



1. Inleiding

De reis van de Indiaplaat was één van de meest opmerkelijke reizen van alle continenten: de plaat legde 9.000 km af in ca. 120 miljoen jaar (gemeten vanaf de afscheiding van de Indiaplaat van Antarctica/Australië tijdens het opbreken van Gondwana). Dat is gemiddeld 7,5 cm per jaar.

De aanvankelijke snelheid (tot -67 Ma) lag tussen 3 en 5 cm per jaar, daarna was er gedurende enkele miljoenen jaren een sterke versnelling naar 18 cm per jaar. Daarna nam de snelheid weer af en tijdens de botsing met Azië (tussen -52 en -21 Ma) liep hij verder terug naar 5 cm per jaar.

Wat kan de oorzaak geweest zijn van die versnelling?

Daar is veel onderzoek naar gedaan, want het was een interessant onderwerp: Er vonden rond en op de Indiaplaat gedurende de hele reis veel soorten tectonische gebeurtenissen plaats: transform faults/breuken, mantelpluimen, hotspotsoren, vloeibare basalt vulkanisme, de opsplitsing van continenten, zeevloerspreiding, botsing van continenten met subductie en/of obductie, het sluiten van een oceaan en het vormen van een nieuwe, gebergtevorming...

Informatie over de reis van de Indiaplaat naar Azië heeft men verkregen uit velerlei bronnen: seismische, paleomagnetische, sedimentologische, paleontologische, marine geofysische, biologische (fossielen) en klimatologische gegevens, diepzeeboringen, lineaire magnetische anomalieën en gegevens over hotspotsoren.

De snelheid van de reis van de Indiaplaat van Gondwana naar Azië

1. Inleiding

2. Waarom breken continenten op en drijven ze uiteen?

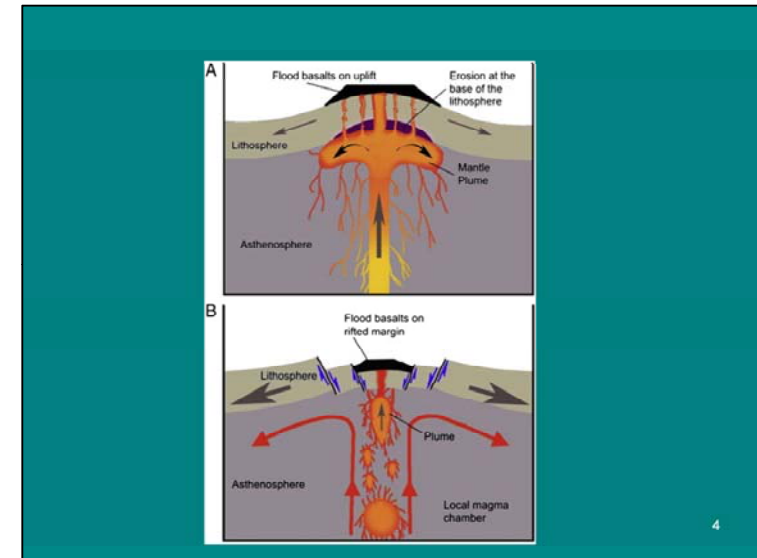
3. Beschrijving van de reis van de Indiaplaat

4. Verklaringen van de hoge snelheid van de Indiaplaat

Gebruikte literatuur

- Sankar Chatterjee, Arghya Goswami en Christopher R. Scotese, The longest voyage: Tectonic, magmatic, and paleoclimatic evolution of the Indian plate during its northward flight from Gondwana to Asia, *Gondwana Research* 23 (2013), p. 234-267.
- Steve Cande and Dave Stegman, Effect of the Reunion plume head on Indo-Atlantic tectonics in the late Cretaceous and early Cenozoic (2011).
- R. Dietman Müller. Artikel in *Nature*, Vol. 475, 7-7-2011

3



4

2. Waarom breken continenten op en drijven ze uiteen?

Fig. 4 Two possible mechanisms for continental breakup. (A) In the active rifting model, uprising plume causes doming of the lithosphere that triggers flood basalt volcanism and subsequent rifting; flood basalt predates the rifting event. (B) In the passive rifting model, plate tectonic forces stretch, thin, and ultimately rupture the lithosphere, that could lead to partial melting of the underlying asthenosphere to rise and trigger volcanism; rifting precedes the flood basalt volcanism. In our view, the “passive rifting” versus “active rifting” debate appears to be a false dichotomy. It is clear that if the continental lithosphere is put under extension it will break along pre-existing zones of weaknesses. Plumes and hotspots are associated with continental rift margins because they represent fundamental zones of weakness in the lithosphere.

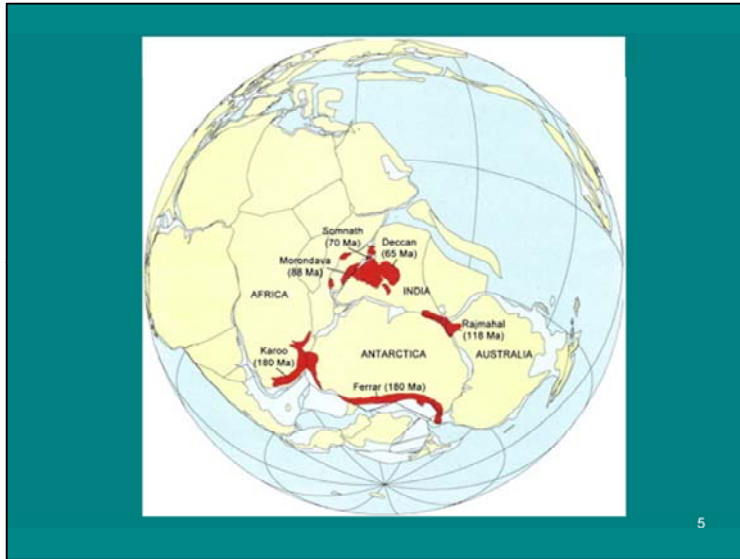


Fig. 5. Distribution of Mesozoic flood basalts and their ages implicated for the sequential rifting of the Indian plate from Gondwana; locations of flood basalts are shown in a Late Triassic reconstruction of the Gondwana map (~ 220 Ma).

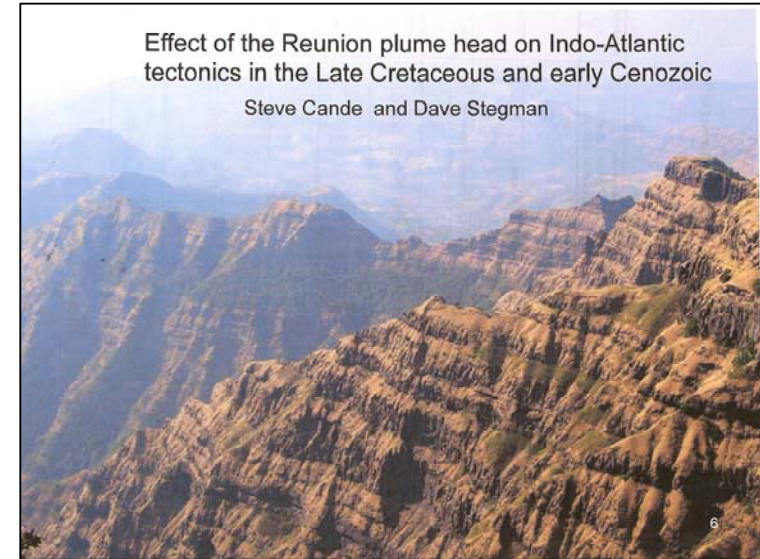


Fig. 6. De gebieden waar deze enorme uitbarstingen plaatsvonden (met een diameter van ca. 2.500 km en een basaltlaag van 3 – 6 km dik) worden Large Igneous Provinces (LIPS) genoemd. Die terreinen zien er nu als gevolg van de vele uitbarstingen terrasvormig uit. (Deccan traps)

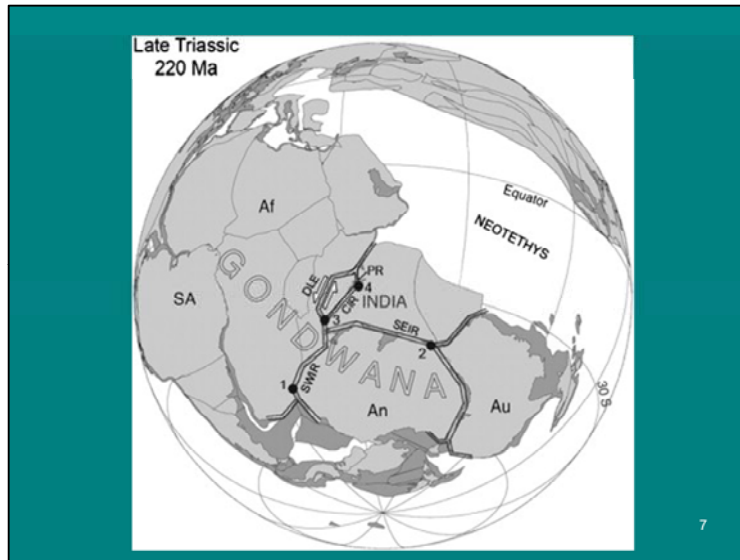


Fig. 7. Paleogeographic reconstruction of Gondwana during the Late Triassic (~ 220 Ma) showing the future locations of mantle plumes and the ages of breakup of eastern Gondwana. 1, Bouvet plume (~ -180 Ma); 2, Kerguelen plume (~ -118 Ma); 3, Marion plume (~ -88 Ma); and 4, Reunion plume (~ -65 Ma). Abbreviations: Af, Africa; An, Antarctica; Au, Australia; CIR, Central Indian Ridge; DLE, Davie and Lebombo–Explora transforms; PR, Palitana Ridge; Sa, South America; SEIR, South East Indian Ridge, and SWIR, Southwest Indian Ridge.

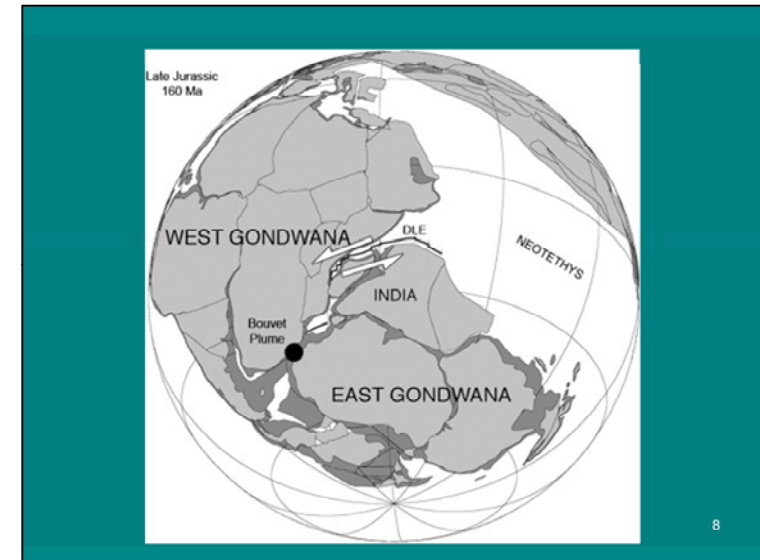


Fig. 8 Paleogeographic reconstruction showing the initial breakup of East Gondwana from West Gondwana around ~ -160 Ma and the location of Bouvet plume. Abbreviations: DLE, Davie and Lebombo–Explora transforms.

3. Beschrijving van de reis van de Indiaplaat

Daarbinnen kunnen 7 episoden worden onderscheiden.

Episode 1. -167 Ma (Midden Jura). Scheiding van Oost- en West Gondwana.

Bouvet mantelpluim. Er ontstaat een smalle zeestraat tussen West en Oost Gondwana.



Fig. 9. Paleogeographic position of Gondwana showing the separation of India from Antarctica–Australia (~ -120 Ma) along the Southeast Indian Ridge and the location of the Kerguelen plume.

Episode 2 -120 Ma (Vroege Krijt). De Indiaplaat scheidt zich af van Antarctica en Australië. Kerguelen-Rajmahal basalts. De enorme Kerguelen mantelpluim heeft een oppervlakte bedekt van 200.000 km². Deze mantelpluim liet een spoor na van 4.500 km langs de Ninety East Ridge

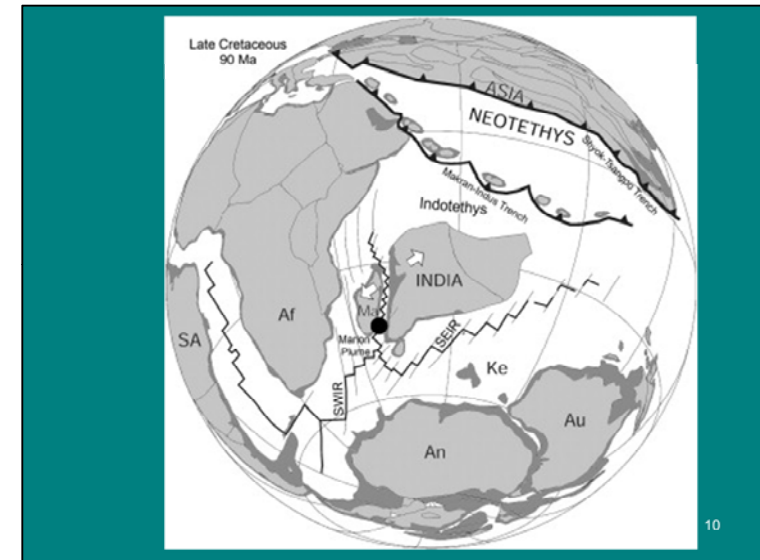


Fig. 10. Paleogeographic reconstruction of Gondwana fragments showing the India–Madagascar rift (~ -88 Ma) and the location of the Marion plume. India was converging northward to the Makran–Indus Trench across the Indoethethys.

Episode 3 -88 Ma (Late Krijt). De Indiaplaat (incl. de Seychelles en Sri Lanka) scheidt zich af van Madagascar, Daar is de Marionpluim opgedoken (Morondava – St. Maybasalts) en ontstaat een ridge: de Central Indian Ridge (CIR). Intussen is de Neothetys oceaanplaat aan het subduceren onder Azië en de Indiaplaat wordt in die richting meegetrokken.

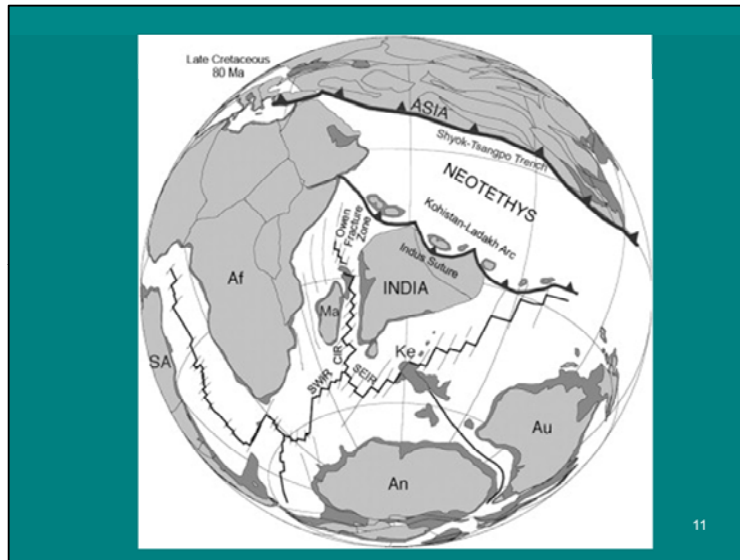


Fig. 11. Paleogeographic map showing the collision of the Indian plate with the Kohistan–Ladakh island arc during the Late Cretaceous time along the Indus Trench (~ 80 Ma).

Episode 4 -80 Ma (Late Krijt). Een eilandboog, de Kohistan-Ladakh Arc (die -120 Ma ontstond) aan de noordkant van de (tijdelijke) Indothetys-oceaan raakt gesandwiched tussen India en Azië, en schuift dan op de Indiaplaat (obductie). Daardoor komt er weer contact met Afrika (flora en fauna, o.a. dinosauriers)

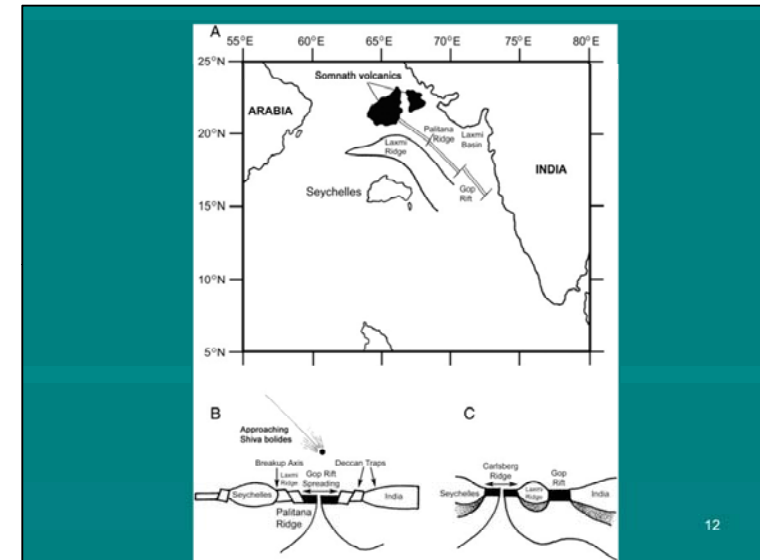


Fig. 12. (A) Location of the Laxmi Ridge, a continental sliver that separated from India around -70 Ma, probably induced by the Somnath volcanism. The spreading center, the Palitana Ridge was short-lived, created the Gop/Laxmi basin and the Laxmi Ridge was accreted to India. (B) Cartoon showing the first phase of rifting, the separation of Laxmi Ridge–Seychelles block from India around -70 Ma; it was a failed rift; (C) around 65 Ma, the second rifting took place between Seychelles and Laxmi Ridge–India, which was linked to Deccan–Reunion plume. Panel A was modified from [Chatterjee et al. \(2006\)](#), Calves et al. (2008), and [Carmichael et al. \(2009\)](#). Panels B and C were modified from [Minshull et al. \(2008\)](#).

Episode 5 -70 - 52 Ma (Late Krijt). De Westgrens van het India breekt op als De Seychelles scheiden van de Laxmi Ridge. Aan de westzijde van de Indiaplaat breekt -86 Ma de Reunion pluim door de lithosfeer. De vulkanische uitbarstingen duurden tot -63 Ma met een hoogtepunt daarvan -65 Ma (Deccan traps).

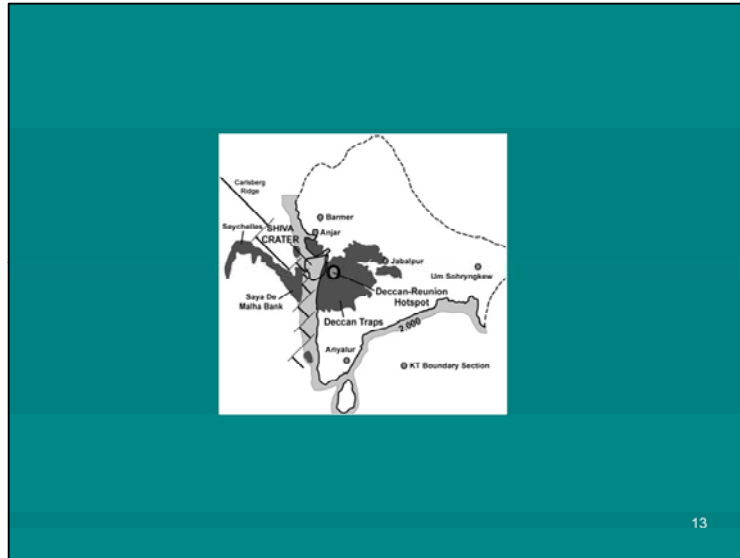


Fig. 13. Paleogeographic reconstruction of India–Seychelles at the KT boundary (~ - 65 Ma) time. India–Seychelles separation is generally linked to the Reunion plume ([Chatterjee et al., 2006](#)).

Verondersteld wordt dat er mogelijk een relatie is tussen deze enorme uitbarstingen met de massauitsterving van planten en dieren uit die periode.

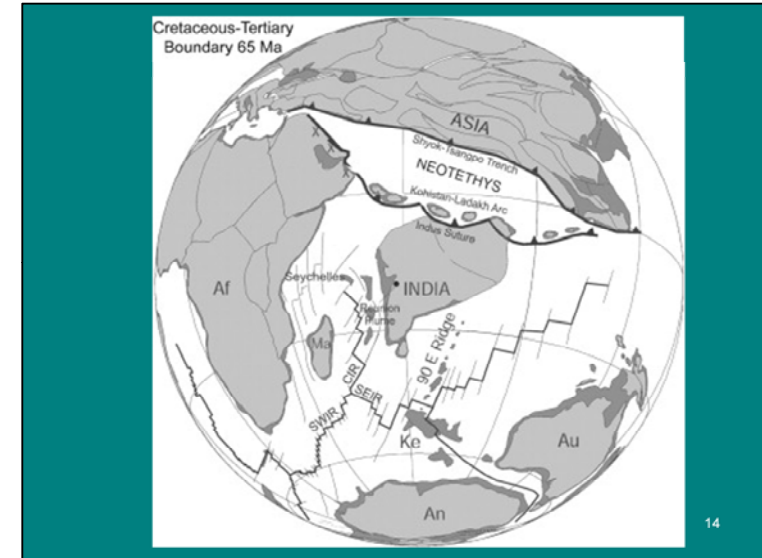


Fig. 14. Paleogeographic reconstruction of India in relation to other Gondwana continents during the Cretaceous–Tertiary boundary (~ -65 Ma). The Reunion plume (~ -65 Ma), is generally linked to the separation of the Seychelles from the Laxmi Ridge–India block.

India drijft na -65 Ma noordwaarts als een eilandcontinent over de Neotethys oceaan, waarbij de snelheid weer flink afneemt tot 5 cm per jaar.

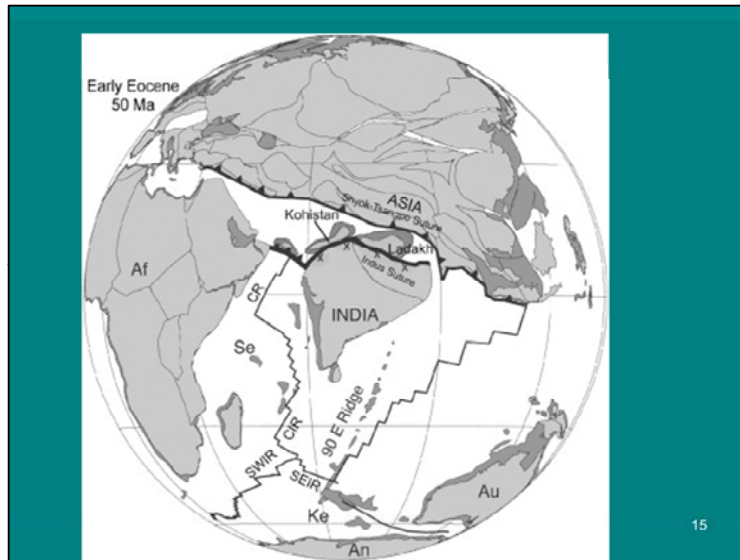


Fig. 15. Paleogeographic reconstruction showing the position of India and other Gondwana continents during the Early Eocene (~50 Ma) when India made the initial collision with Asia on its northward journey with the closure of the Neotethys. The Kohistan–Ladakh arc made the first contact with Asia

Episode 6. -52 -23 Ma (Eohimalaya fase). De botsing van India in het vroege Eoceen langs de Shyok-Tsangpo Suture zone, waaronder de Neothetys-oceaanplaat verdween en de Neothetys oceaan werd gesloten. De Shyok-Tsangpo Suture zone ging daarbij over in de Indus-Tsangpo Suture zone.

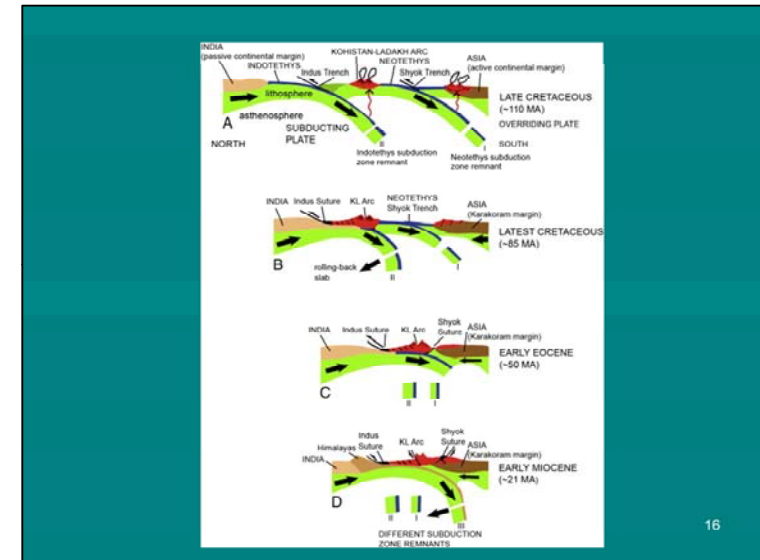


Fig. 16. Cartoon showing continent–arc collision in cross-section and possible sequences of plate tectonic events in the evolution of the Kohistan–Ladakh arc (A–D) based on tomographic imaging (Van der Voo et al., 1999). (A) During the Late Cretaceous the tectonic setting of the Kohistan–Ladakh arc lay between two north-dipping subduction zones when Neotethys comprises two oceanic plates, Indotethys and Neotethys. (B) Around ~85 Ma, India collided with the Kohistan–Ladakh arc with the disappearance of Indotethys. (C) India moved northward with accreted KL Arc in its leading edge towards Asia during the Late Cretaceous–Paleocene time at a superspeed of 15 cm/year. In the Early Eocene (~50 Ma), India collided with Asia with the disappearance of Neotethys and the speed was slowed down to 5 cm/year. (D) Subduction of India under Asia caused about 2.500 km crustal shortening with the rise of the Himalaya and Tibetan plateau. Tethyan subduction zone remnants from the Neotethys and Indothehtys (I and II) were revealed from tomographic imaging of the mantle.

Episode 7 -23 Ma (Neogeen) tot heden. De botsing van de Indiaplaat en de intracontinentale deformatie veroorzaakte een grote verkorting van de korst en de opheffing van de Himalaya en Tibet boven de sneeuwrens, wat de ijstijd in het noorden tijdens het Pleistoceen op gang bracht.

Panel A–D was modified from Van der Voo et al. (1999), Allègre (1988) and Burg (2011).

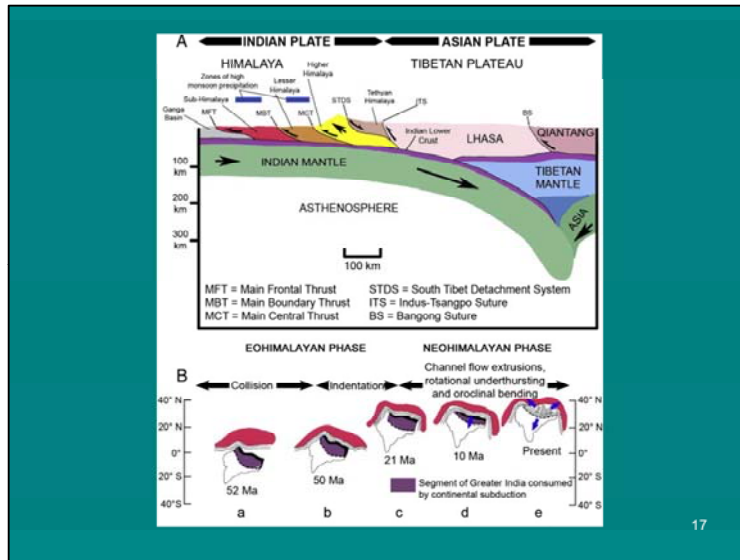


Fig. 17. (A) Tectonic interpretation of the Himalayan orogeny using high-resolution seismological and tomographic data showing north-vergent thrust systems in the Himalaya such as MFT, MBT, and MCT producing a series of continental slices and moving southward in relation to Indian mantle; the lower part of the Indian lithosphere along the Main Frontal Thrust underplates the Himalaya and Tibet up to 31°N, and almost extends to the middle part of the Lhasa block. However, the faulting at STDS is anomalous; it is a normal fault dipping northward below the Tibet and undergoes melting. Both MCT and STDS facilitated the channel flow extrusion of the Higher Himalaya; (B) five main stages in the evolution of the India–Tibet collision.

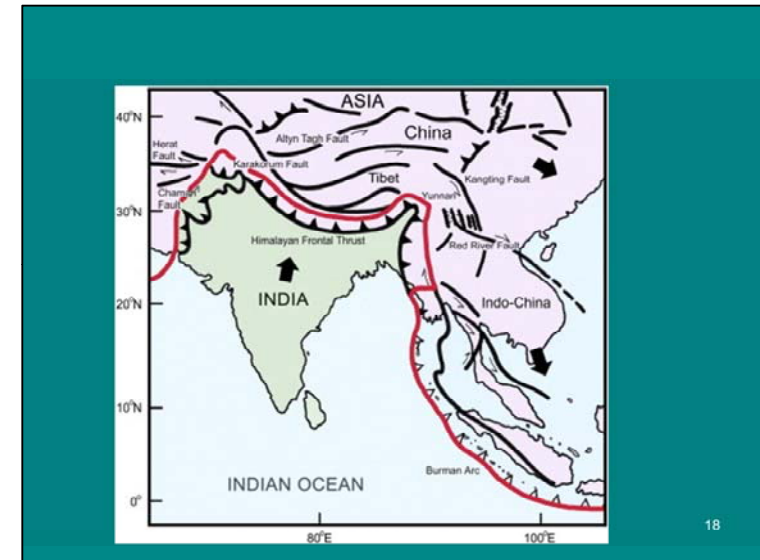


Fig. 18. Schematic map illustrating extrusion tectonics in Tibet and Indochina by two great strike-slip faults, the Red River and Altn Tagh that allowed Indochina and Tibet to slide eastward; the complex plate boundary of India is demarcated by a red line. After [Tapponnier et al. \(1986\)](#).

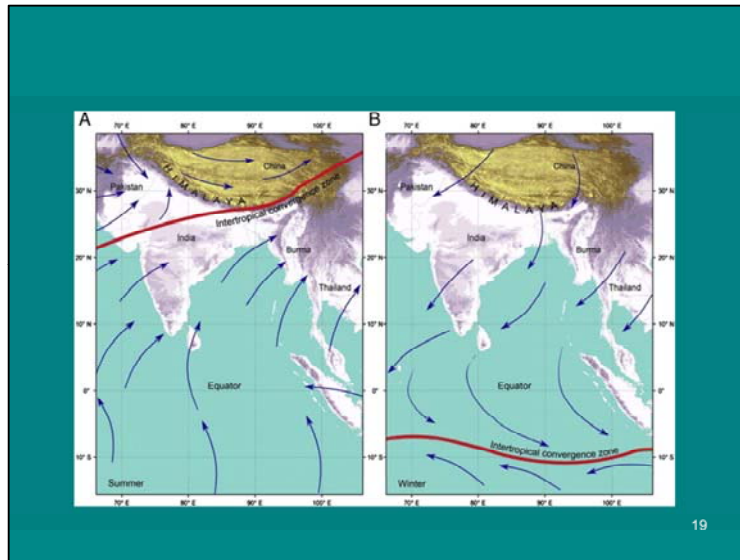
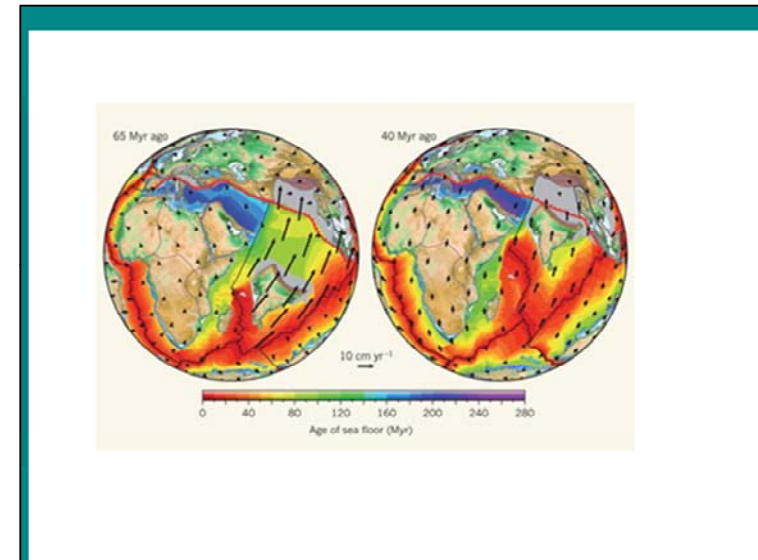


Fig. 19. Linking rise of the Himalaya–Tibetan Plateau and the birth of the monsoon. India’s climate is dominated by monsoon. Monsoons blow from the land toward sea in winter, and from the sea toward land in the summer. (A) During the summer, the winds carry moisture from the Indian Ocean and bring heavy rains from June to September. (B) During the winter the monsoon winds blow from the northeast and carry little moisture. The temperature is high because the Himalaya forms a barrier that prevents cold air from passing into the subcontinent.

Fig. 19. De hoge Himalaya bracht luchtstromingen op gang die leidden tot de Aziatische moesson.



4. Verklaringen van de hoge snelheid van de Indiaplaat

Fig 20. Canda en Stegman: The Indian and African plates 65 and 40 million years ago. The black arrows represent absolute plate motions, with the fast motion of India 65 Myr ago, and the slow motion of Africa, corresponding to a time shortly after the Réunion plume head is thought to have arrived at Earth’s surface; the plume head is hypothesized¹ to have affected the plates’ speeds. By 40 Myr ago, the influence of the plume had waned: the Indian plate had slowed down considerably and the African plate had resumed its former direction and speed.

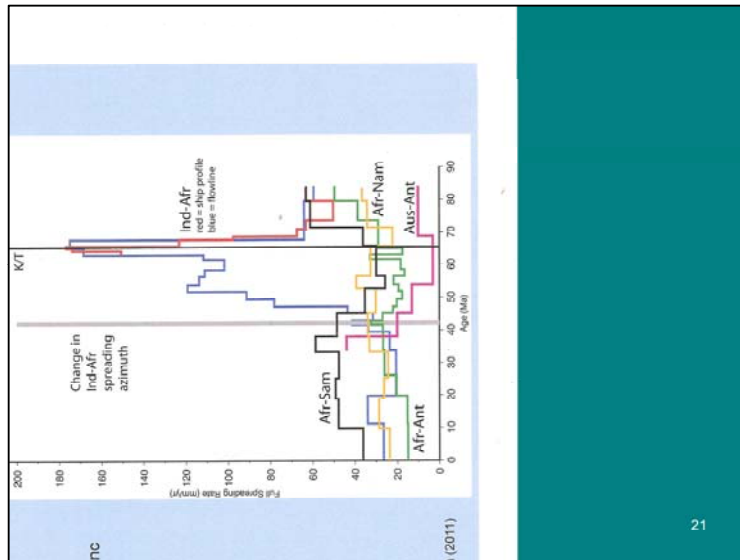


Fig 21. Cande en Stegman: Snelheid India t.o.v. o.a. Afrika: Afrika omgekeerd aan India

Er zijn diverse verklaringen van de hoge snelheid van de Indiaplaat tussen -68 Ma en -63 Ma

1. Scotese 7.7. Negi et al, 1986 en Kumar et al, 2007:

India is losgeduwd van Gondwana door de ridges die ontstonden ter hoogte van de Bouvet mantelpluim (W, - 180 Ma), De Kerguelen mantelpluim (ZO, - 118 Ma) en de Marion mantelpluim (ZW, - 88 Ma). Door de activiteiten van de mantelpluimen onder de lithosfeer van India werd deze dunner. (Hij werd half zo dik als die van de andere Gondwana continenten) en kon daardoor vrij makkelijk over de asthenosfeer glijden als er tegenaan geduwd werd.

2. Slab pull.

R. Dietman Muller: De Indotheetys oceaan subduceerde al vanaf -120 Ma onder Azië. De Indiaplaat werd al vanaf de afscheiding van Antarctica/Australië naar het noorden meegetrokken.

3. Plume push force.

Hypothese van Cande en Stegman: Als een mantelpluim een tectonische plaat tegenkomt, lang nadat de continenten uit elkaar zijn gedreven, kan deze een substantiële versnelling of vertraging geven aan die plaat. De Indiaplaat kwam -67 Ma over de Réunionpluim. Die was actief van -68 Ma tot -63 Ma.

De grootste uitbarstingen vonden plaats -65 Ma. Net in die periode was de snelheid van de Indiaplaat het grootst, met rond -65 Ma een piek van 18 cm p.j. Daarna nam de snelheid snel af tot 5 cm p.j. bij de botsing met Azië. Dus de Réunionpluim moet de Indiaplaat een plume push force hebben gegeven.

Met de Afrikaplaat gebeurde het omgekeerde. Toen de Indiaplaat versnelde, vertraagde de noordwaartse beweging van Afrika. En toen de snelheid van