibre isostatique	/ 1
Les Alpes occidentales (sur 6,5 points)	
Q19 : - 0,25 point par légende correcte (10 légendes)	/ 2,5
Q20 : - 2 chevauchements + ligne I. + nappe ophiolitique + massifs cristallins et leur couverture + soin de la réalisation	/4

TOTAL (31 / points) :

Commentaires :