

ZEEBAD: ECOSYSTEEMDIENSTEN

Energie & grondstoffen in een geodynamische context

ENERGIE & GRONDSTOFFEN IN EEN GEODYNAMISCHE CONTEXT

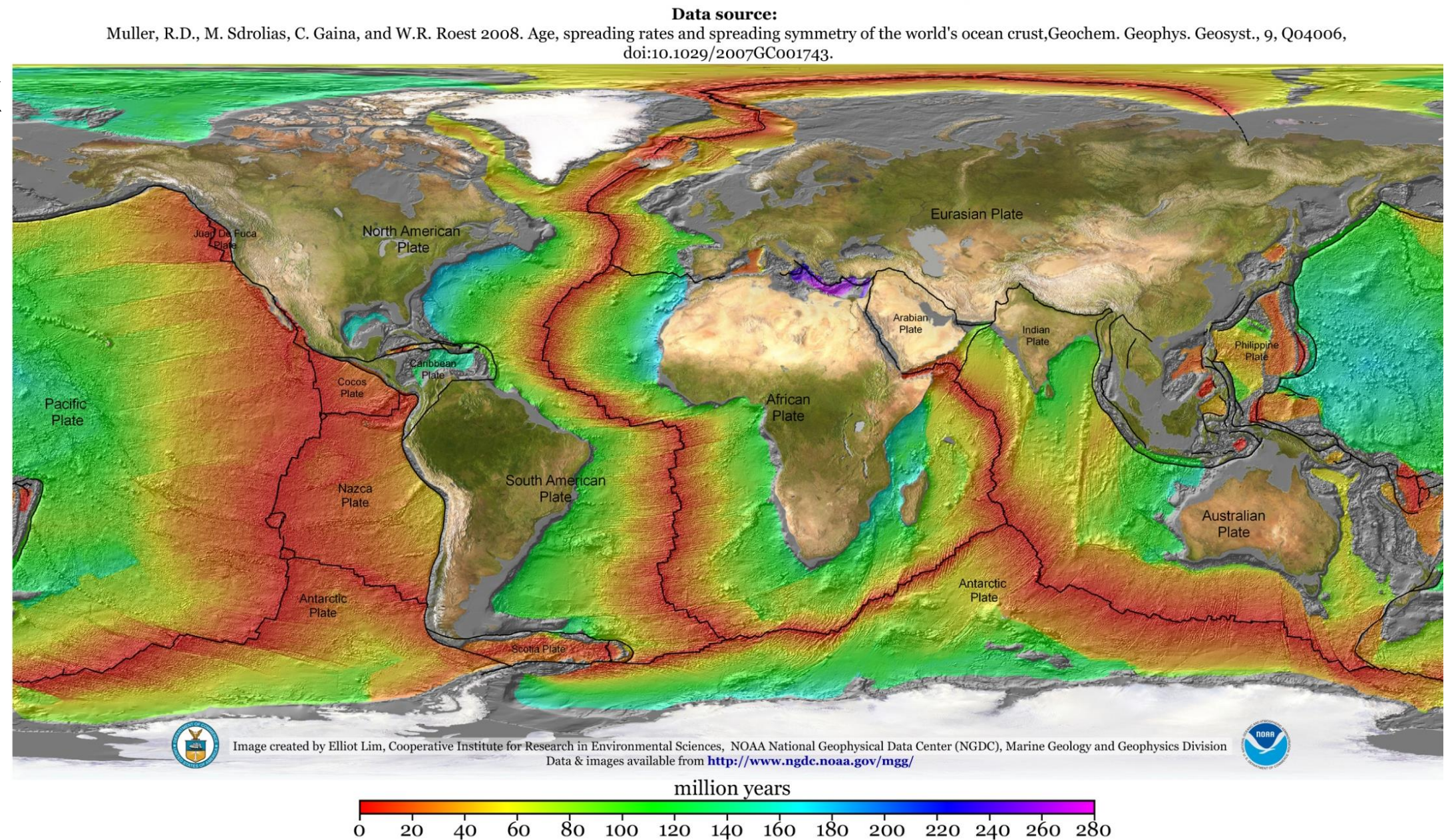
Inhoudsoverzicht

1. Platen tektoniek: basisbegrippen & processen
2. Platen tektoniek & grondstoffen
 - Plaatranden *versus* continentale randen
 - De fossiele brandstoffen van de “toekomst”
3. Geopolitieke betekenis van de continentale randen
4. Zeelandia: belang van het 7^{de} continent
5. Doelgerichte exploratietechnieken van de 21^{ste} eeuw

1. PLATENTEKTONIEK: BASISBEGRIPPEN & PROCESSEN

Geodynamische processen van de Aarde

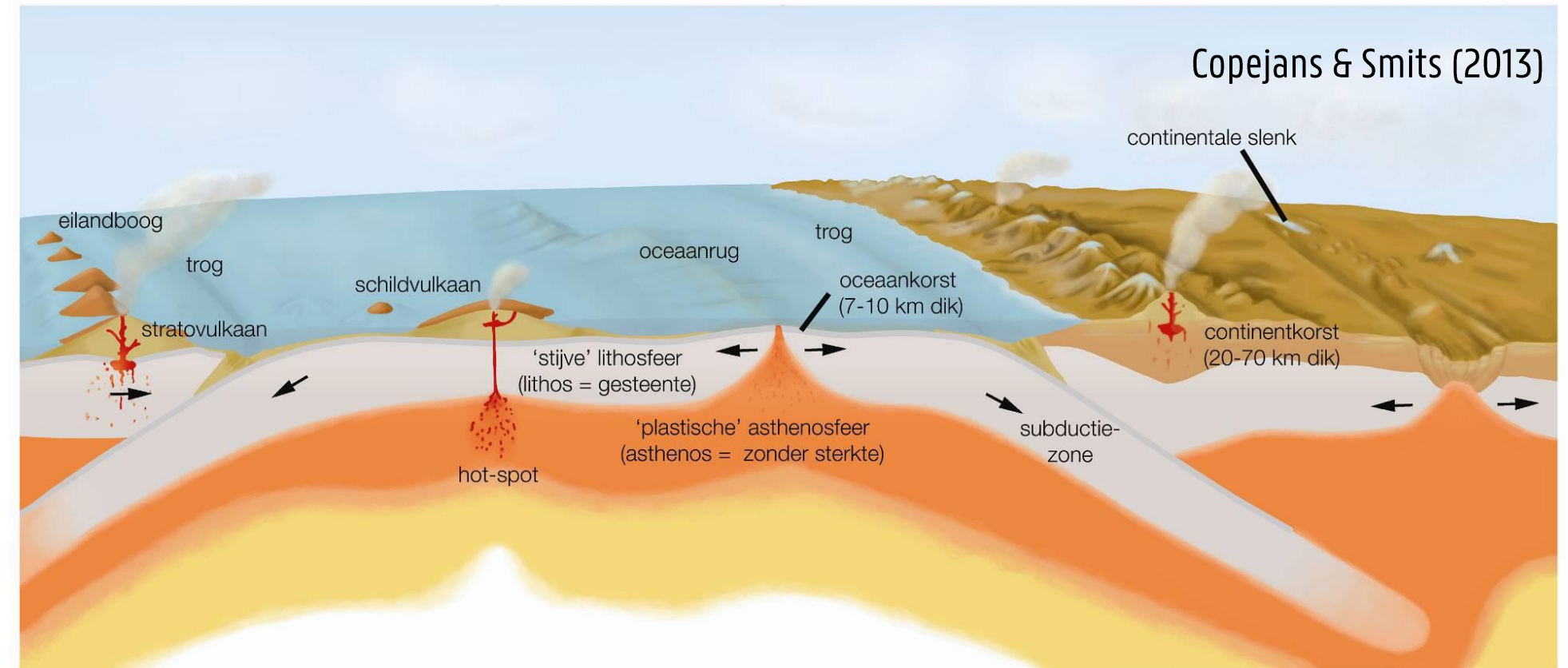
- Doorbraak platentektoniek gedreven door industrie
- Hoogste concentratie energie & grondstoffen aan de “randen”
- Continent vs. “plaat”



1. PLATENTEKTONIEK: BASISBEGRIPPEN & PROCESSEN

Geodynamische processen van de Aarde

- Oceaan: jong, “dun” & warm
- Continent: oud, dik & koud
- Convergentie: wrijving, druk
- Divergentie: verdunning, warmte



Continue geologische cyclus van openbreken continenten, botsen van lithosfeerplaten (gebergte, subductie), aangedreven door complexe convectieprocessen in de (vaste!) mantel, deels gestuurd door de (vloeibare) buitenkern.

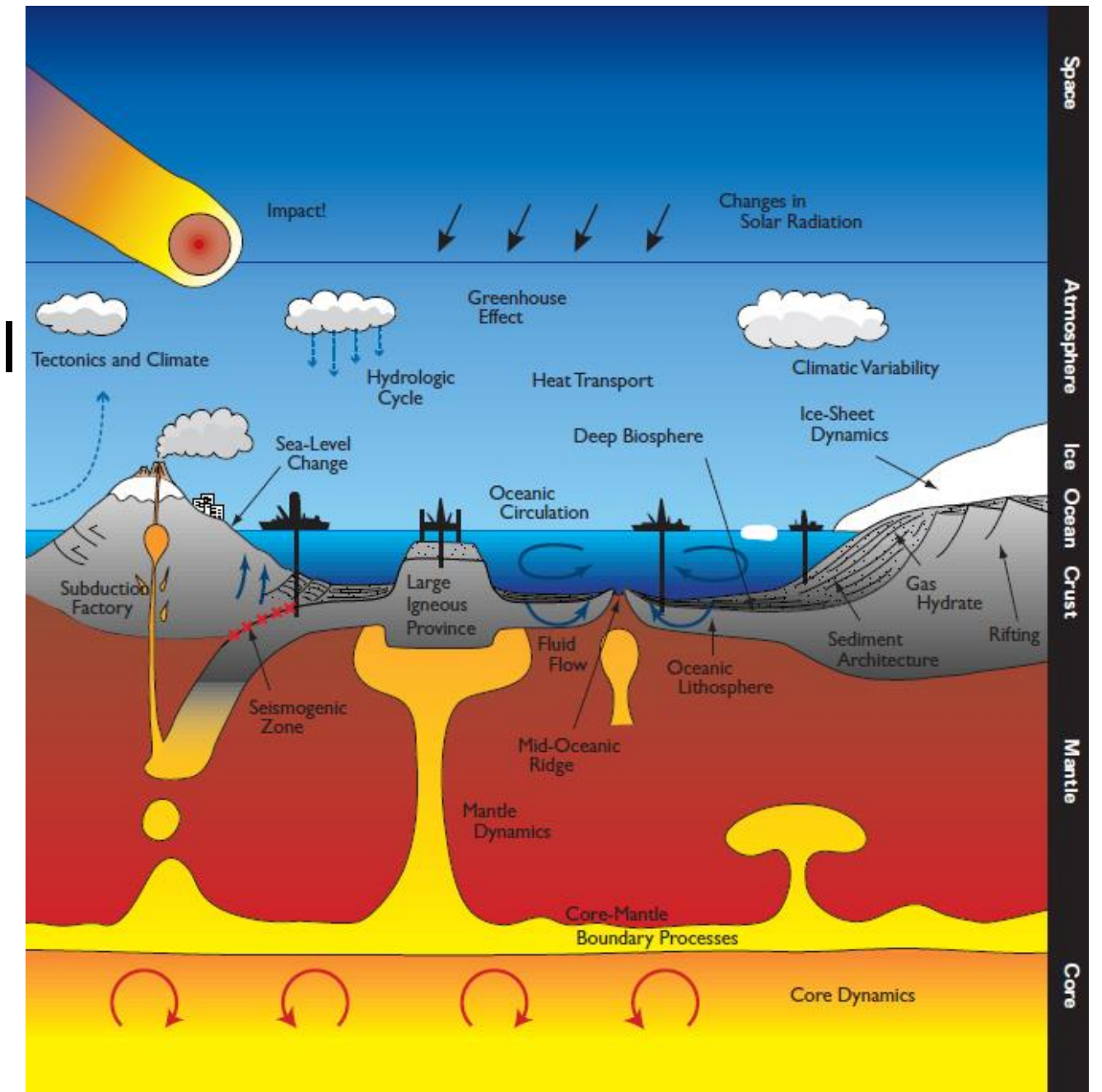
1. PLATENTEKTONIEK: BASISBEGRIPPEN & PROCESSEN

Mantelconvectie: spreidingsprocessen versus mantelpluimen & hotspots

Onderscheid nodig tussen spreiding & “hotspots”

Mantelpluim: staat **los** van convectioncellen en is een “pluim” (cfr. lavalamp) warm (maar vast) mantel materiaal, afkomstig van de kern-mantel grens

Spreiding: wordt aangedreven door het uit elkaar “trekken” van lithosfeerplaten door de convectie. Magmagenese is ondiep en de locatie van de spreidingsas staat **los** van de convectioncellen.



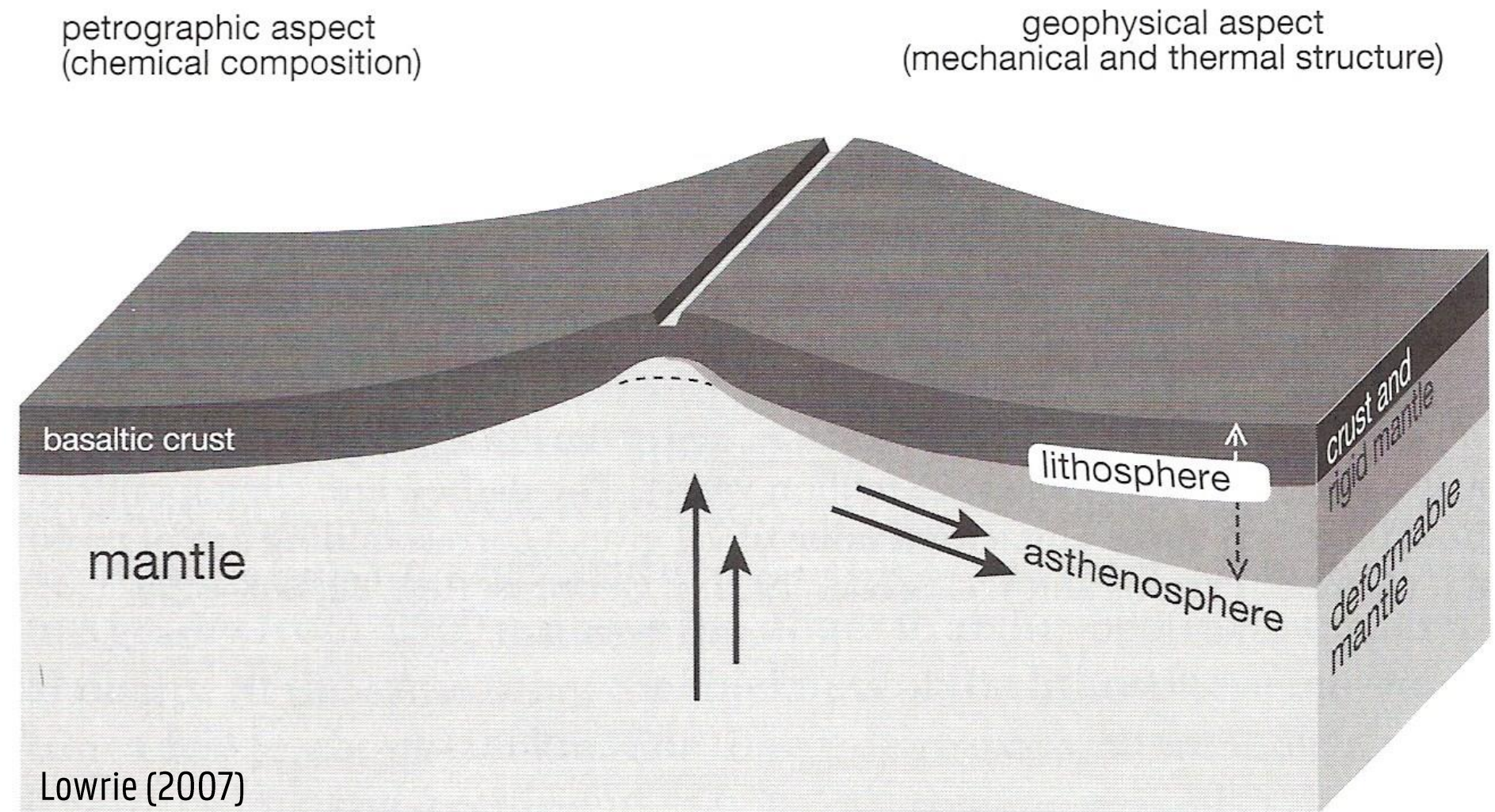
IODP (2009)

1. PLATENTEKTONIEK: BASISBEGRIPPEN & PROCESSEN

Spreiding: oceanische rifting op een plaatrand

Diepteprofiel van de oceaan wordt volledig bepaalt door de fysische en chemische eigenschappen van de “zeebodem”

- Chemisch: korst vs. mantel
- Rheologisch: litho vs. astheno



De Wet van *Parsons & Sclater*: verband tussen ouderdom, dikte & diepte lithosfeer

1. PLATENTEKTONIEK: BASISBEGRIPPEN & PROCESSEN

Voorbeeld van spreiding: de Mid-Atlantische Rug bij IJsland



1. PLATENTEKTONIEK: BASISBEGRIPPEN & PROCESSEN

Voorbeeld van spreiding: Thingvellir National Park

2,5 cm/jaar = groeisnelheid vingernagel...

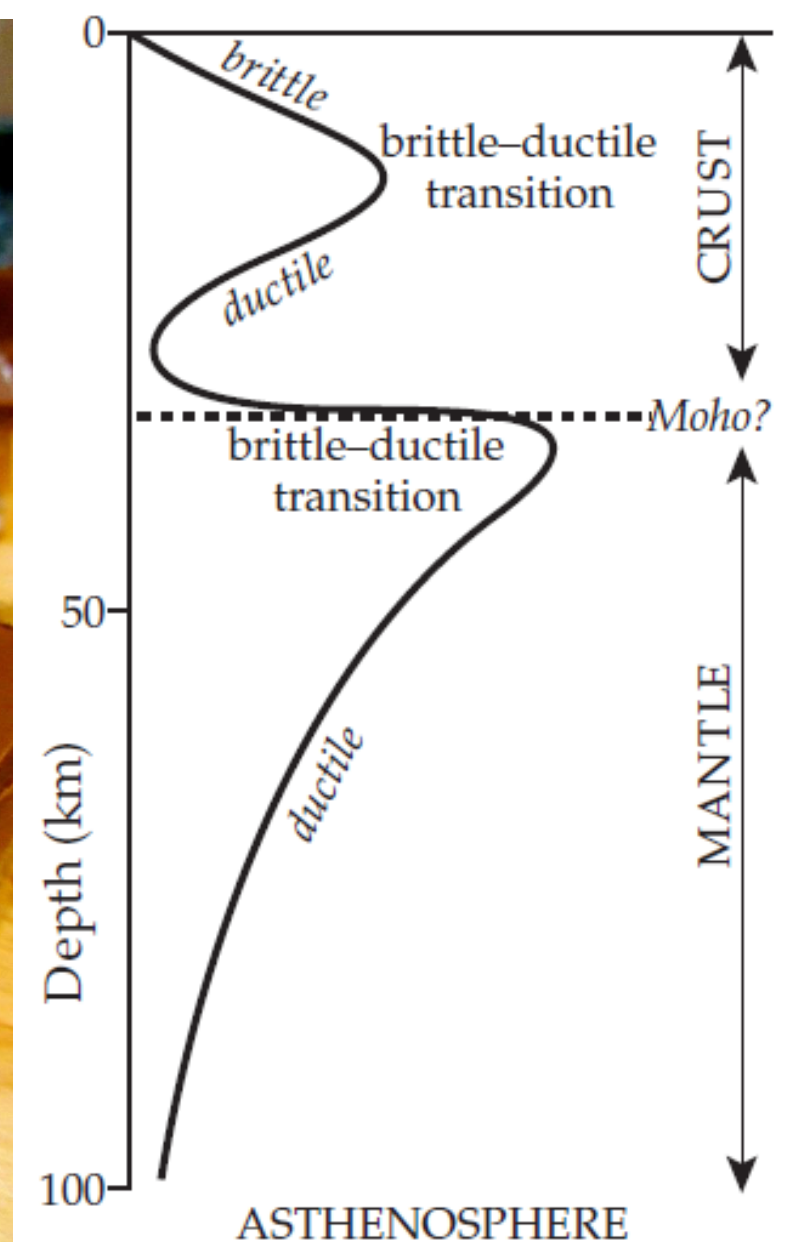


1. PLATENTEKTONIEK: BASISBEGRIPPEN & PROCESSEN

Het ontstaan van een oceaan: rifting van continentale lithosfeer

Geologie van de continentale korst is complex en bepaalt de architectuur van een “nieuwe” continentale rand:

- Heterogene opbouw
- Geothermische gradient
- Rifting = verdunning van de korst
- Kenmerkende structuur
- Hoofdzakelijk in continentaal milieu



Lowrie (2007)

1. PLATENTEKTONIEK: BASISBEGRIPPEN & PROCESSEN

Het ontstaan van een oceaan: rifting van continentale lithosfeer

Fase 1: Opbouw rekspanning

- *Breukzones in de rigide korst*

Fase 2: Verdunning boven korst

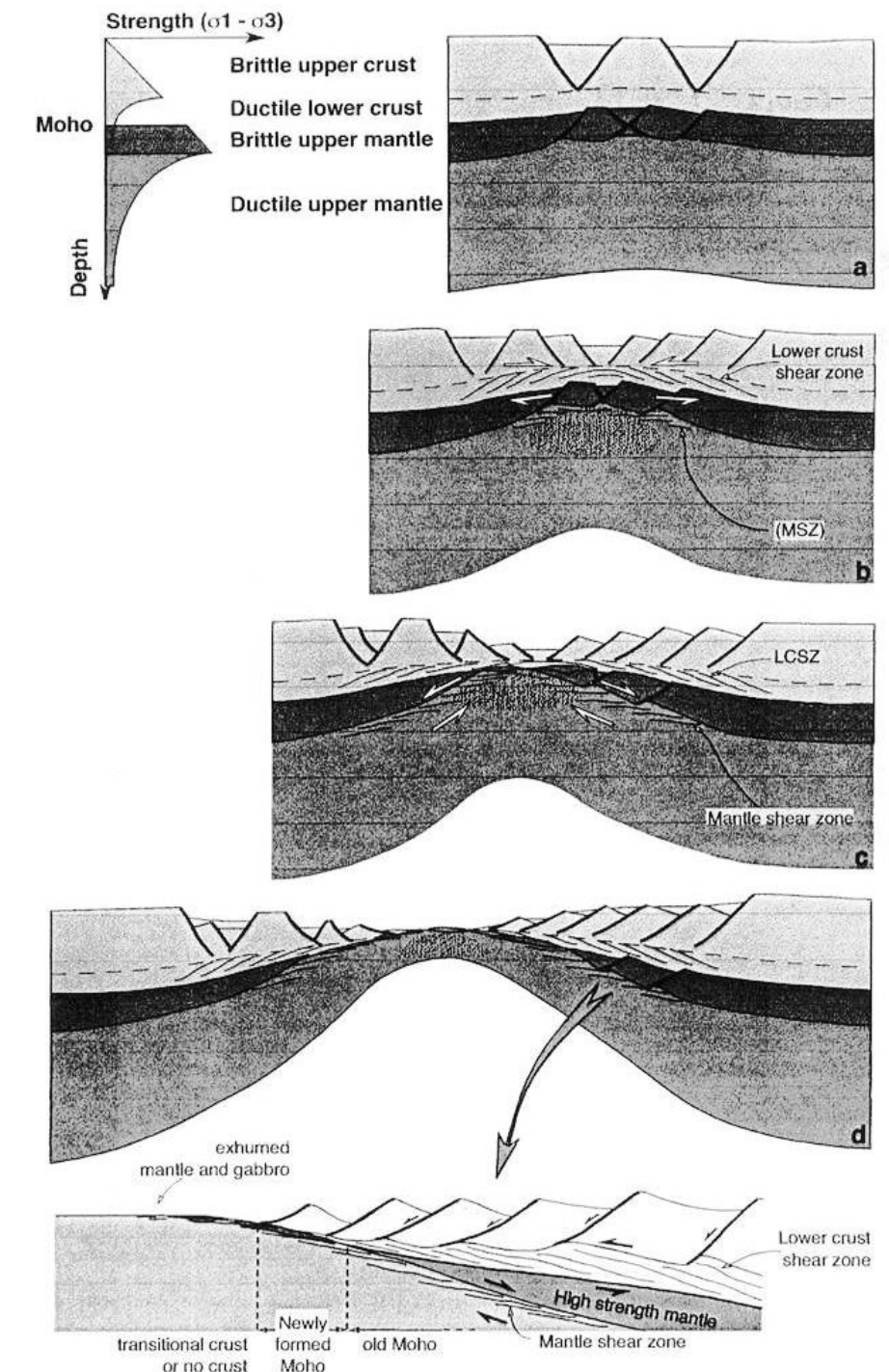
- *Kanteling van blokken, inzakking langs normale breuke*

Fase 3: “break-up”

- *Doorgezette rek, onderste “uitgerekte” korst “breekt”*
- *Opening rigide bovenmantel*

Fase 4: Genese van smelt

- *Vervorming & rek diepe mantel*
- *Aanmaak van oceanische lithosfeer*



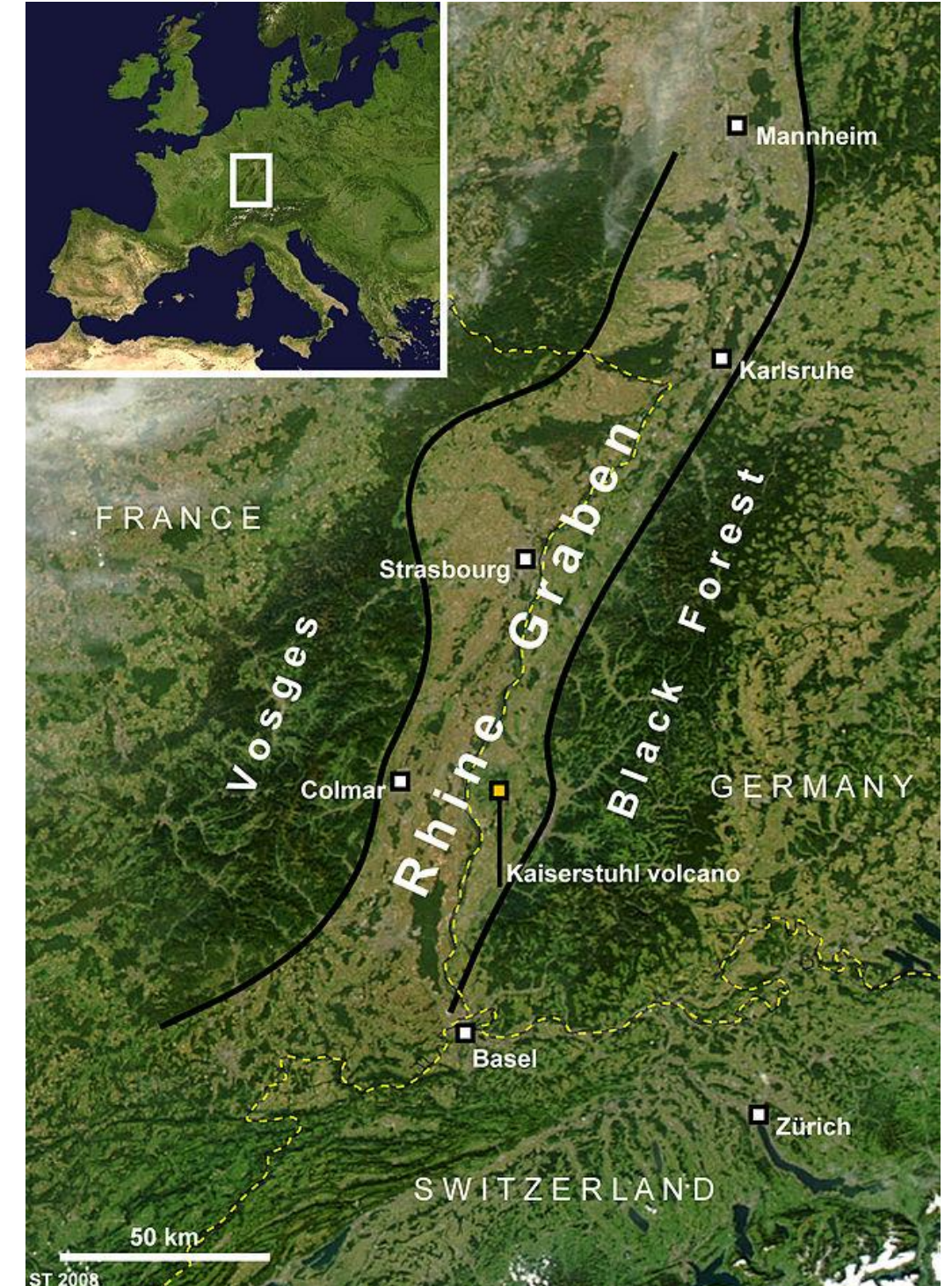
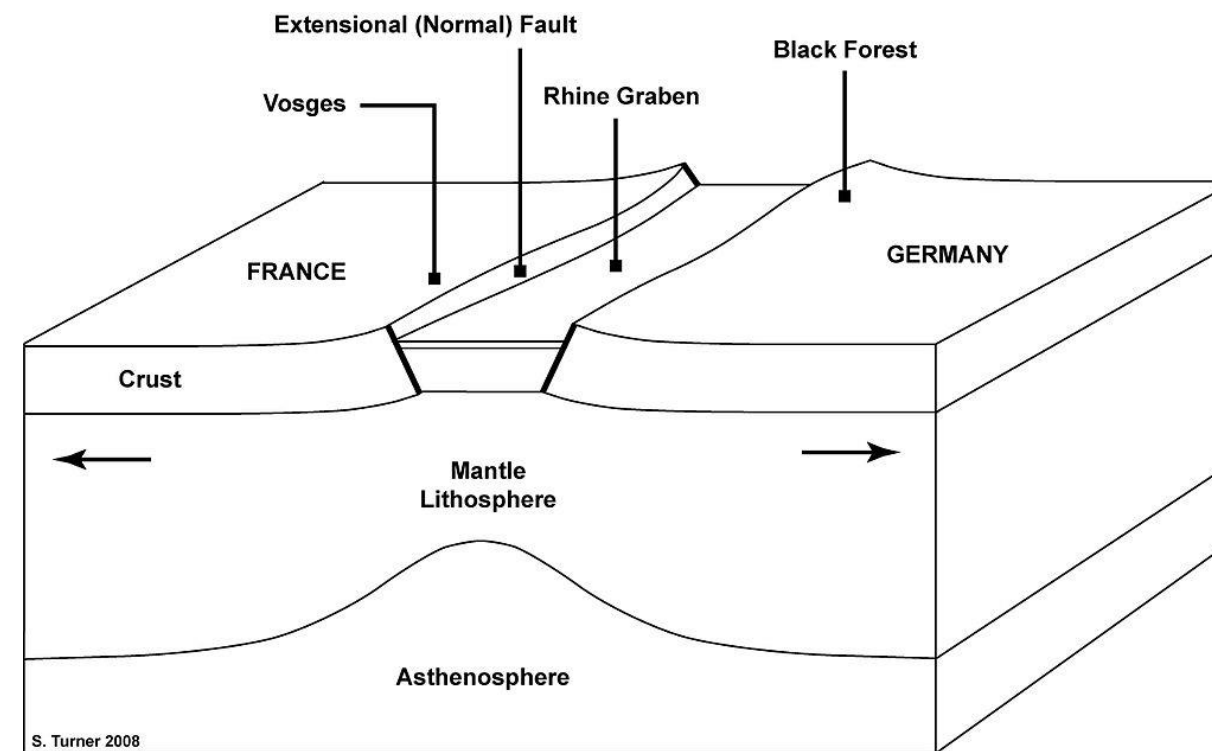
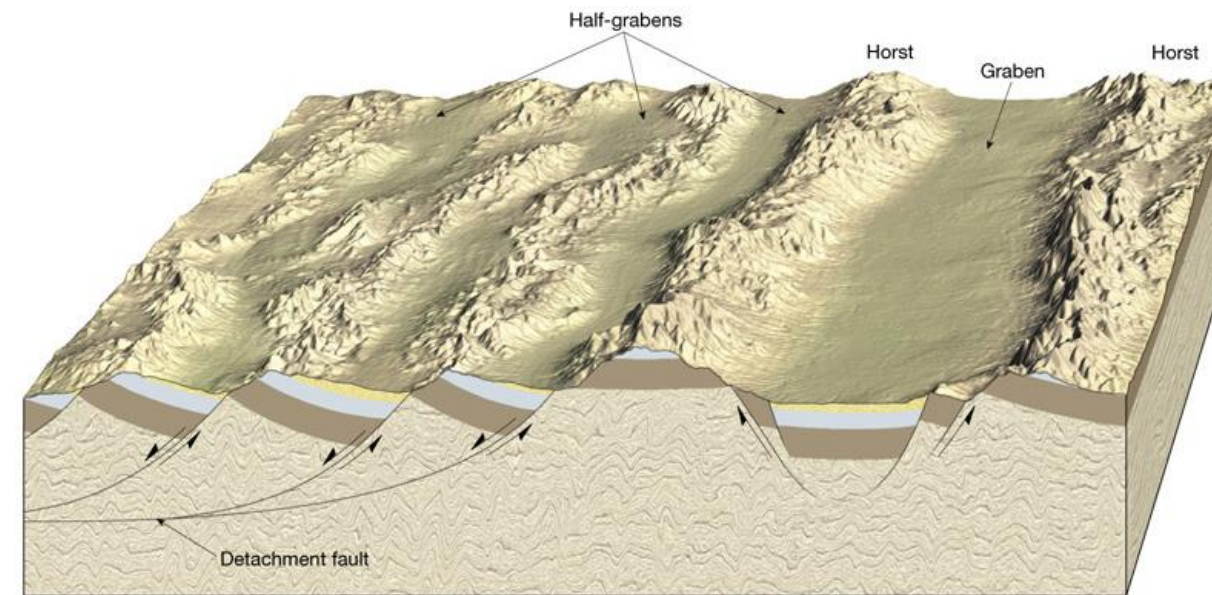
1. PLATENTEKTONIEK: BASISBEGRIPPEN & PROCESSEN

Riftprocessen nabij: Rijngraben

Rifting stopt wanneer de convectioncellen de lithosfeerplaten een andere richting geven...

“Failed rifts”:

- Rijngraben
- Noordzee
- Offshore bekkens



1. PLATENTEKTONIEK: BASISBEGRIPPEN & PROCESSEN

Actieve riftprocessen: de Oost-Afrikaans slenk



1. PLATENTEKTONIEK: BASISBEGRIPPEN & PROCESSEN

Actieve riftprocessen: de Oost-Afrikaanse slenk



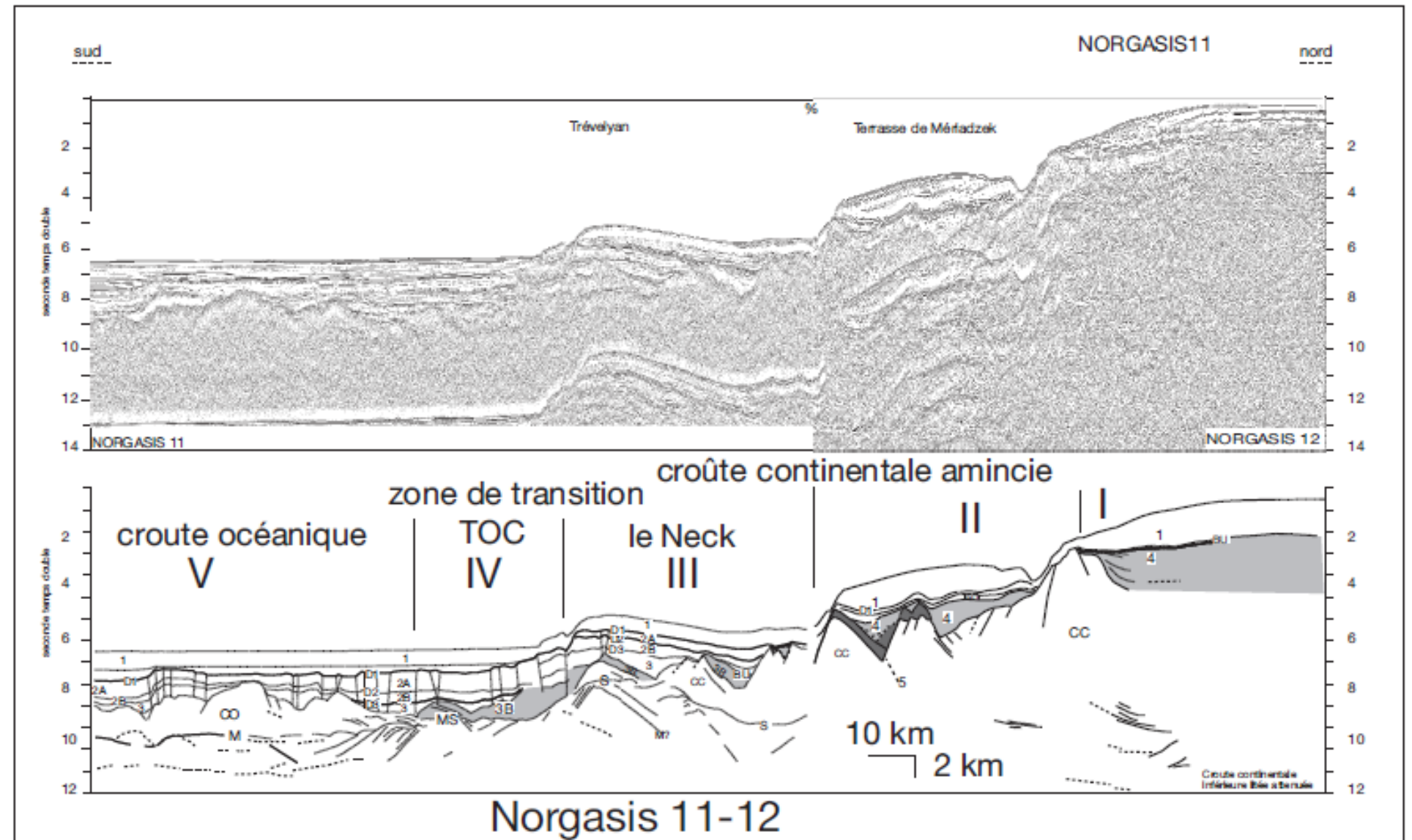
1. PLATENTEKTONIEK: BASISBEGRIPPEN & PROCESSEN

Overgang continentaal naar oceanisch milieu: subsidentie

De overgang naar oceanisch milieu gebeurt heel geleidelijk:

- “Syn-rift” bekkens (tussen blok)
- Continentale sedimentatie
- Grofkorrelig afbraakmateriaal
- Rijk aan organisch materiaal

Langzaam bedekt door fijnkorrelige oceanische diepzee sedimenten



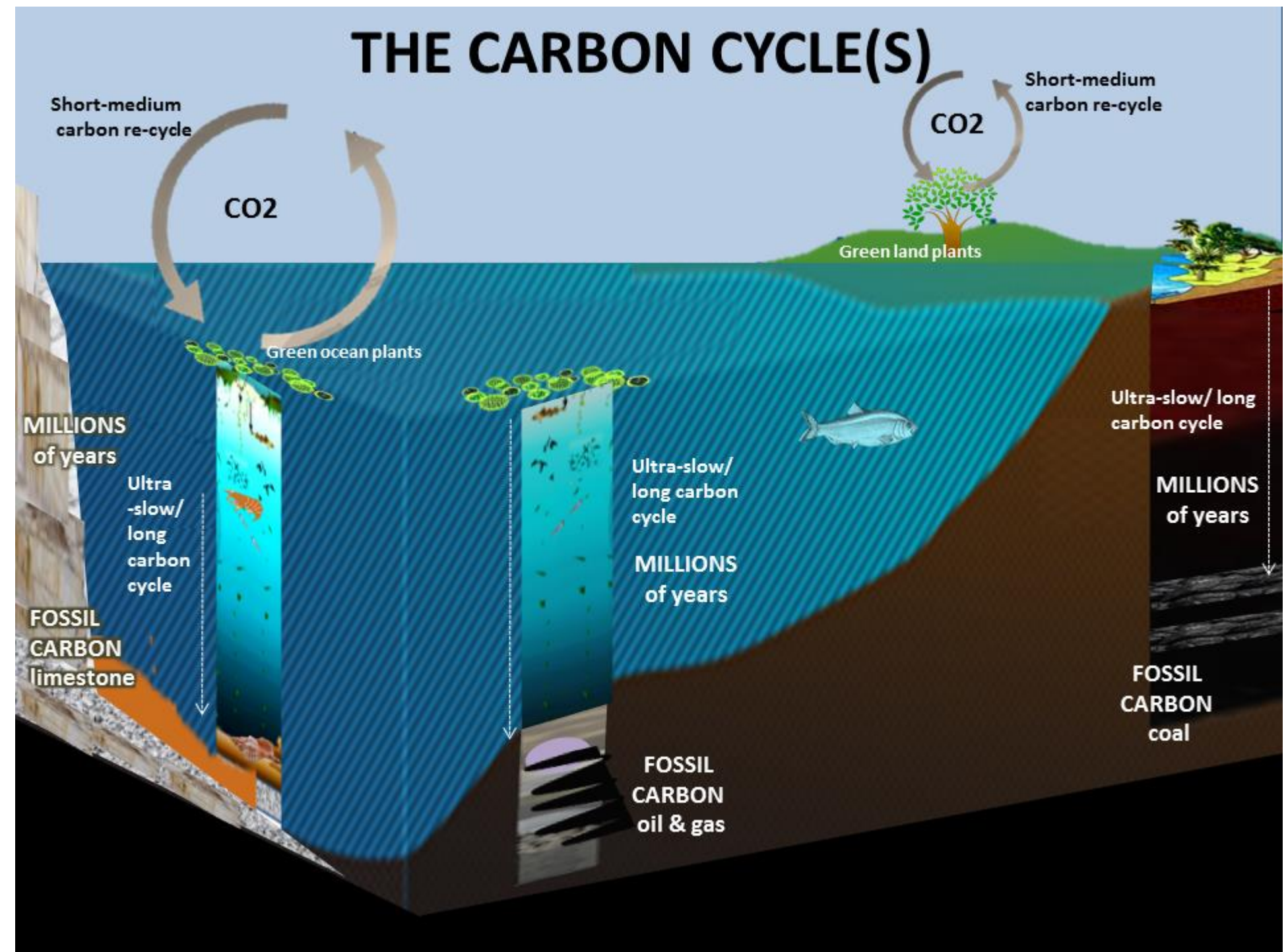
2. PLATENTEKTONIEK & GRONDSTOFFEN: “RANDEN”

De koolstofcyclus en koolwaterstoffen

Van source naar sink...

Verschillende sedimentaire omgevingen hebben een groot potentieel om koolstof om te zetten naar koolwaterstoffen.

Dit kan puur continentaal zijn, of puur marien... of hybride aan de continentale randen!

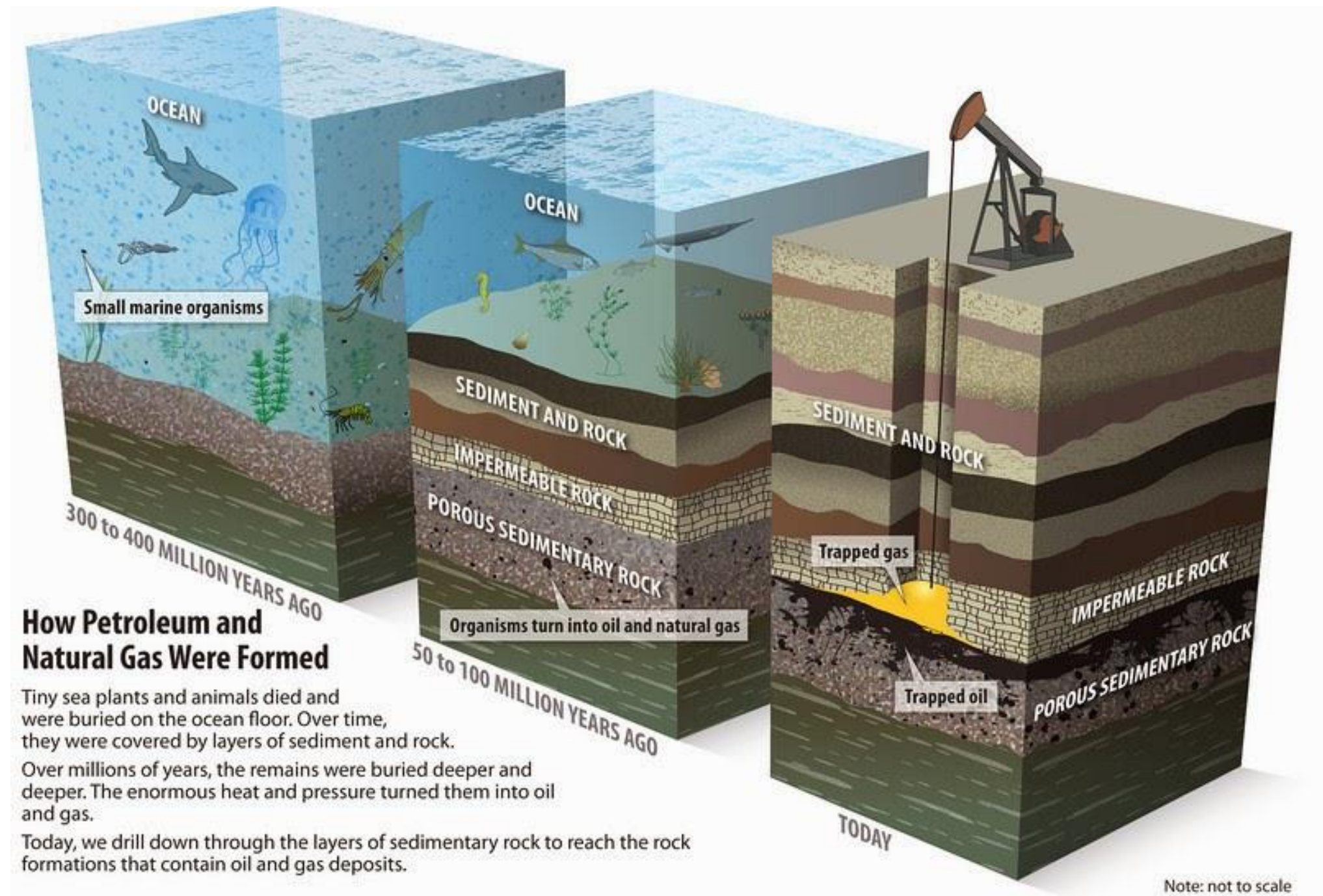


2. PLATENTEKTONIEK & GRONDSTOFFEN: “RANDEN”

Van mariene organismen naar olie & gas: tijd, warmte & druk

Hoewel het basisprincipe van de “rijping” van mariene organismen hiernaast correct is afgebeeld, is een “open mariene” context geen “all-in” succesformule...

De omgeving waarin de sedimentatie gebeurt en wordt bewaard, moet voldoen aan bepaalde basiscriteria...



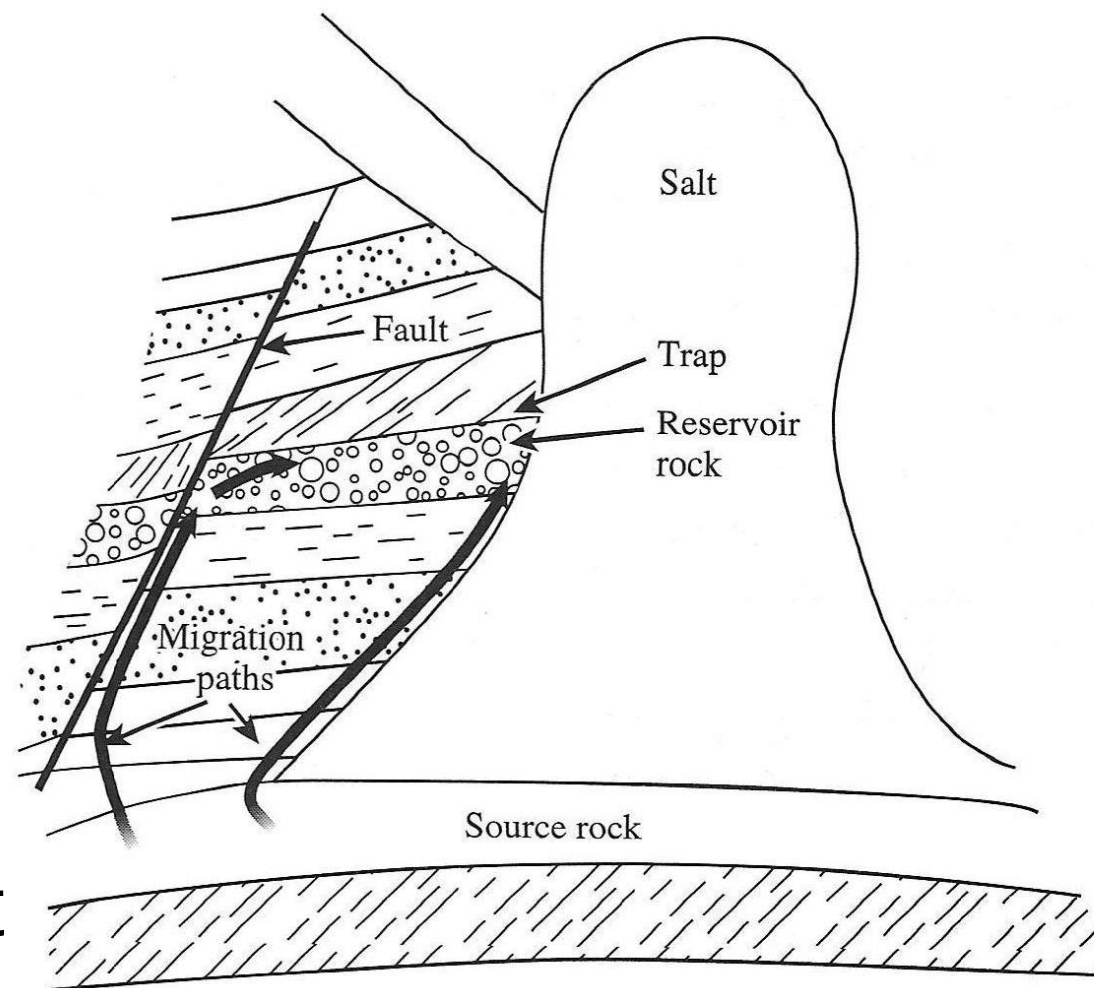
2. PLATENTEKTONIEK & GRONDSTOFFEN: “RANDEN”

Energiebronnen & grondstoffen aan continentale randen

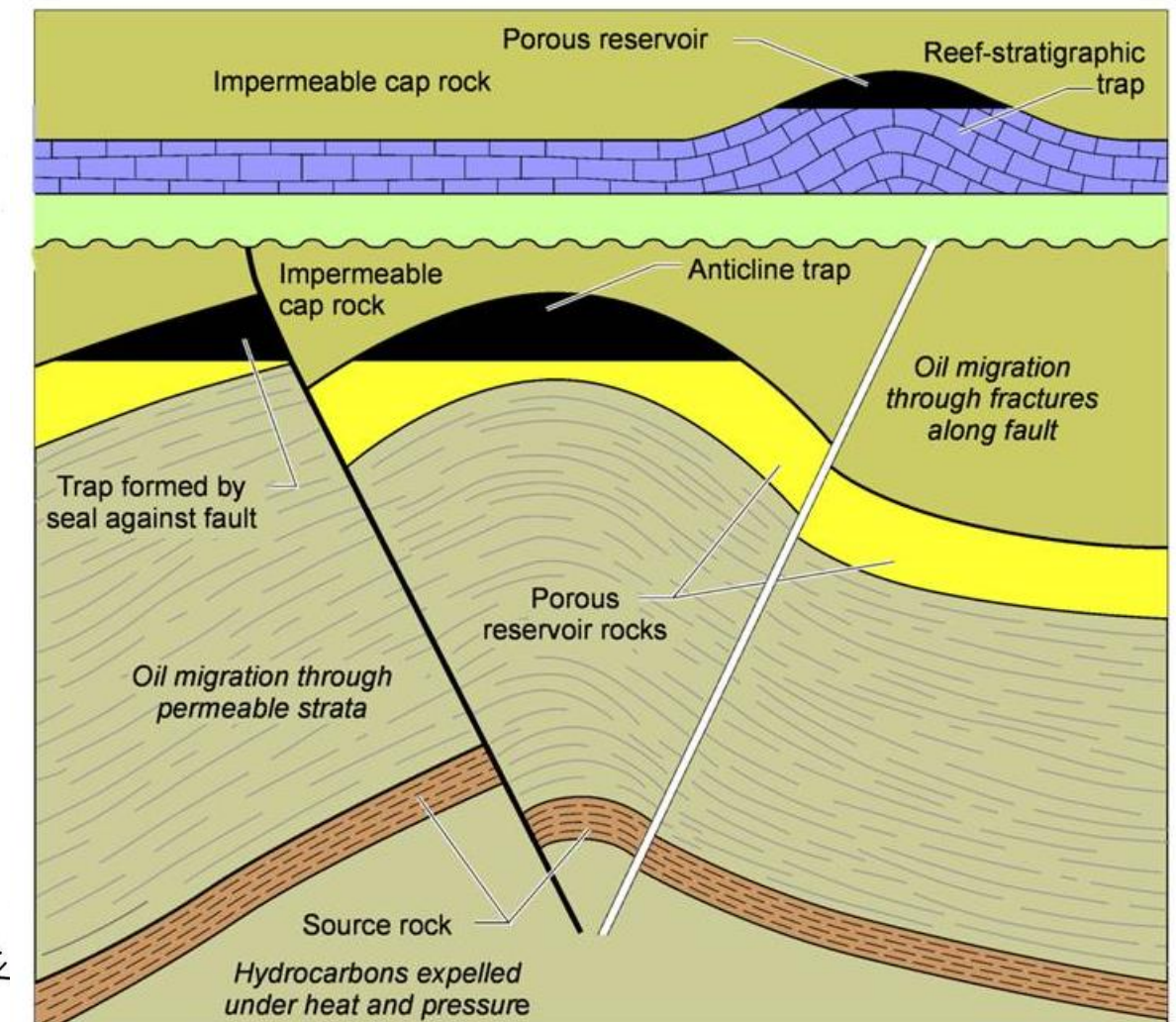
De opbouw van een passieve rand is de bron van de huidige petroleumreservoirs

- “Source rock”
- Migratiepaden
- Reservoirs
- Stratigrafische “traps”
- “Cap rocks”

Sleutelwoord: permeabiliteit



Leffler et al. (2003)



Nichols (2009)

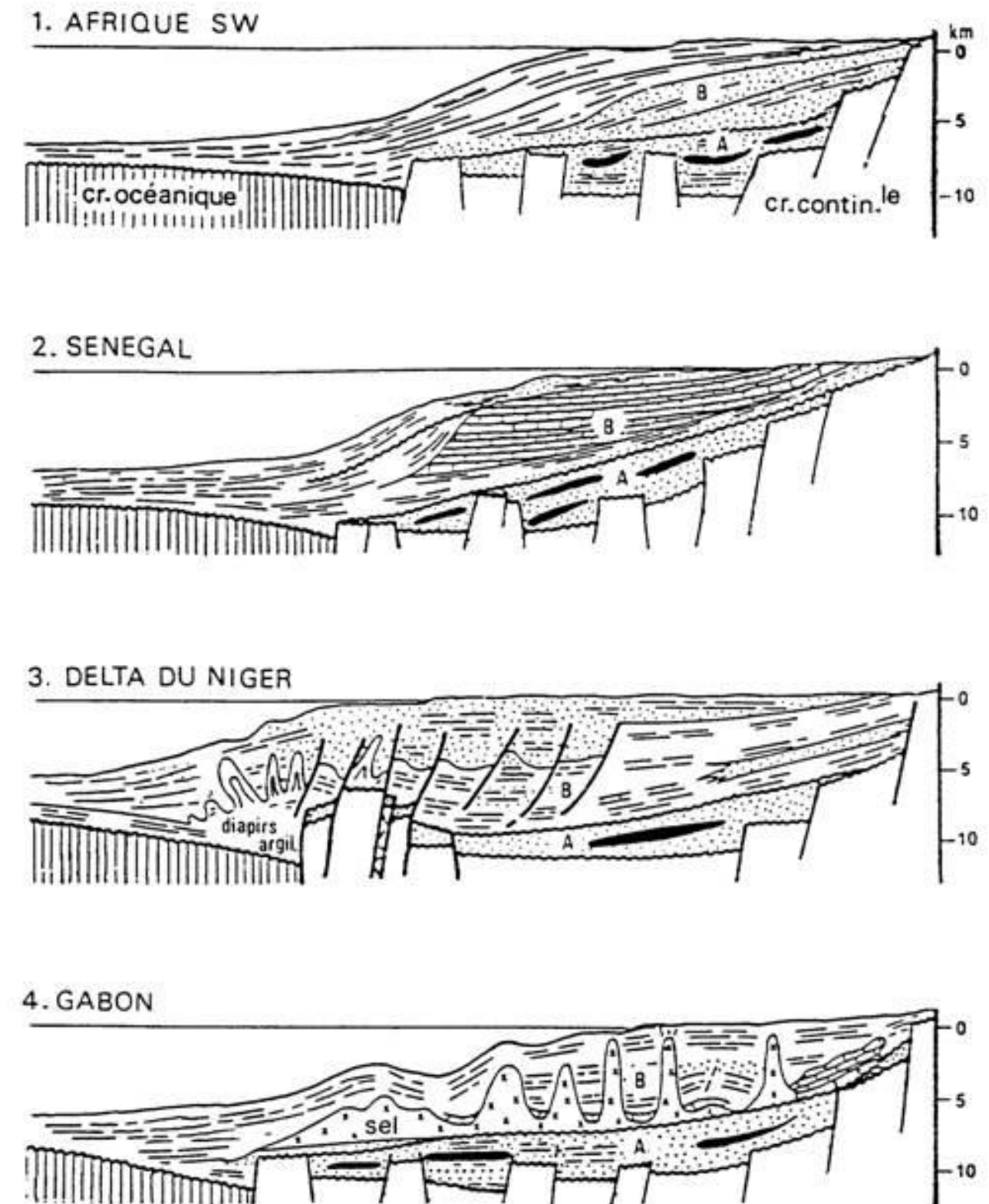
2. PLATENTEKTONIEK & GRONDSTOFFEN: “RANDEN”

Locatie van de diepwater KWS reservoirs

Een verscheidenheid aan structuren op de passieve continentale randen zorgen voor KWS reservoirs, hoofdzakelijk rond Jura/Krijt.

De “conventionele” reservoirs lagen vrij ondiep...

De hedendaagse zoektocht speurt naar de reservoirs op grotere diepte (bsl & bsf), zowel als naar de “kleinere” die moeilijker op te sporen zijn, of moeilijker om aan te boren...

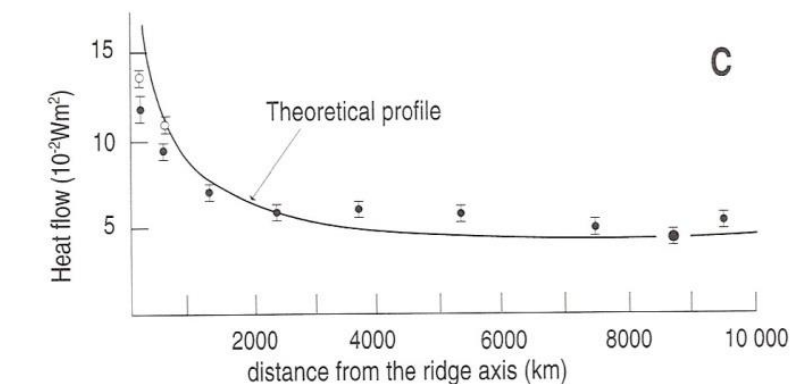
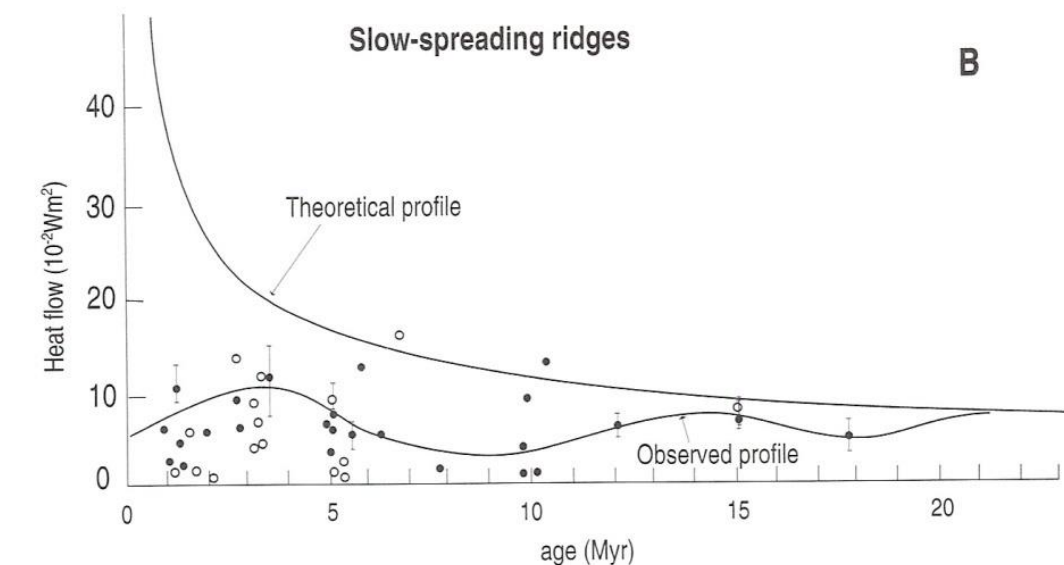
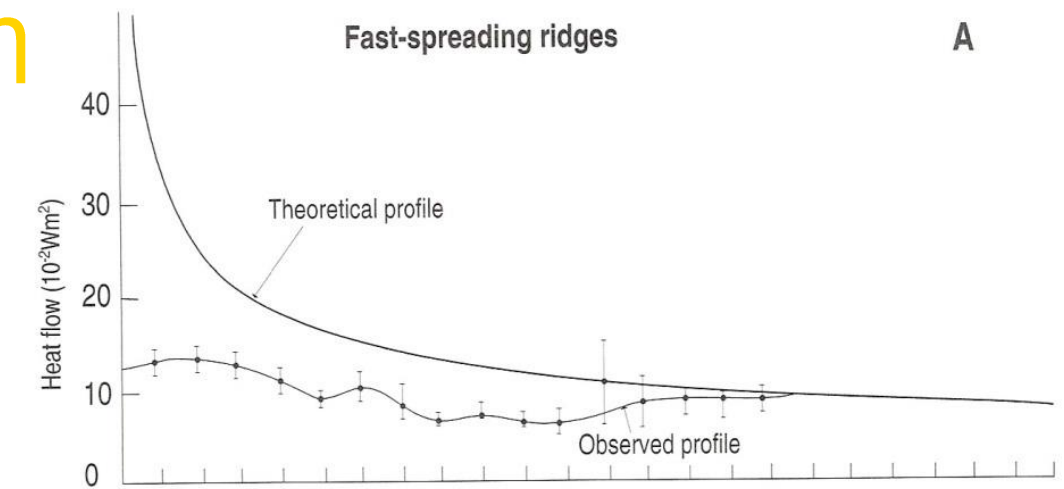
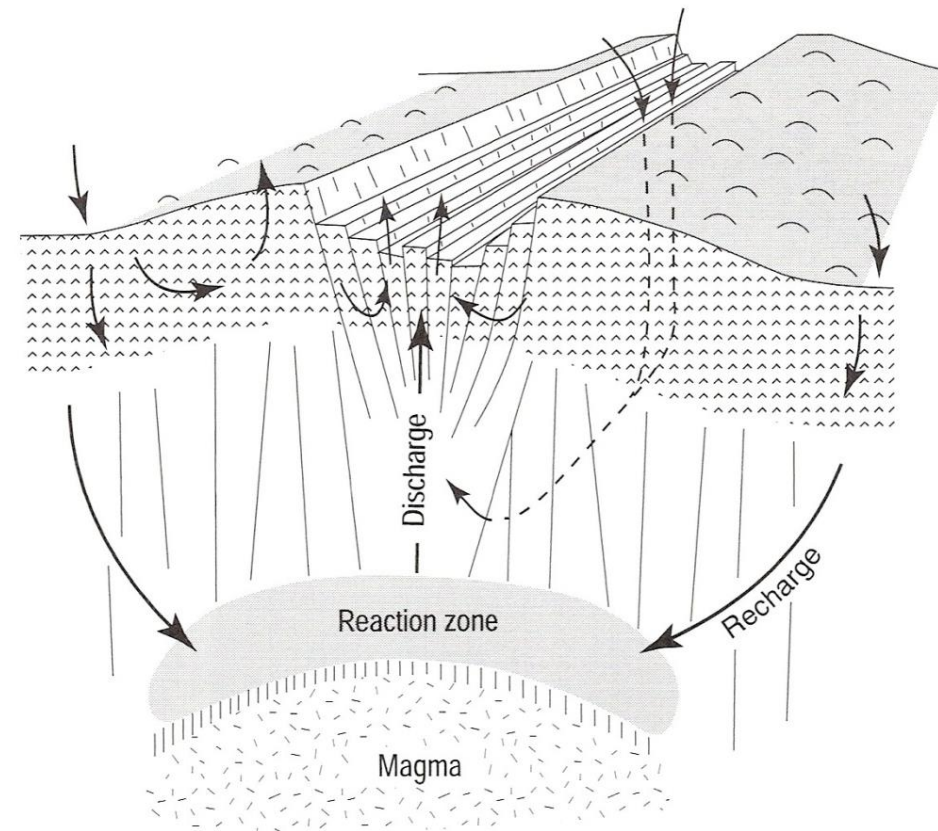


2. PLATENTEKTONIEK & GRONDSTOFFEN: “RANDEN”

Energiebronnen & grondstoffen aan plaatranden

Divergente plaatranden bieden een andere vorm van grondstoffen, gebonden aan de lokale warmteflux, en in conflict met Parsons & Sclater (enkel conductief...)

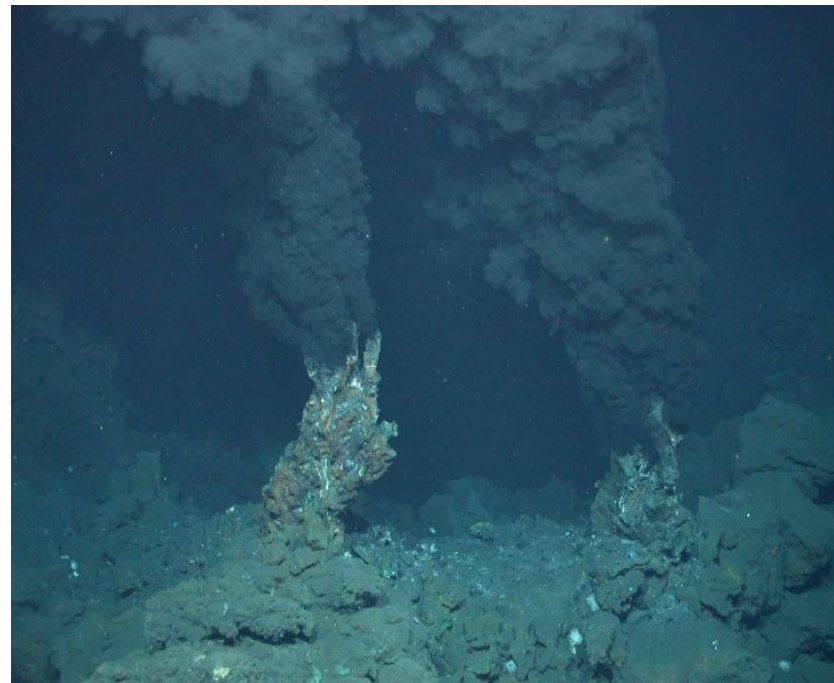
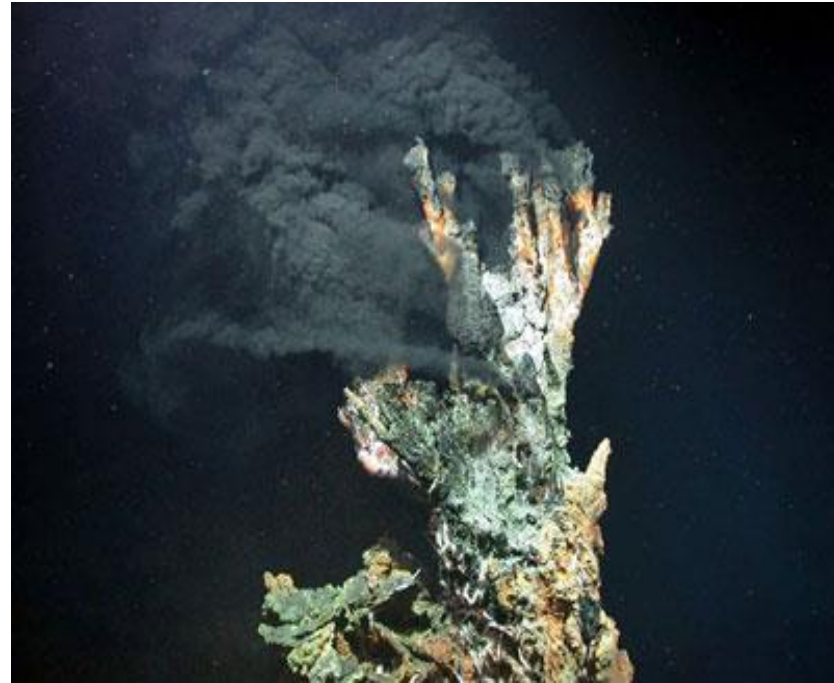
Black smokers zijn eigenlijk een verklaring van een jarenlang mysterie... dat uiteindelijk maar opgelost kon worden door bemande duiktochten!



Lowrie (2007)

2. PLATENTEKTONIEK & GRONDSTOFFEN: “RANDEN”

Black smokers: minerale grondstoffen & extreme leefomstandigheden

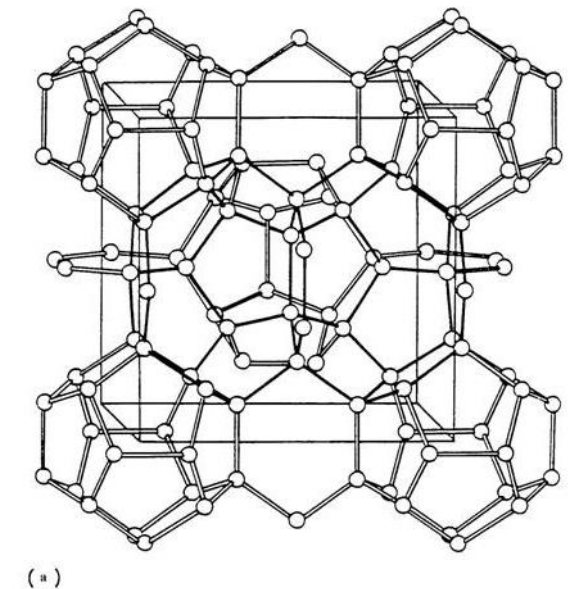
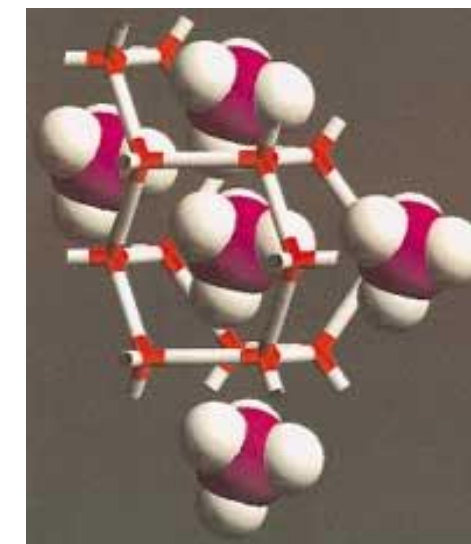
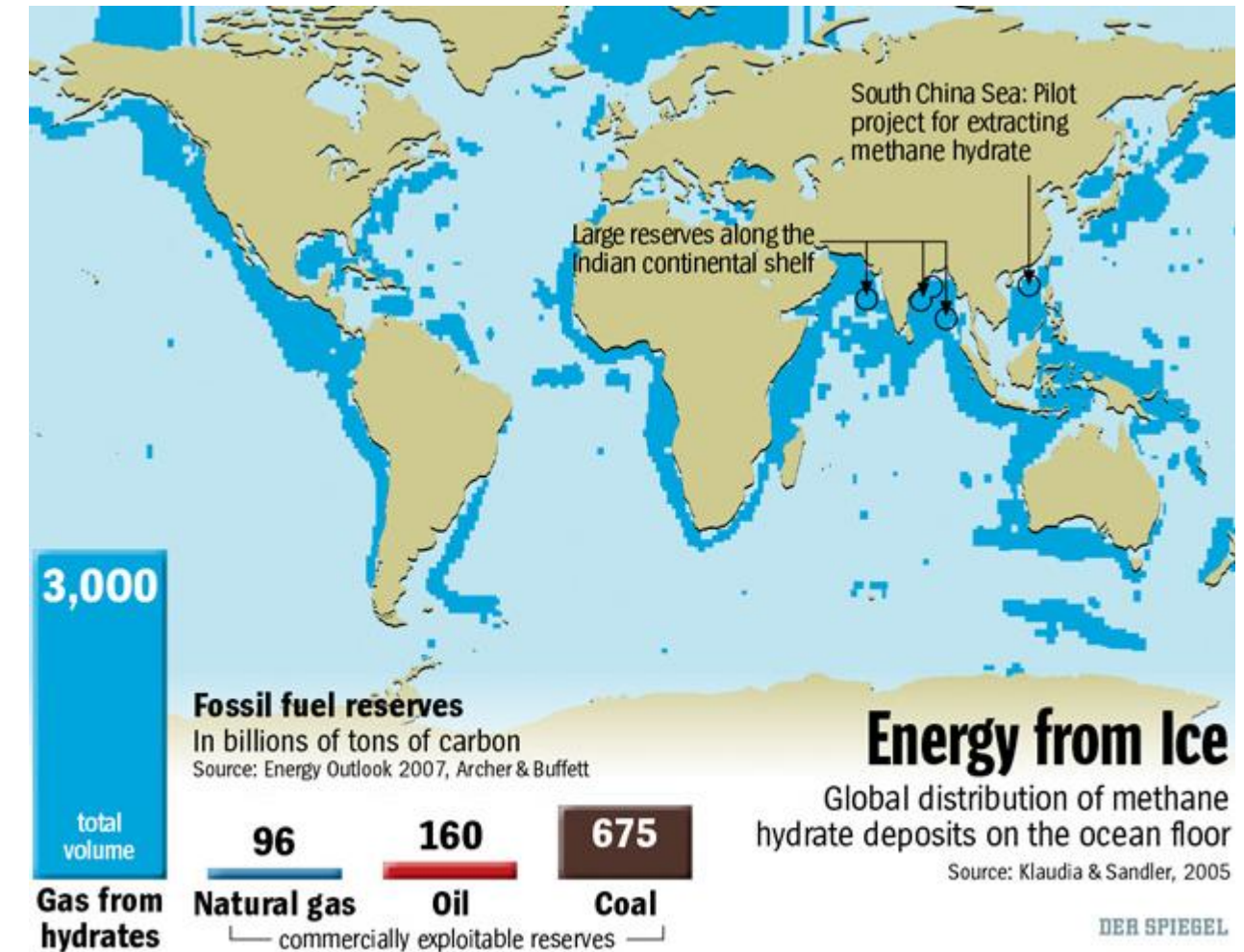


2. PLATENTEKTONIEK & GRONDSTOFFEN: DE “TOEKOMST”

Nieuwe energiebronnen: de gashydraten

- IJsachtige kristallijne structuren (clathraat), uit een kooi van water met gevangen gas
- Gas: methaan (99%) en kleinere concentraties van CO₂, H₂S, ethaan, propaan,...
- Stabiel onder specifieke omstandigheden (druk, temperatuur en gas samenstelling)

1 cm³ methaanhidraat = 164 cm³ methaangas



2. PLATENTEKTONIEK & GRONDSTOFFEN: DE “TOEKOMST”

Nieuwe energiebronnen: de gashydraten

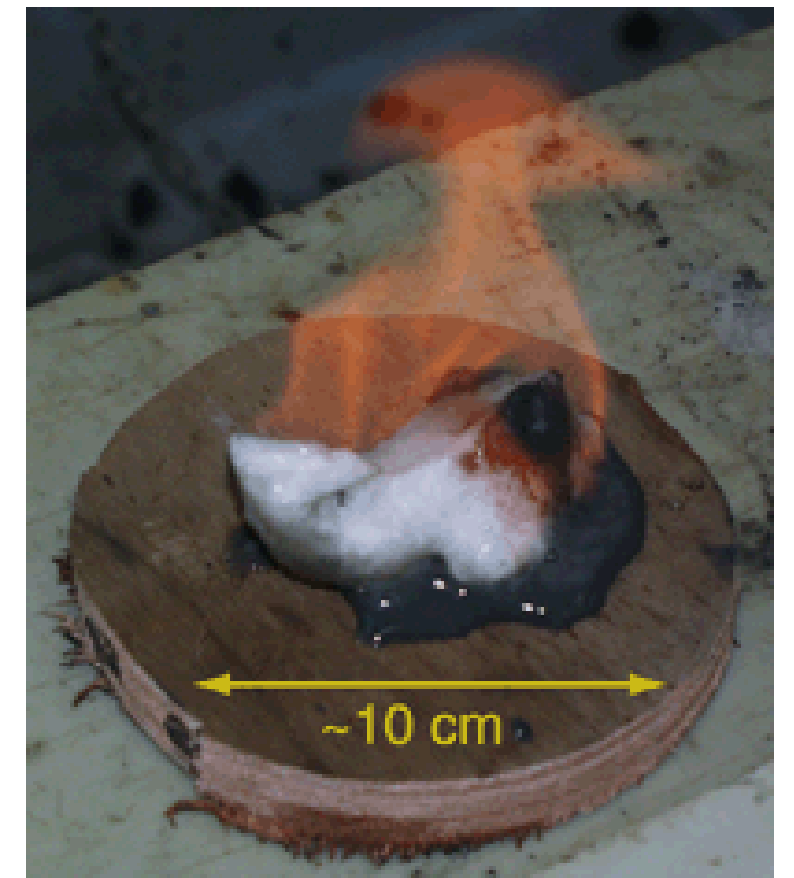
De ontginning is echter niet voor morgen...

Verandert fysische eigenschappen van sediment:

- Vervangt poriënwater door vaste stof
- Vermindert poriën en permeabiliteit

Gevaar bij destabilisatie (climate change, boringen...)

- Stabiliteit helling, boring, pijpleiding...
- Methaan is een broeikasgas, bereikt de atmosfeer na abrupte blootstelling (slide, opwarming...)

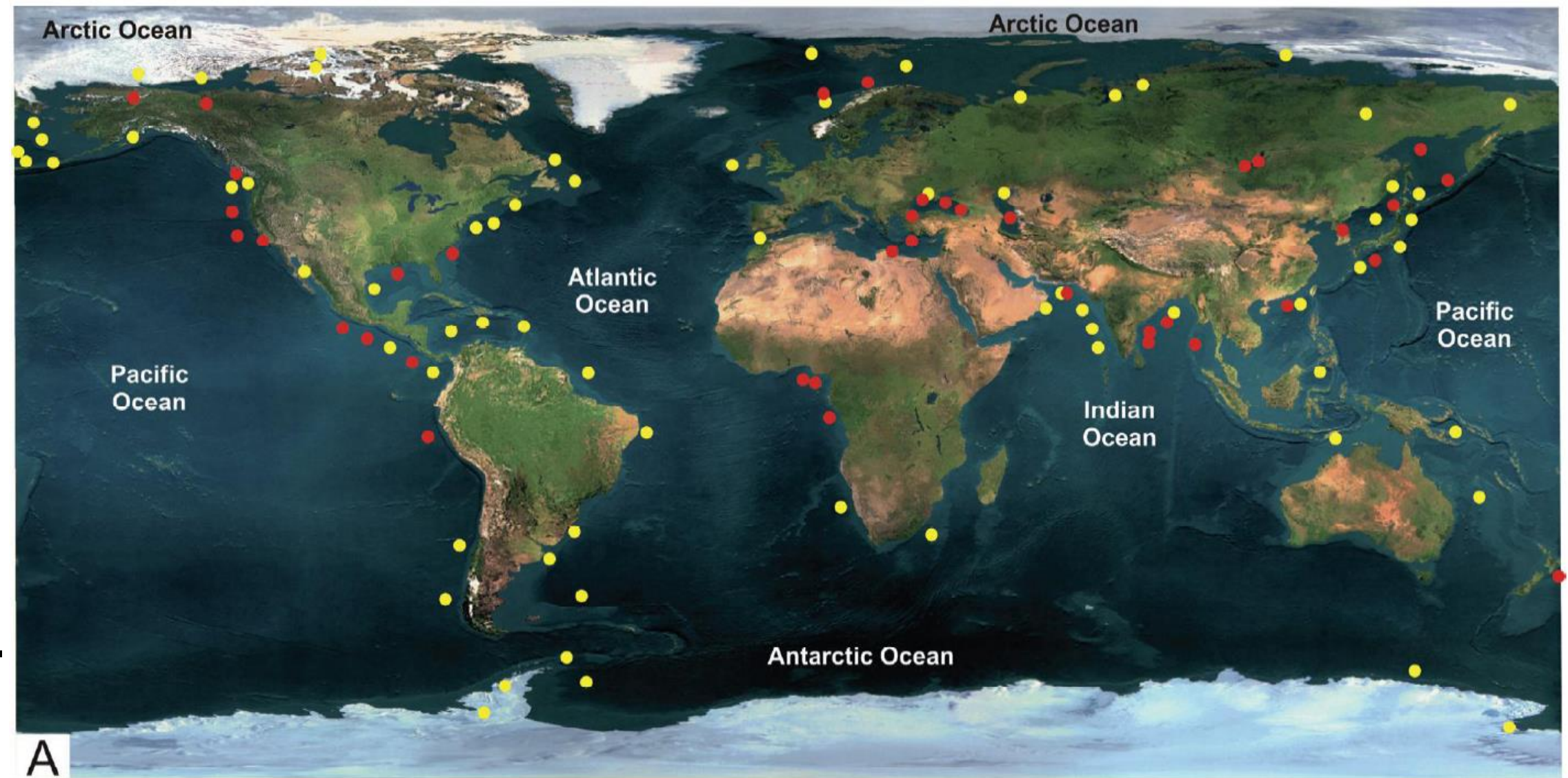


2. PLATENTEKTONIEK & GRONDSTOFFEN: DE “TOEKOMST”

Nieuwe energiebronnen: de gashydraten

Het ontsnappende methaan uit oceanische hydraten kan worden gebufferd door water

Echter, continentale hydraten (permafrost) zijn wel een reëel gevaar.



Rode cirkels: bemonsterde gashydraten

Gele cirkels: vermoedde aanwezigheid van gashydrates

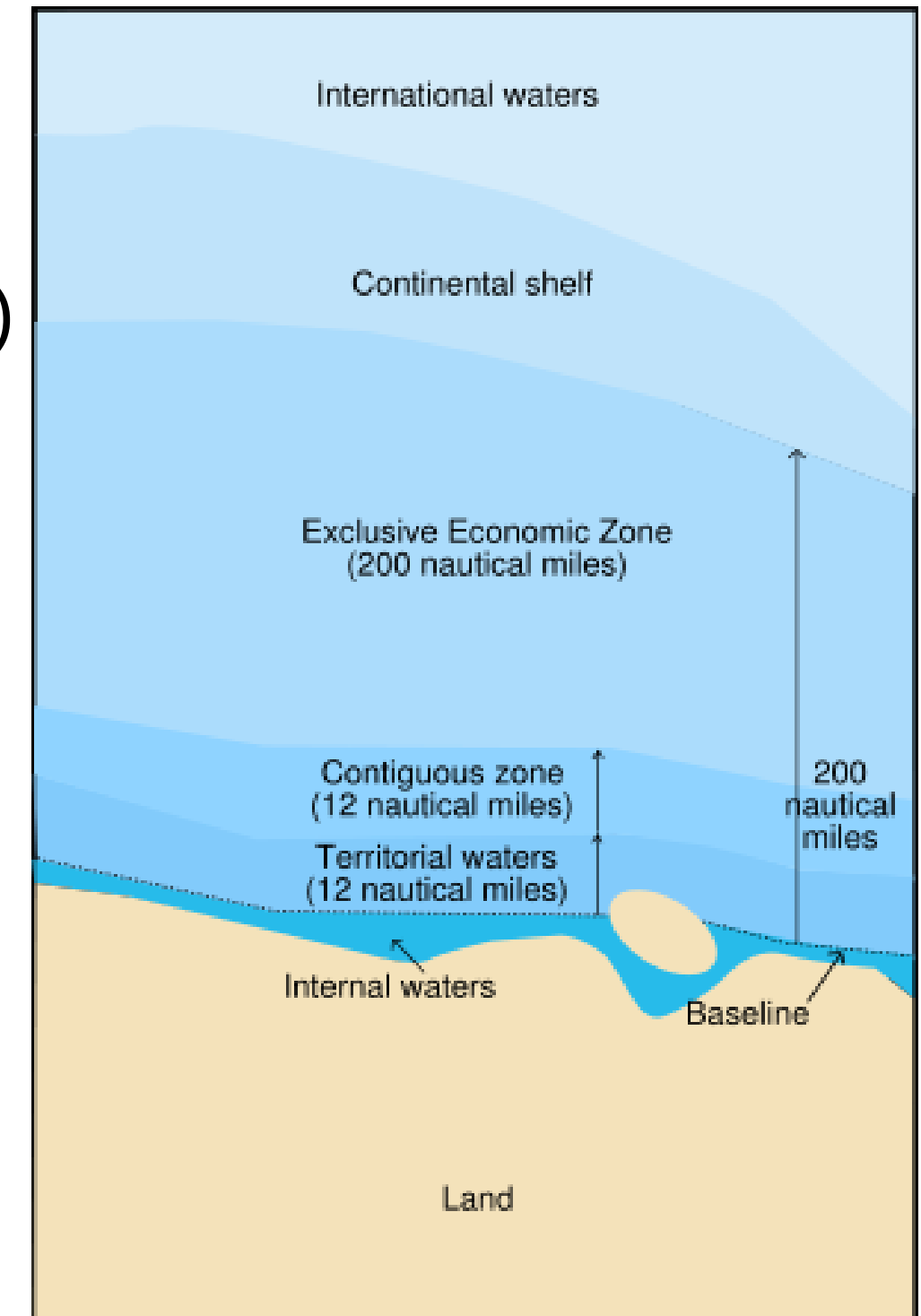
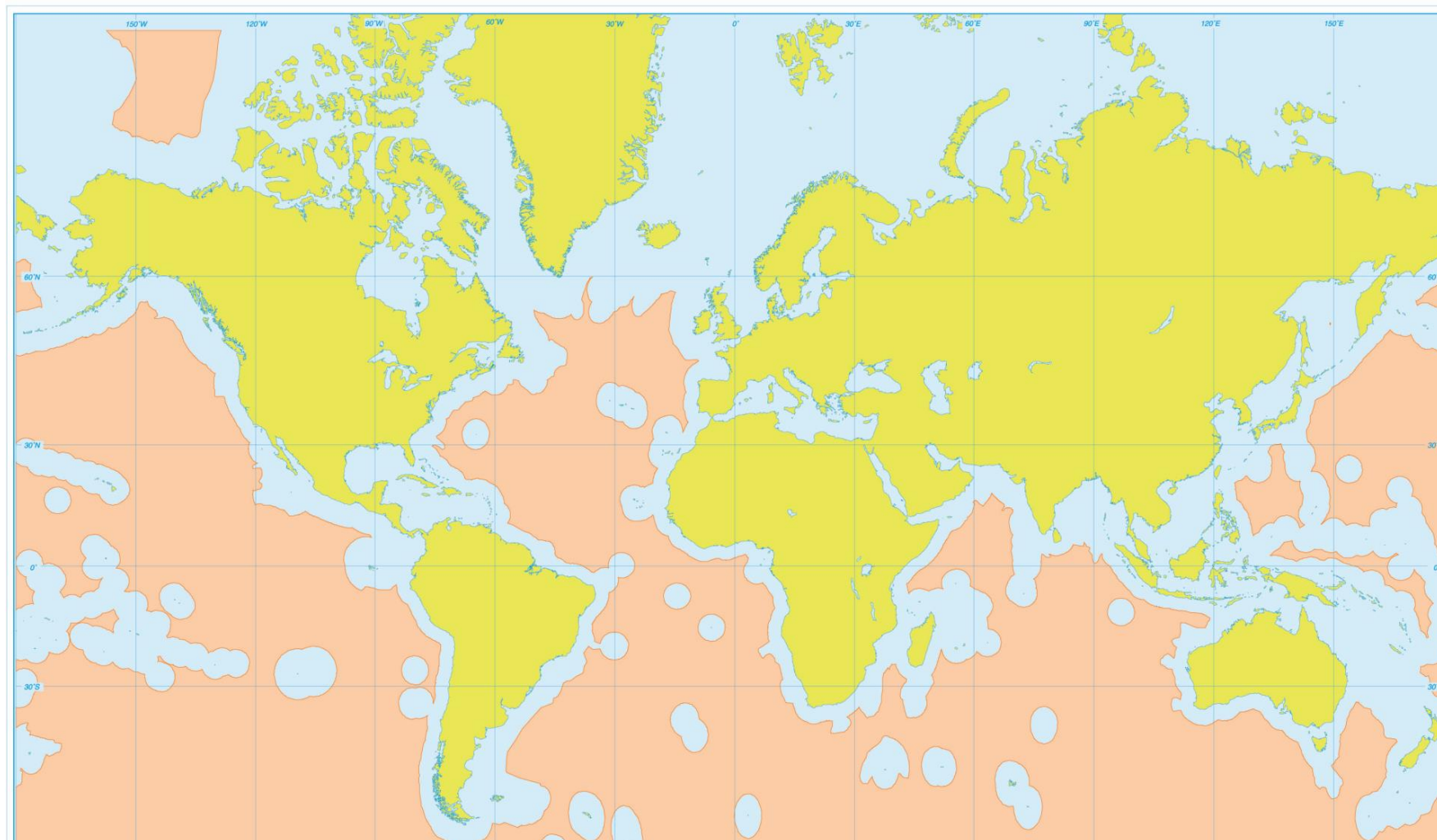
Naudts (2010)

3. GEOPOLITIEKE BETEKENIS VAN DE CONTINENTALE RANDEN

Exclusief Economische Zone = continentale rand

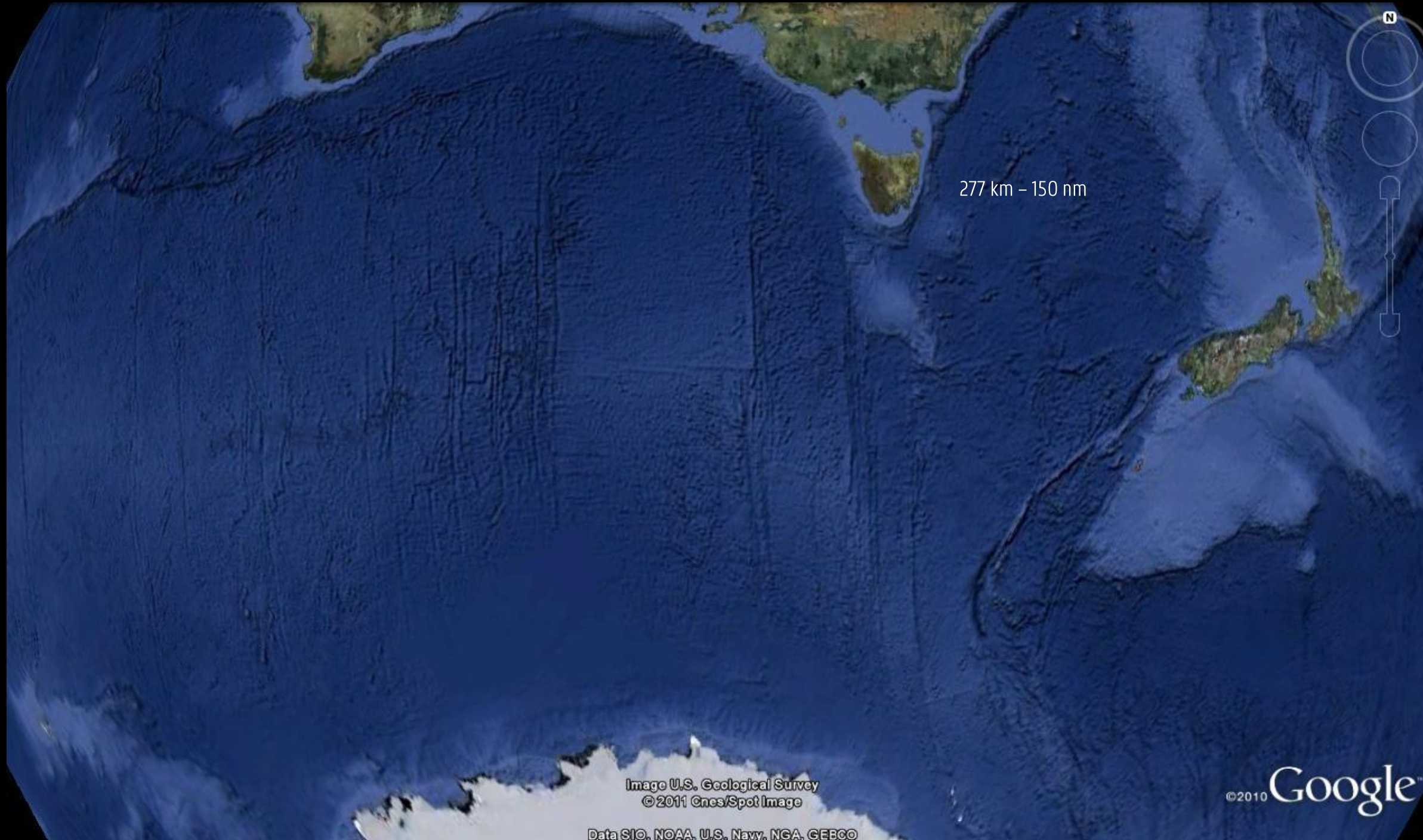
“The Area”: zeebodem buiten de EEZ = werelderfgoed

Beheerd door International Seabed Authority (sinds 1994)



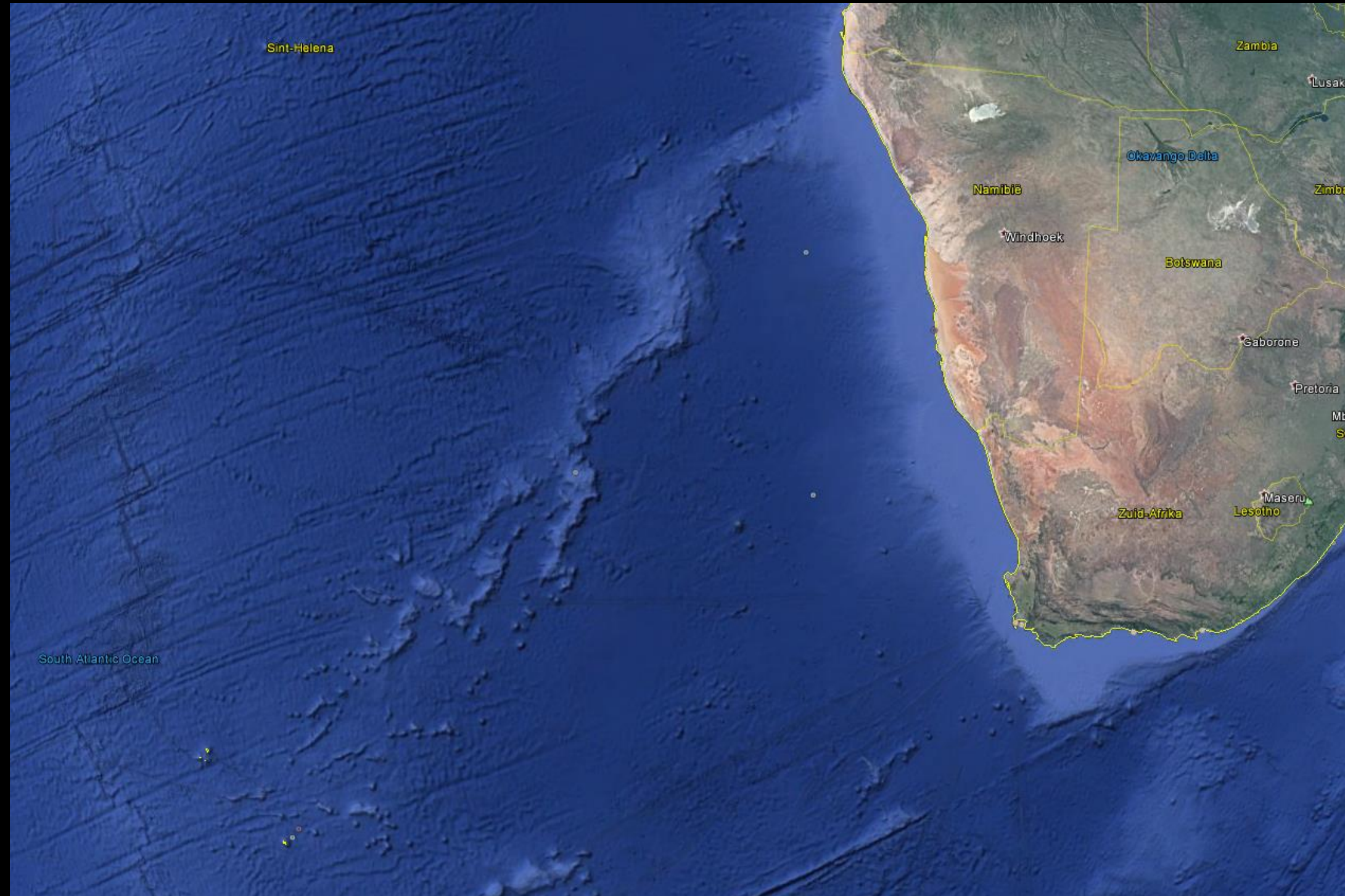
3. GEOPOLITIEKE BETEKENIS VAN DE CONTINENTALE RANDEN

Aanpassingen van de EEZ: Australië & Tasmanië



3. GEOPOLITIEKE BETEKENIS VAN DE CONTINENTALE RANDEN

Aanpassingen van de EEZ: Walvis rug & Namibië



3. GEOPOLITIEKE BETEKENIS VAN DE CONTINENTALE RANDEN

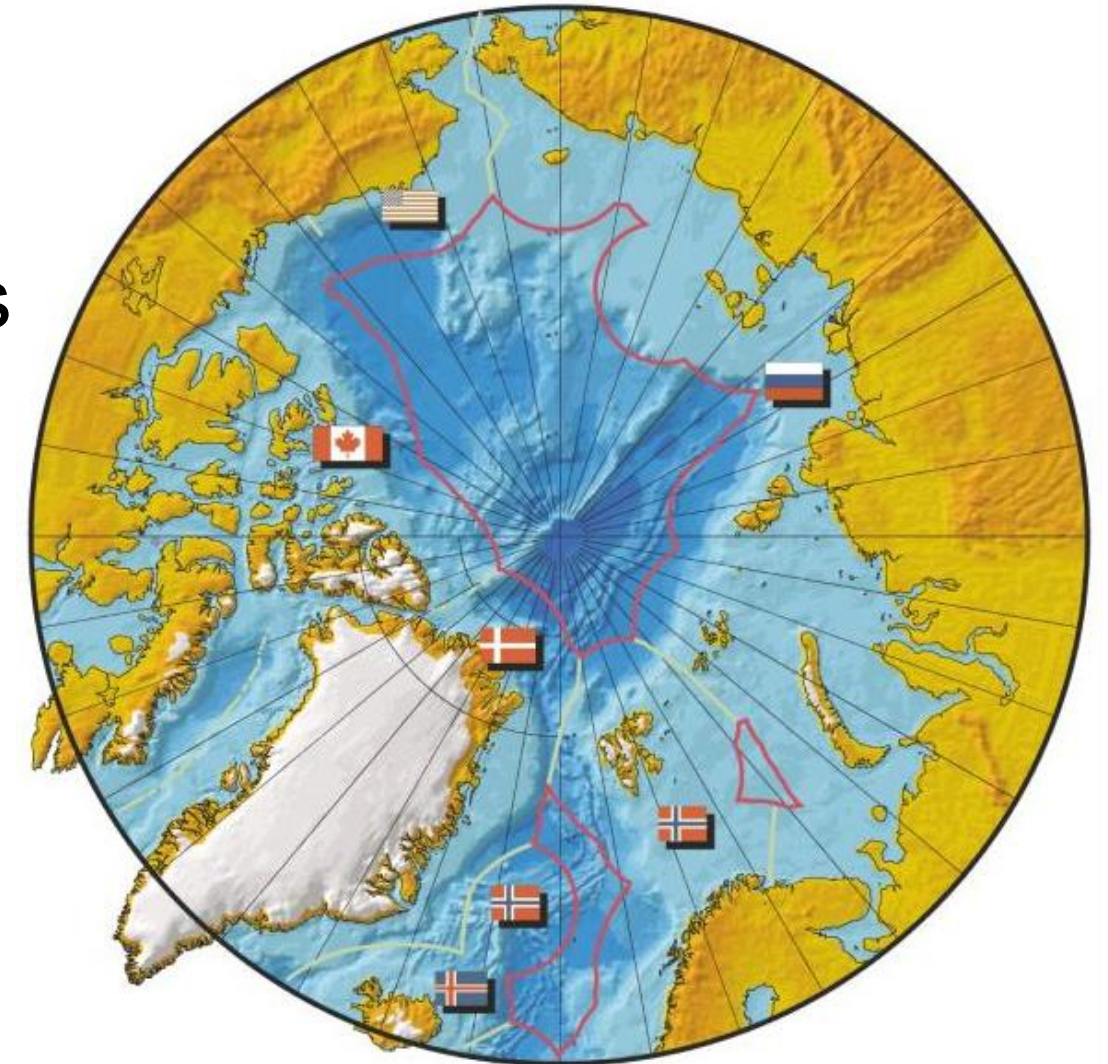
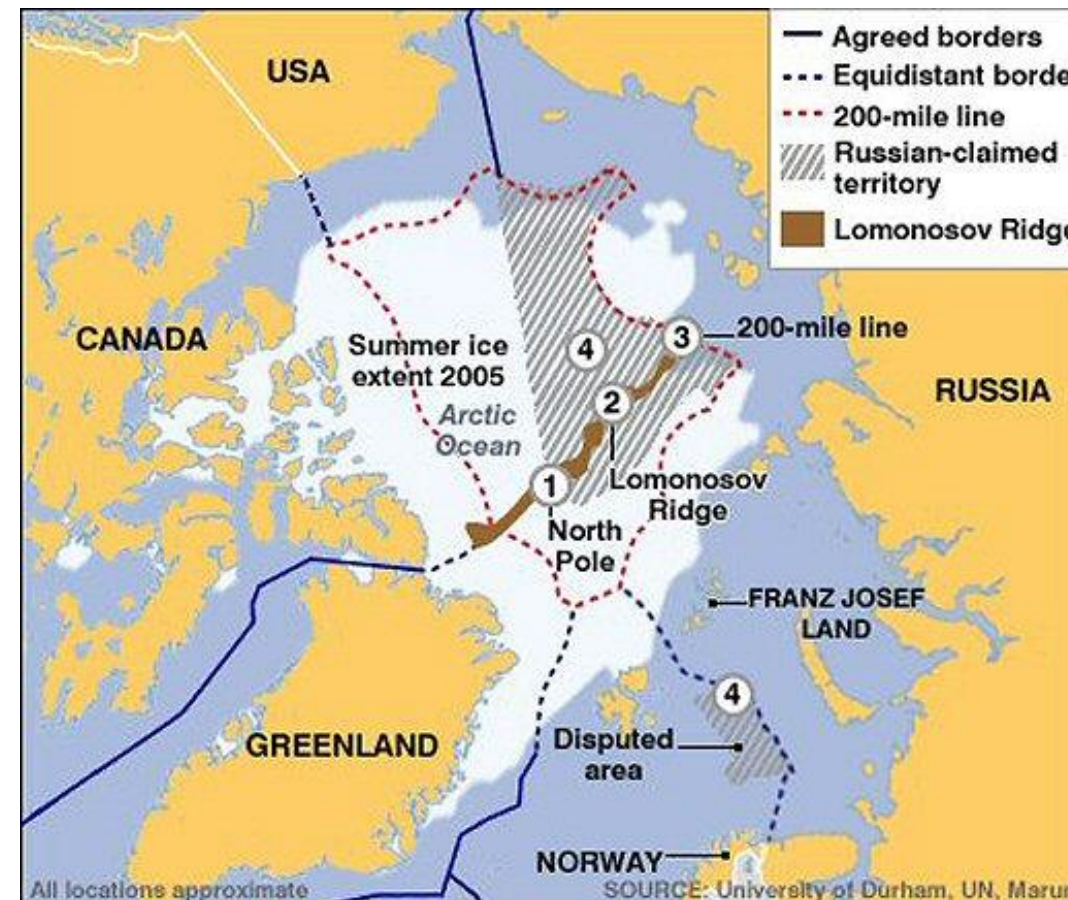
Aanpassingen van de EEZ

Wegens het langzame smelten van het poolijs, gaan scheeproutes bevaarbaar worden, en worden “gebruikers rechten” van de Arctische zeebodem een probleem...

Limieten van de EEZ van Arctische kuststaten:

Huidige situatie,
volgens UN-ISA:

“geel”: bilaterale limieten
“rood”: “High Seas” limiet



4. ZEELANDIA: HET BELANG VAN HET 7^{DE} CONTINENT

Waarom bleef Zealandia zo lang verborgen?

Wat is een (geologisch) continent?

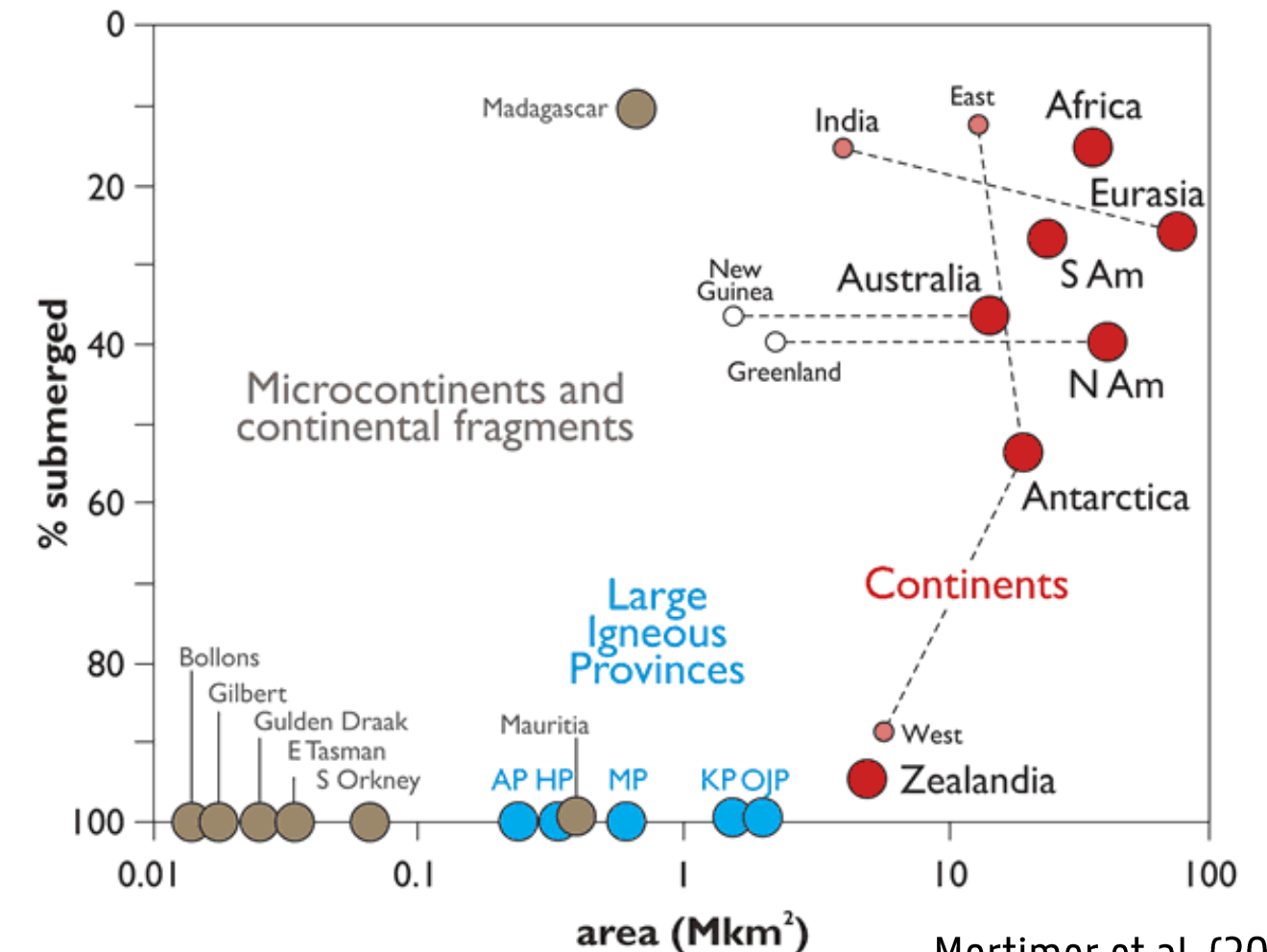
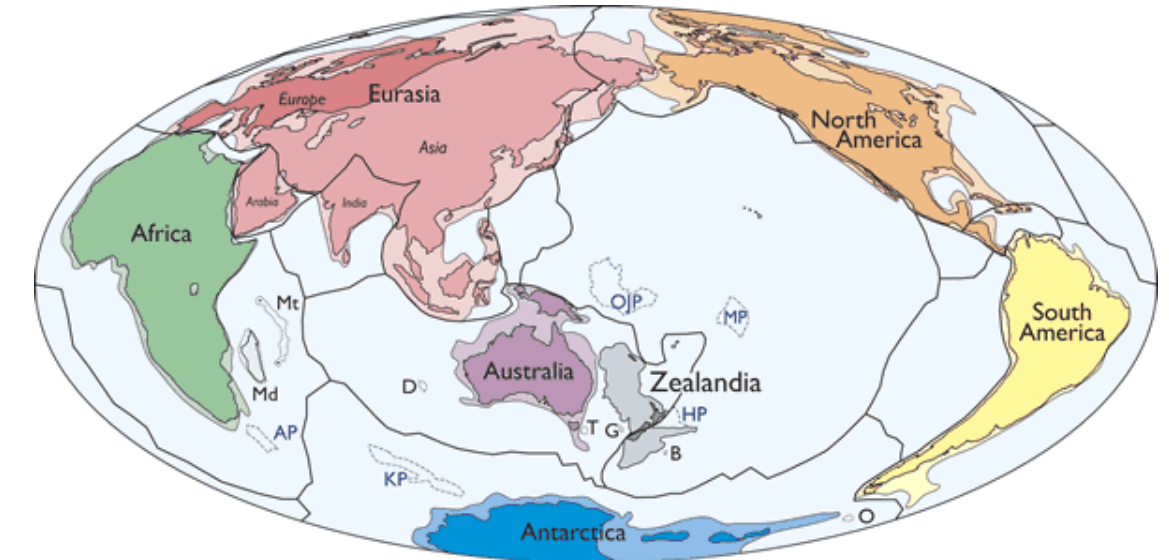
- Groot en geologisch/bathymetrisch geïsoleerd
- Geen “Large Igneous Province”

Problematisch:

- Relatie tot lithosfeerplaten en plaatranden
- Boven water...

Zeelandia:

- Kleinste continentale massa
- Groter dan (verzonken) microcontinenten

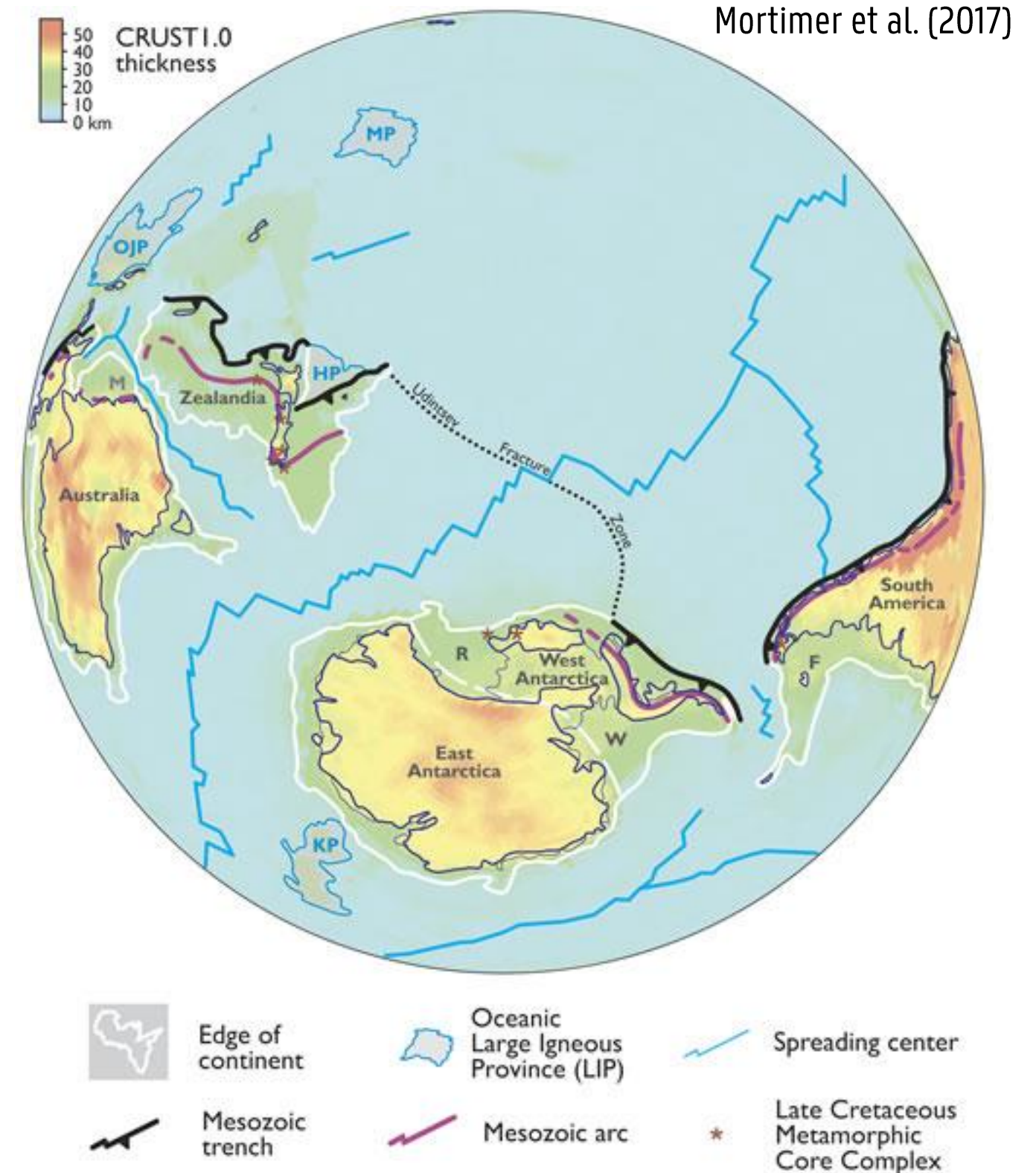
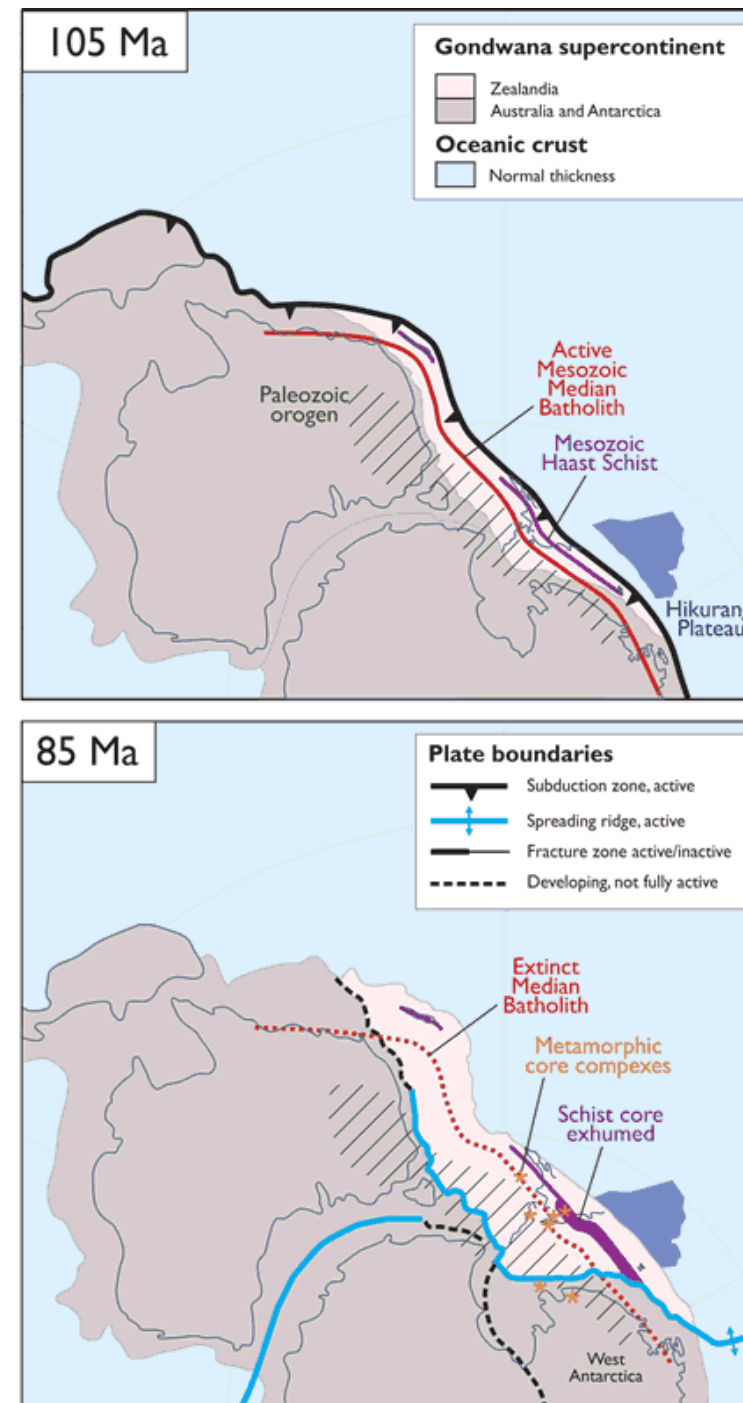


Mortimer et al. (2017)

4. ZEELANDIA: HET BELANG VAN HET 7^{DE} CONTINENT

Waarom bleef Zealandia zo lang verborgen?

- Afgescheiden van West-Antarctica en Australië
- Verdunning van grootste deel van de continentale korst
- 94% van Zealandia ligt onder water, wat verificatie van het continentale karakter beduidend moeilijker heeft gemaakt

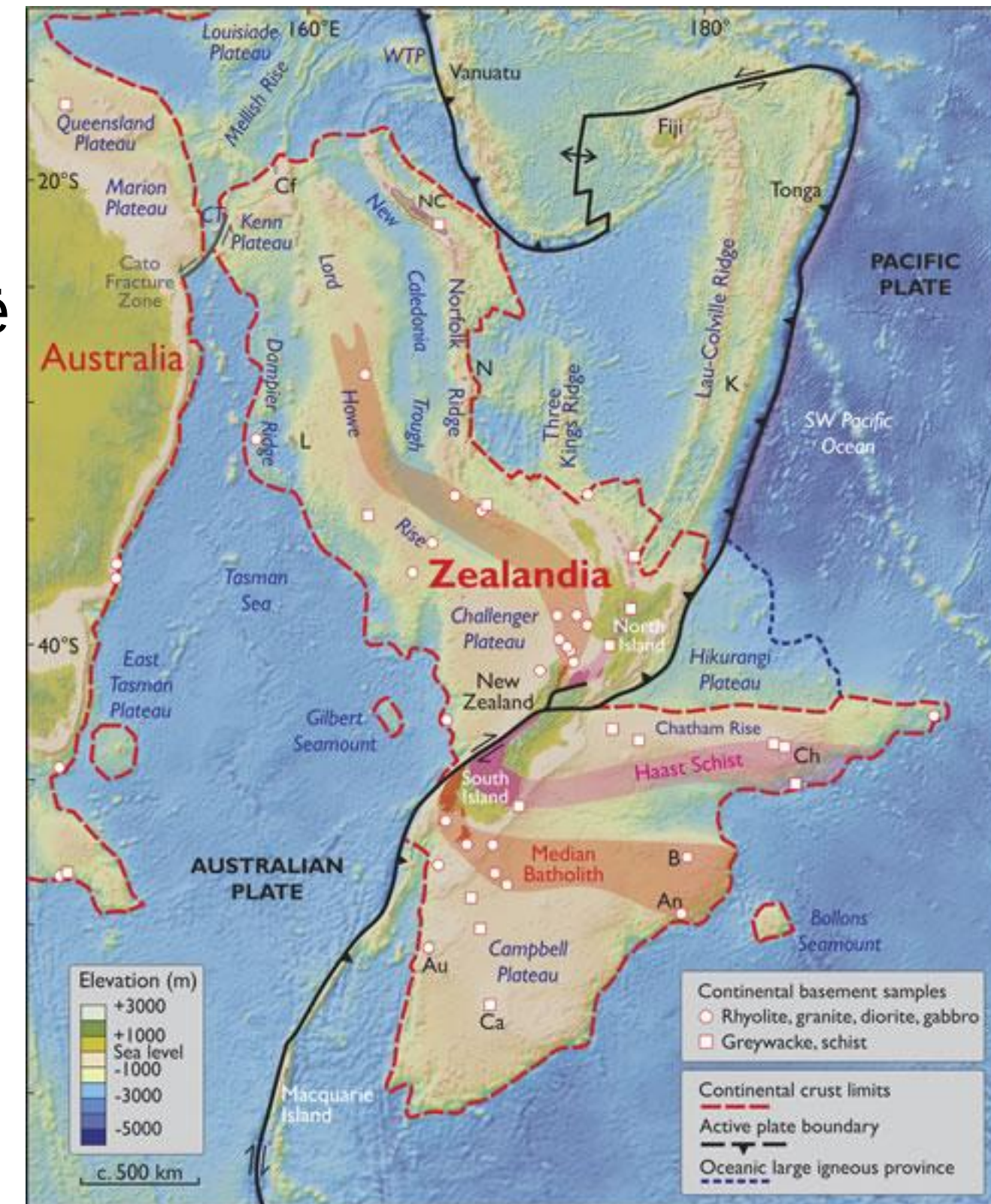


4. ZEELANDIA: HET BELANG VAN HET 7^{DE} CONTINENT

Wat zijn de implicaties van deze “ontdekking”?

- Nieuw inzicht & toepassing begrip continent
- Aanpassing EEZ Nieuw-Zeeland & Nieuw Caledonië
- De nieuwe continentale aard gaat ook een nieuw licht doen schijnen over de aard van de sedimenten en gesteenten van Zealandia...

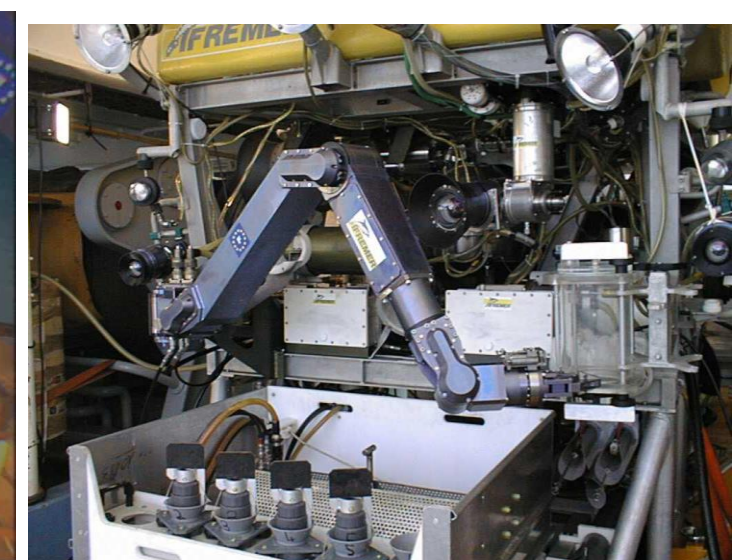
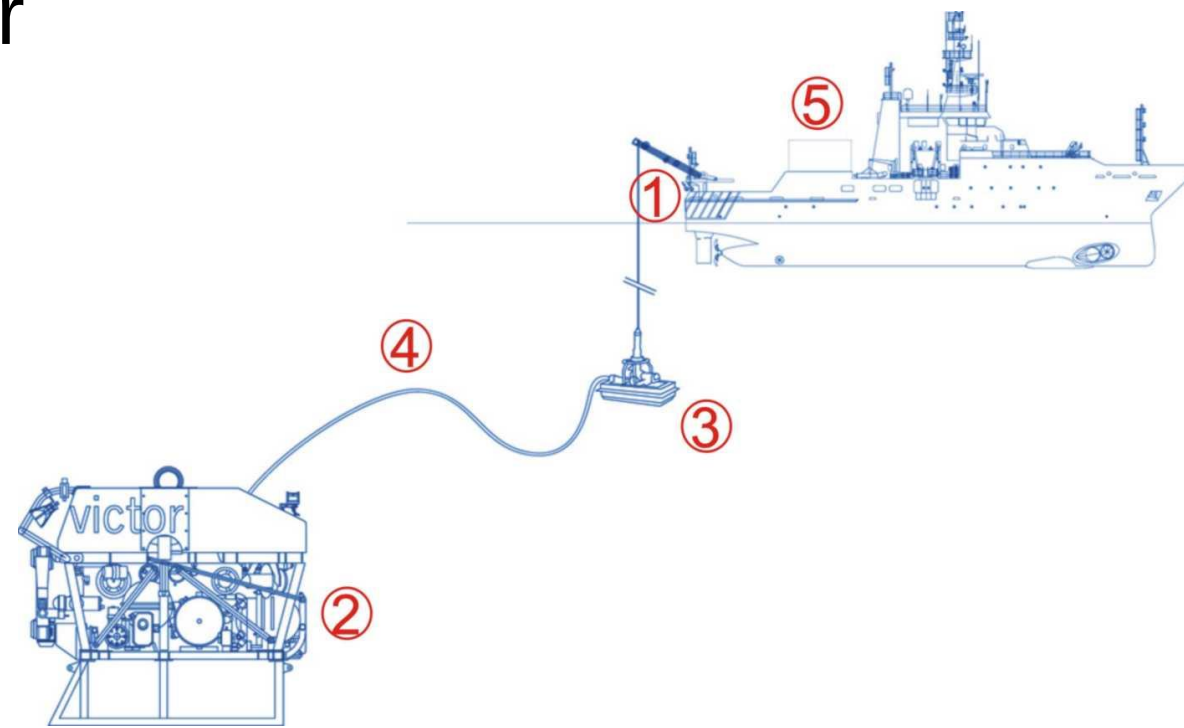
... en nog eens een bewijs dat geologie “actief” is en er nog veel ontdekkingen gedaan kunnen worden!



5. DOELGERICHTE EXPLORATIE TECHNIEKEN VAN DE 21^{STE} EEUW

Visuele inspectie van de zeebodem: Remotely Operated Vehicles (ROV)

- Veiliger en gemakkelijker inzetbaar dan duikboten
- 24/24 onderzoek
- 0-6000 m diepte
- Nauwkeurige “subsea” navigatie (bakens)
- HD tot 3D
- Manipulators
- Modulaire instrumenten



5. DOELGERICHTE EXPLORATIE TECHNIEKEN VAN DE 21^{STE} EEUW

Visuele inspectie van de zeebodem: Remotely Operated Vehicles (ROV)

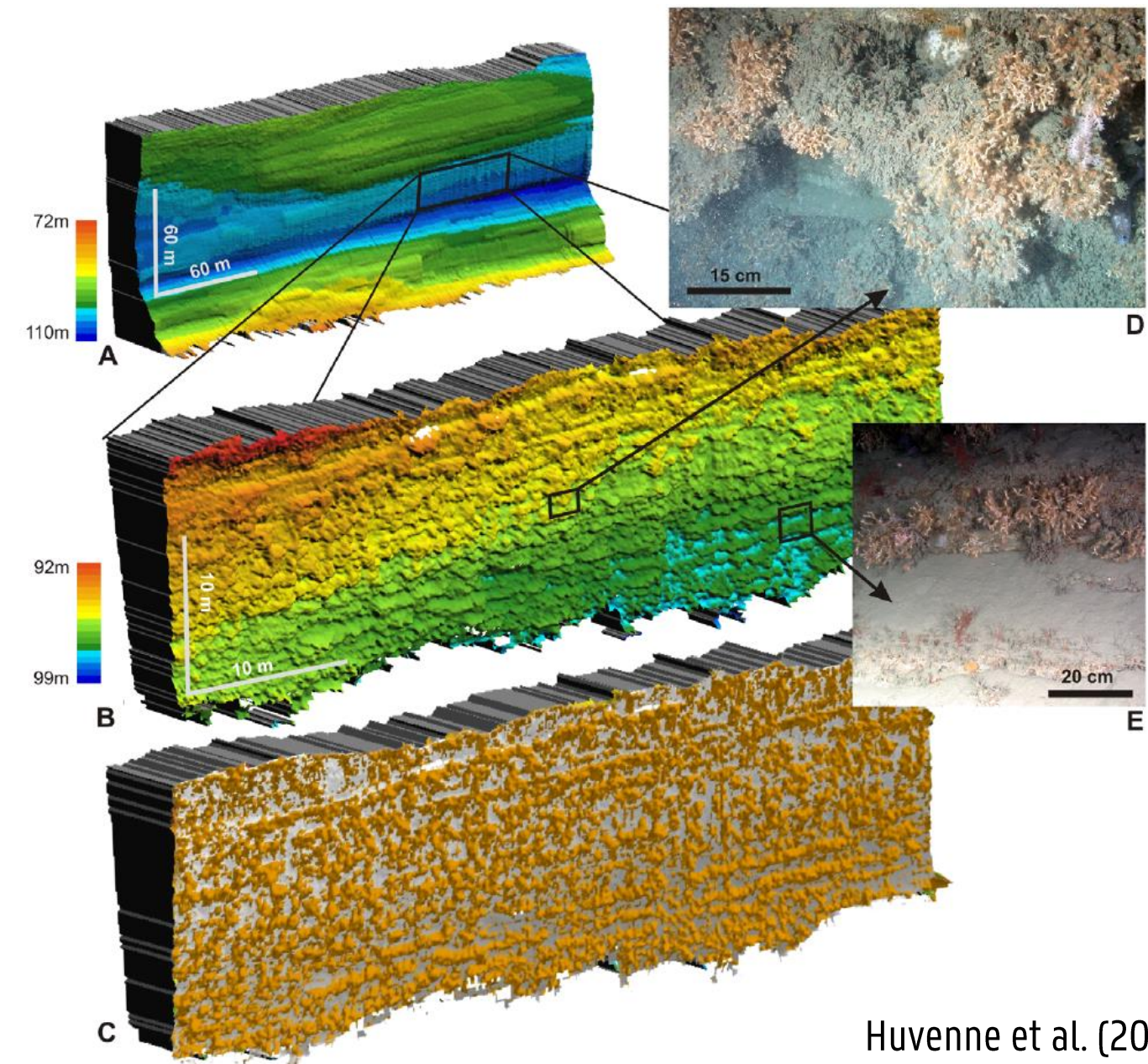
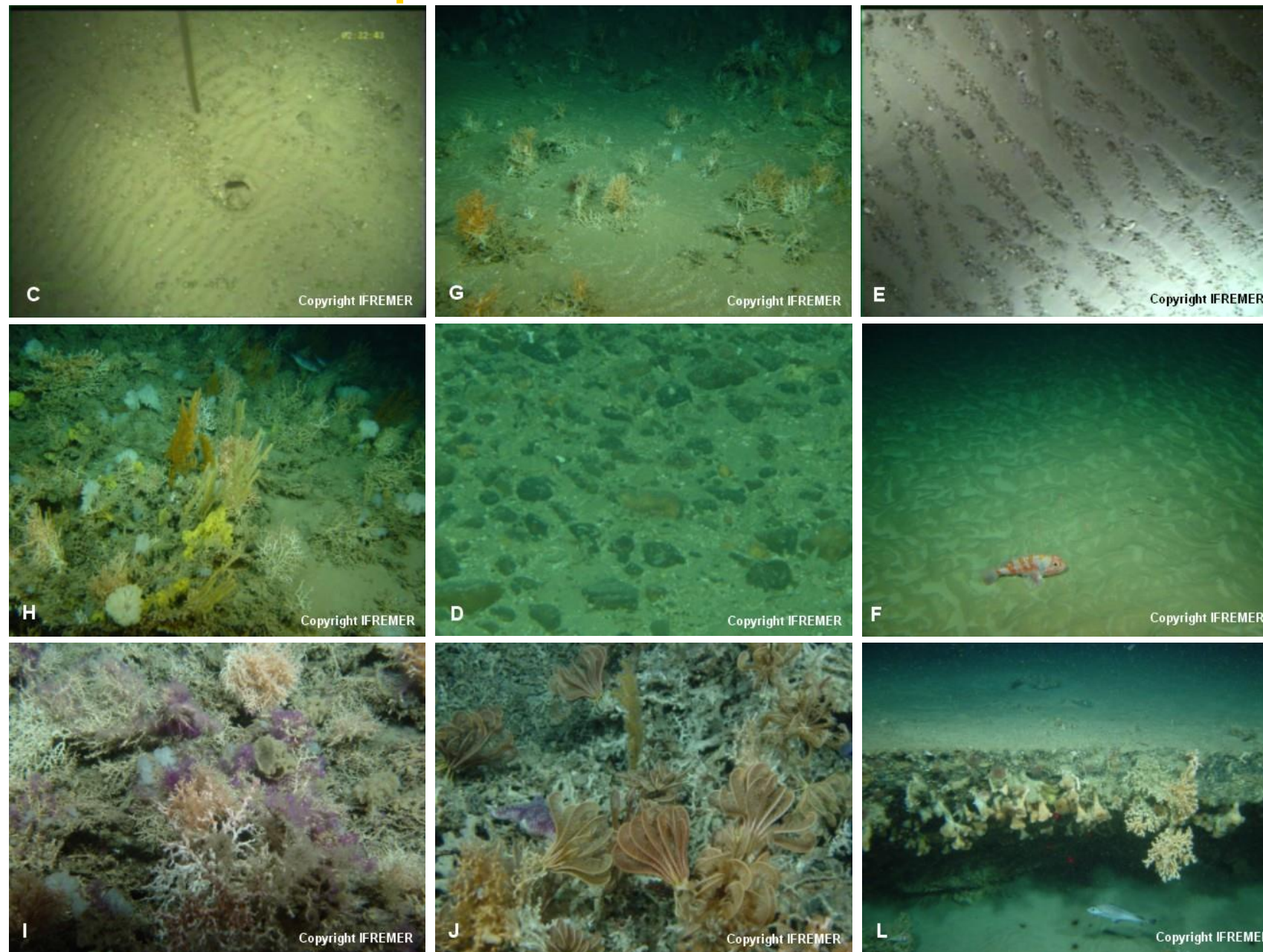
Onmisbaar in hedendaagse “offshore” works:

- Geofysische exploratie
- Inspectie sluizen/leidingen
- “Cable cutters”
- Installatie of ontmanteling platformen of windmolens
- Habitat monitoring
- Ontginning zeebodem



5. DOELGERICHTE EXPLORATIE TECHNIEKEN VAN DE 21^{STE} EEUW

Visuele inspectie van de zeebodem: Remotely Operated Vehicles (ROV)

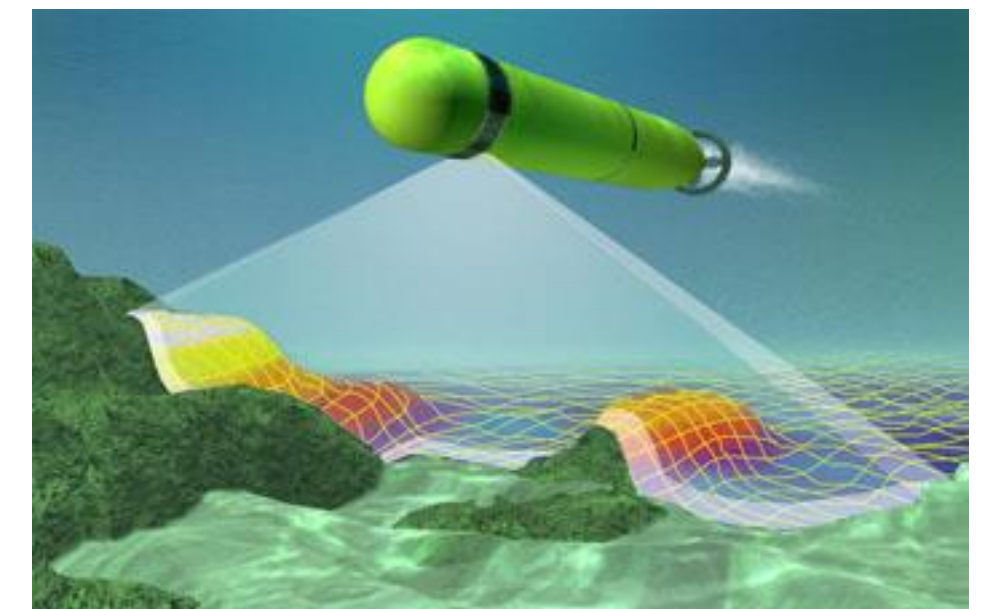
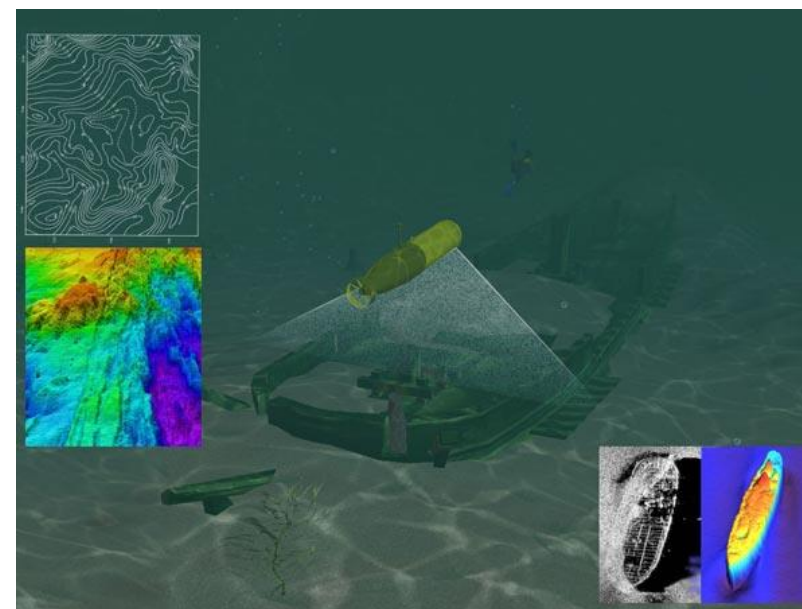


5. DOELGERICHTE EXPLORATIE TECHNIEKEN VAN DE 21STE EEUW

Detailkartering van de zeebodem: Autonomous Underwater Vehicle (AUV)

Ontwikkeling gedreven door:

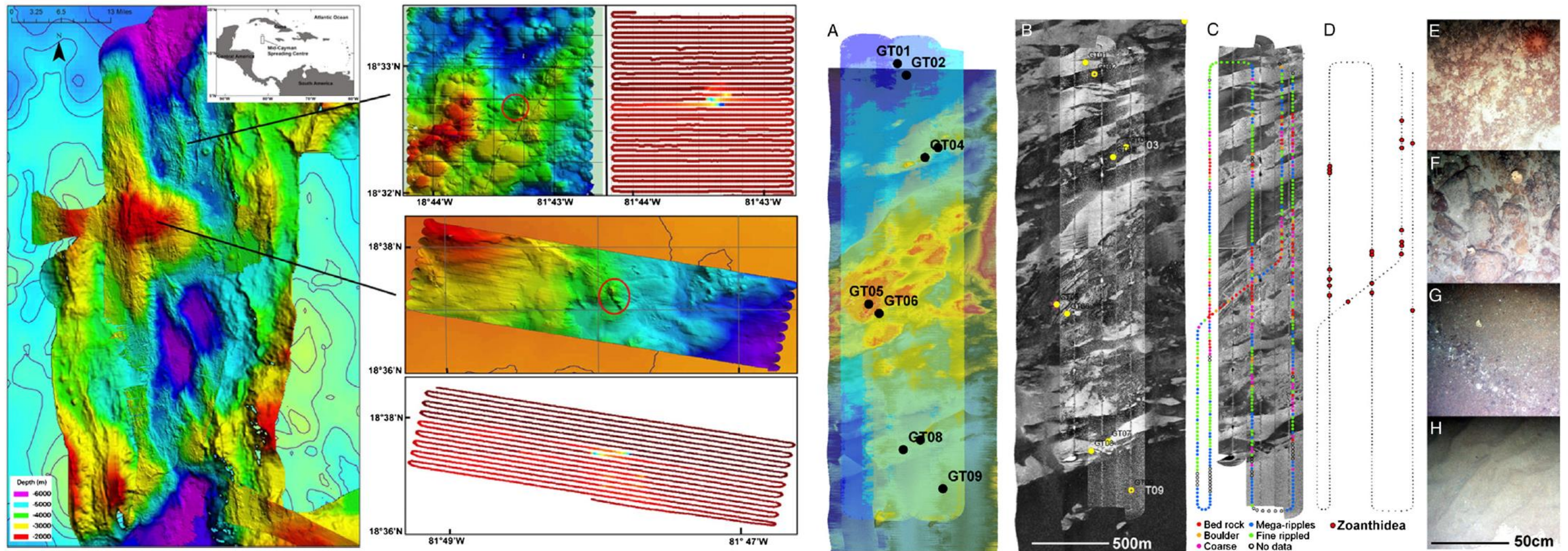
1. Time is money
 2. Hoge resolutie = dicht bij bodem
- Autonoom programmeerbaar
 - Verschillende instrumenten
 - Maakt gebruik van sensoren om “noodbeslissingen” te maken
 - Vanaf platform... of vanuit haven



Wynn et al. (2014)

5. DOELGERICHTE EXPLORATIE TECHNIEKEN VAN DE 21^{STE} EEUW

Detailkartering van de zeebodem: Autonomous Underwater Vehicle (AUV)



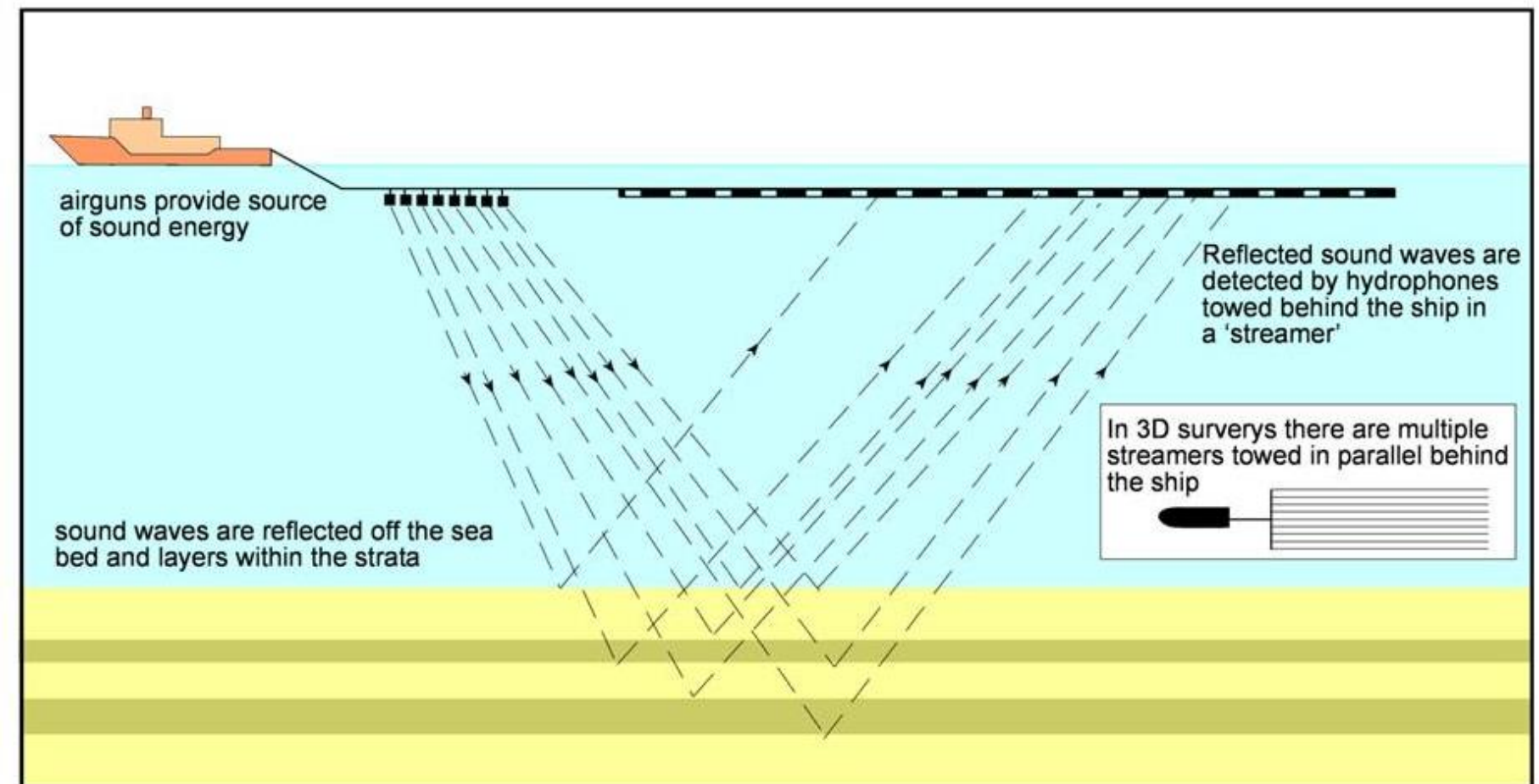
Wynn et al. (2014)

5. DOELGERICHTE EXPLORATIE TECHNIEKEN VAN DE 21^{STE} EEUW

Exploratie van de ondergrond: 3D seismische profilering

De basistechniek in exploratie bij uitstek, hoofdzakelijk in 2D:

- Limieten qua verticale resolutie
- Limieten qua ruimtelijke resolutie
- Weinig flexibel qua interpretatie
- Sommige “artefacten” kunnen niet worden weggewerkt door gebrek aan ruimtelijke informatie...

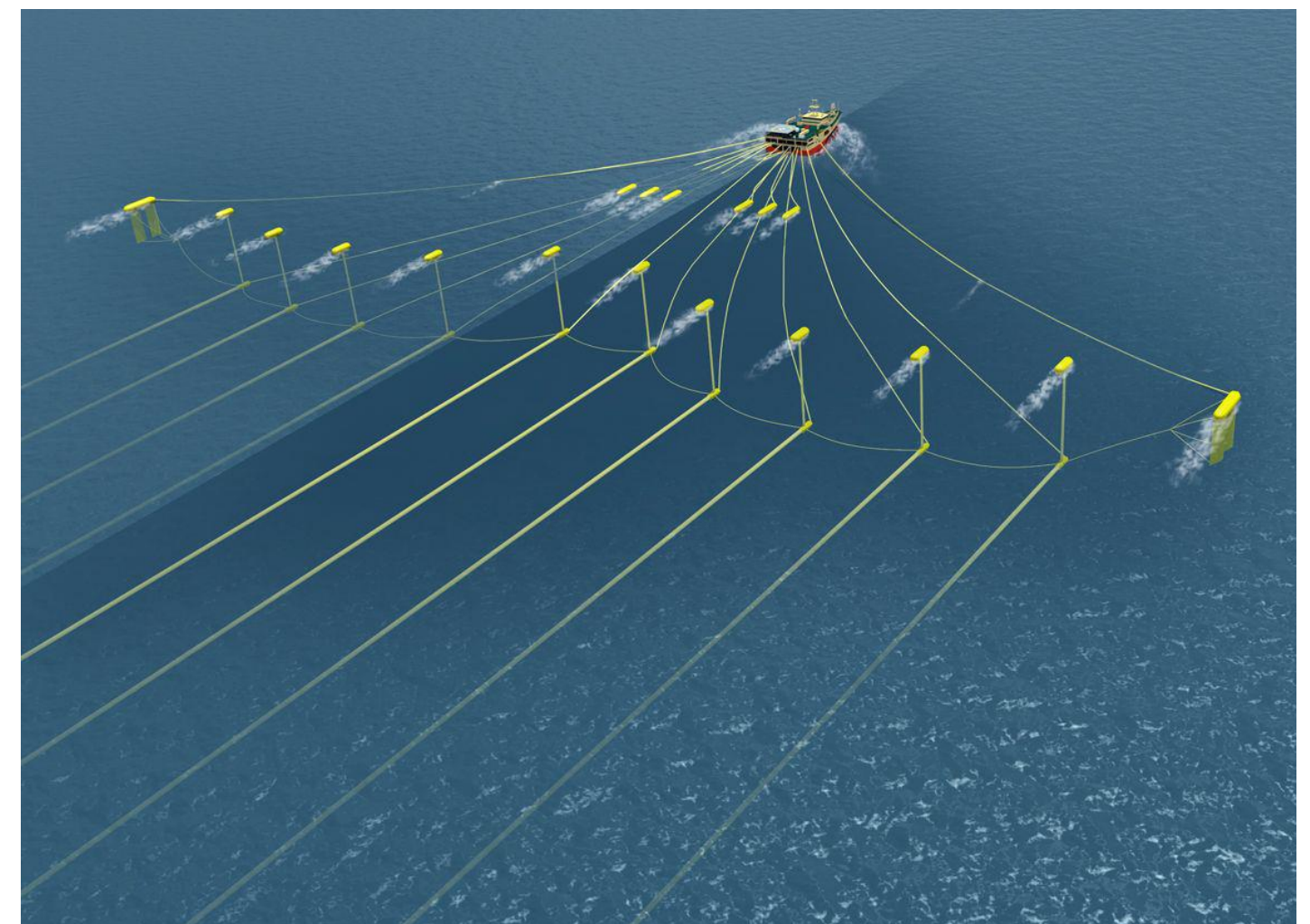
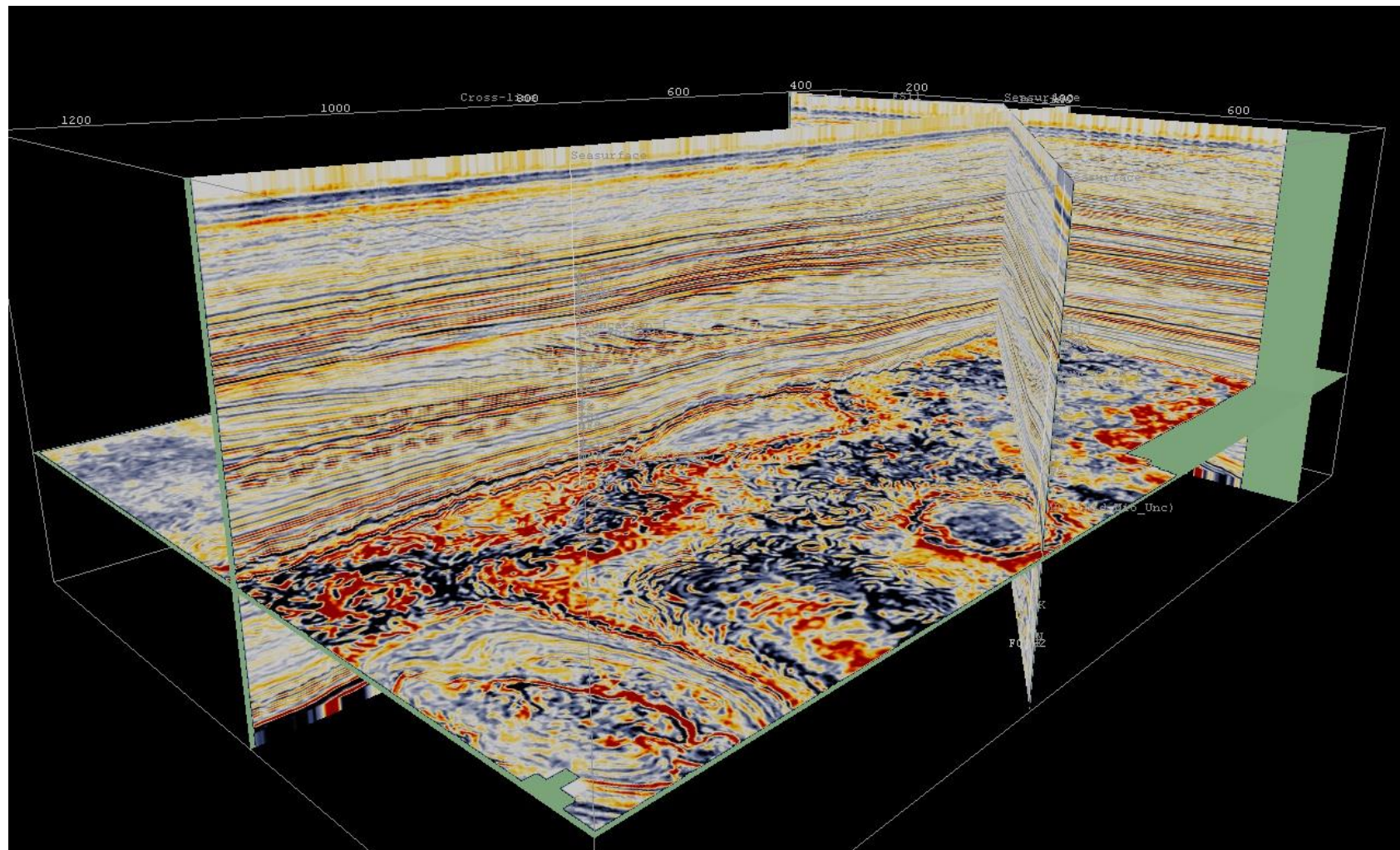


5. DOELGERICHTE EXPLORATIE TECHNIEKEN VAN DE 21^{STE} EEUW

Exploratie van de ondergrond: 3D seismische profilering

3D “volume”: verticale en horizontale doorsnede naar keuze

Seismische geomorfologie: reconstructie paleolandschappen

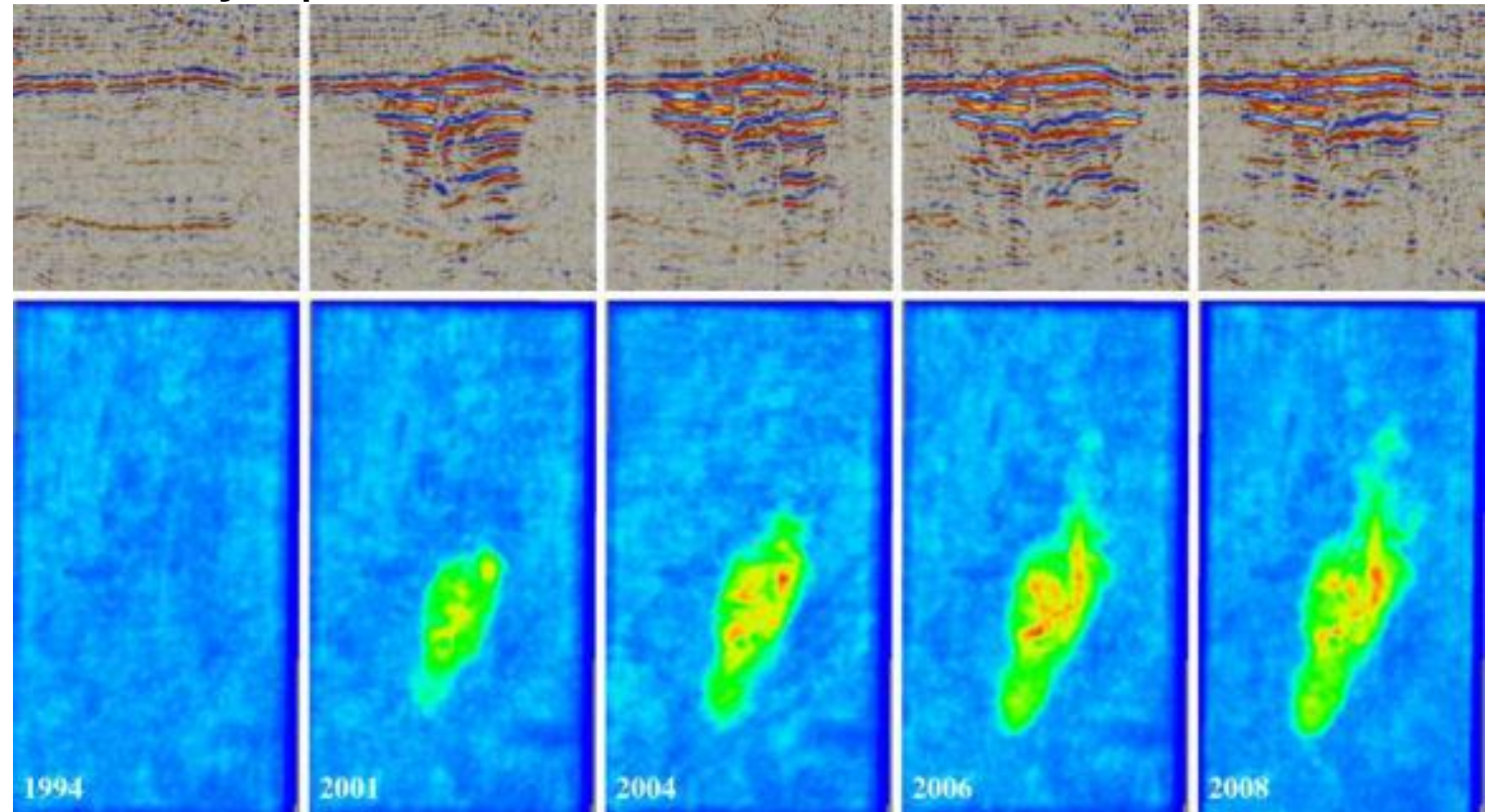


5. DOELGERICHTE EXPLORATIE-TECHNIEKEN VAN DE 21^{STE} EEUW

Exploratie van de ondergrond: van 3D naar 4D seismiek

Herhalen van een 3D seismische survey op dezelfde locatie:

- Ondergrondse opslag CO₂: monitoring beweging vloeistof, niet-gedraineerde zones
- Opvolgen van de verticale en laterale verspreiding van CO₂ pluim tijdens de injectie
- Risico management: opsporen van lekken



5. DOELGERICHTE EXPLORATIE TECHNIEKEN VAN DE 21^{STE} EEUW

Chirurgisch bemonsteren van de diepe ondergrond: gestuurde boringen

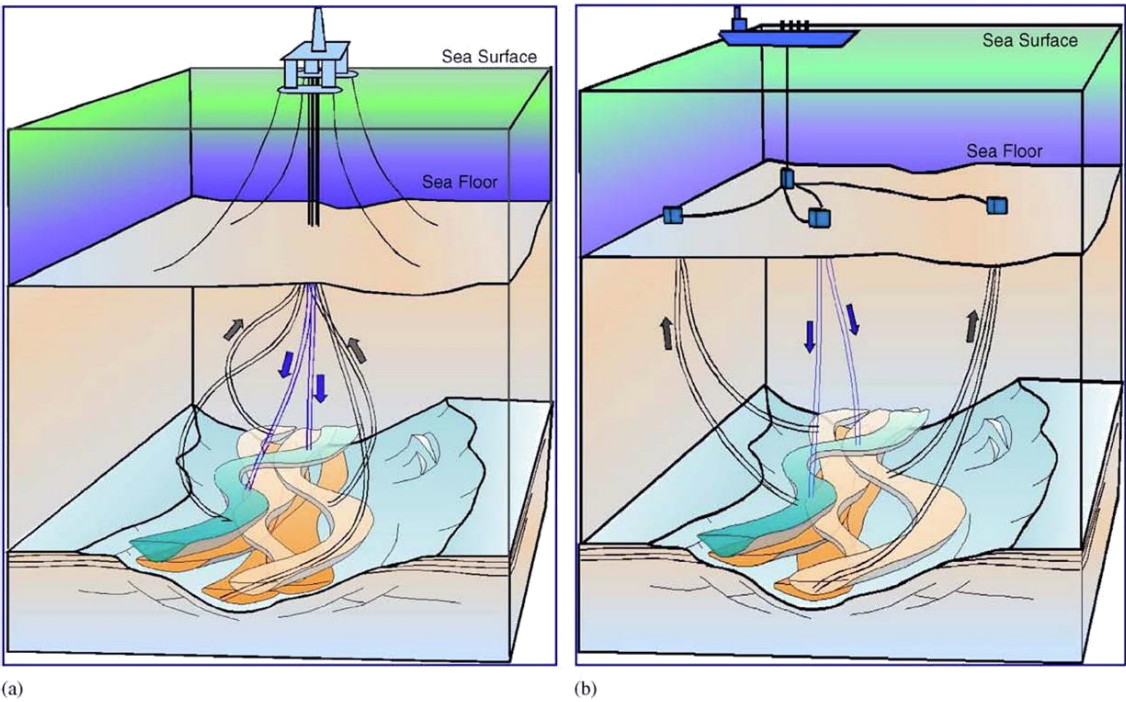
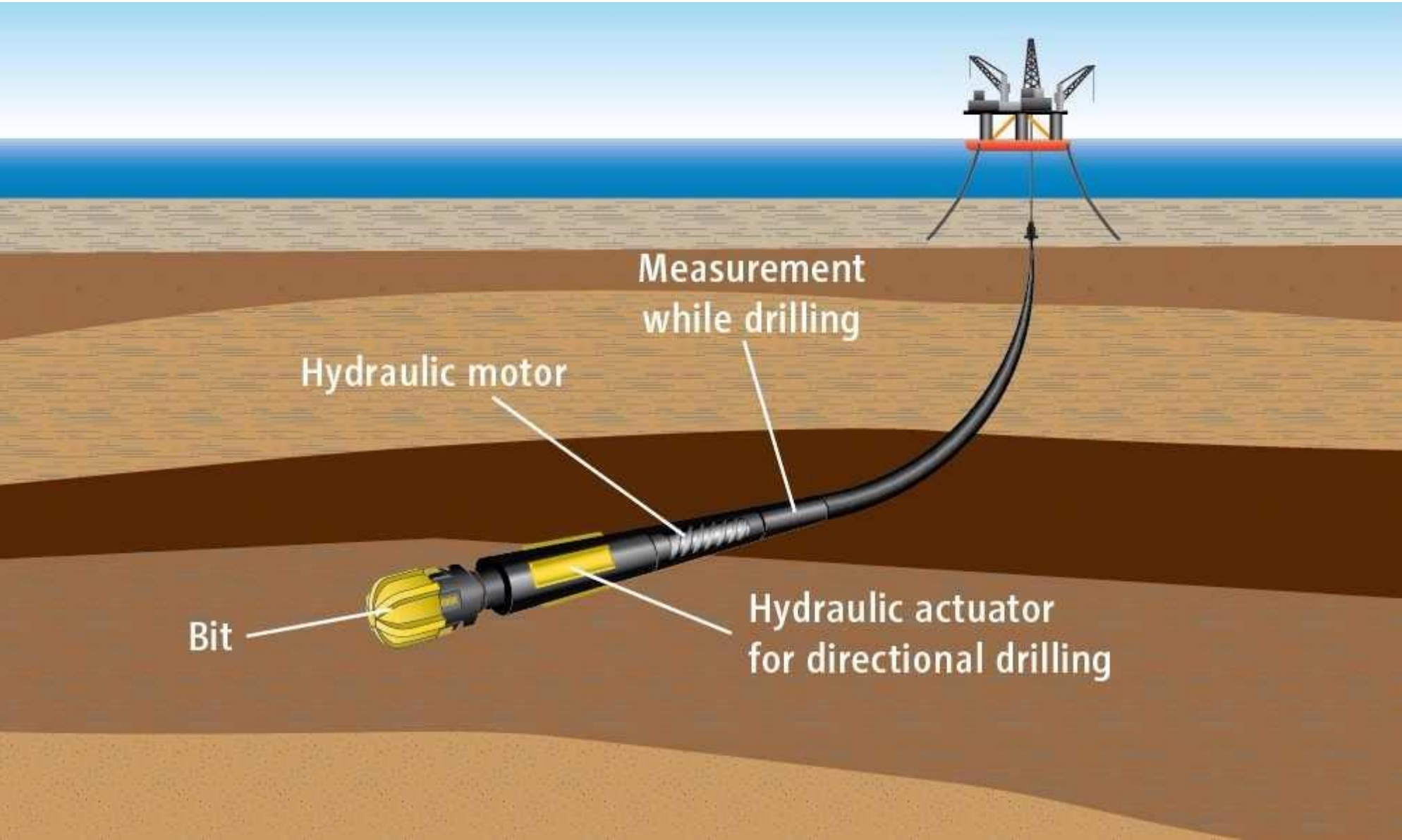


Fig. 22. Drilling from a fixed location platform may result in development wells with very complex trajectories (a). The complex designs may result in risk in completion success and restrict data collection. The more flexible location of multiple drilling manifolds in a sub-sea scheme require less complex wells to be drilled (b). Figures made by Ciaran O'Byrne.

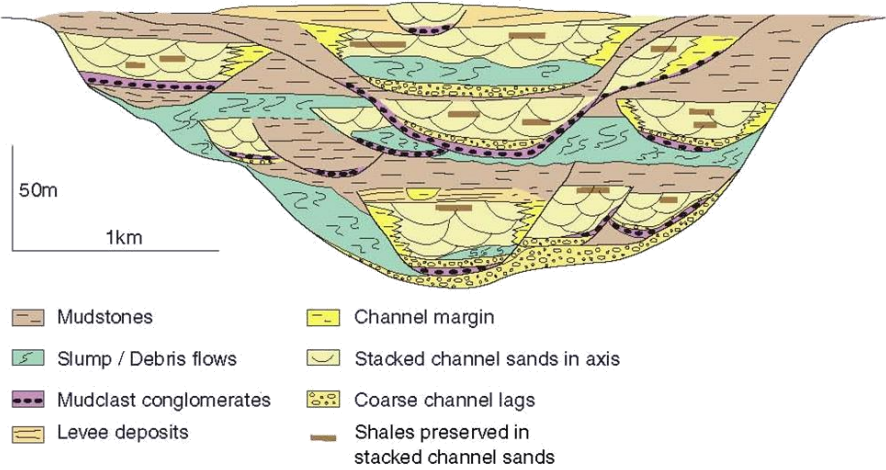
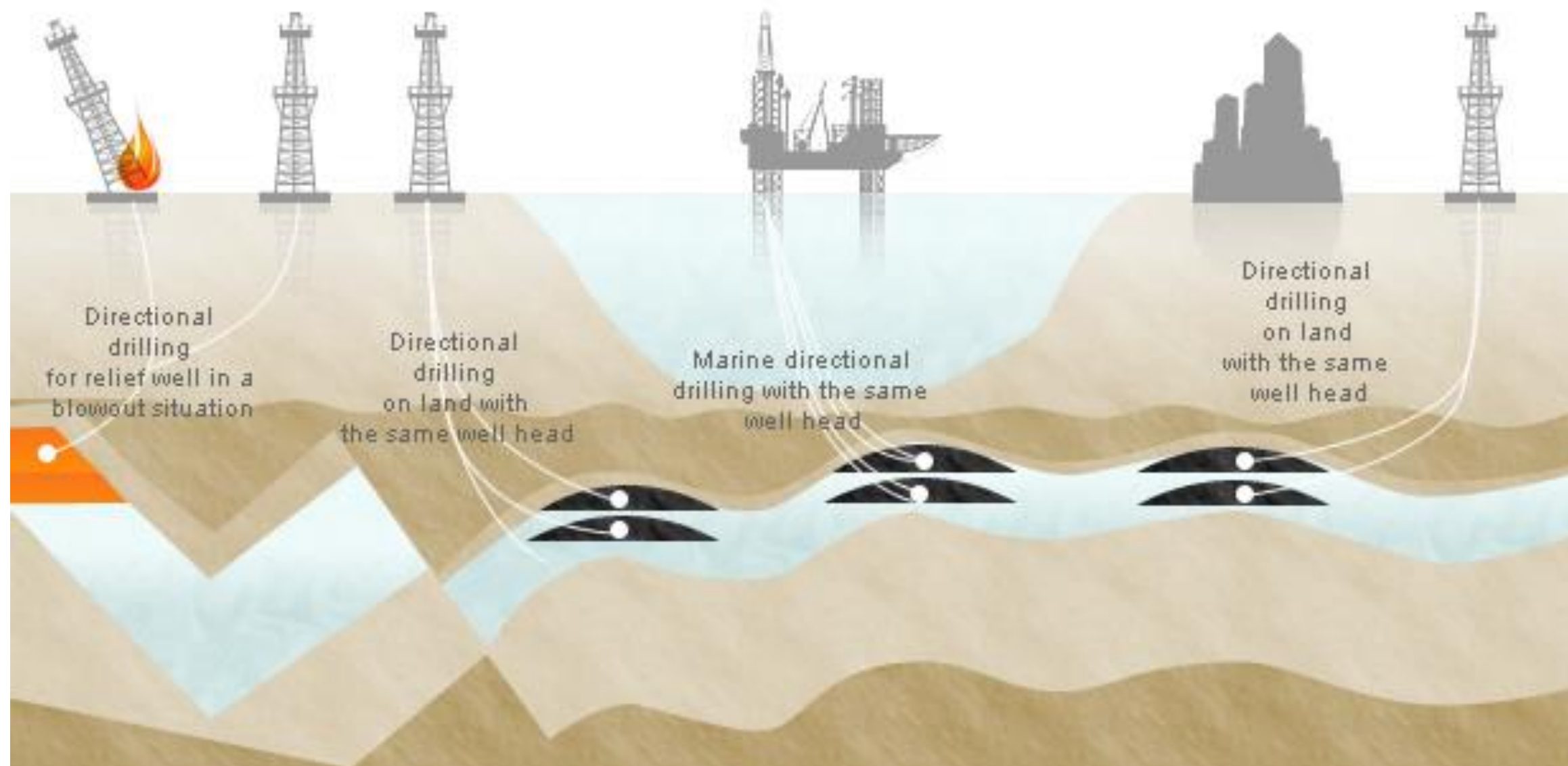


Fig. 23. Summary model showing the potential reservoir distribution and heterogeneity patterns in a large 3rd-order erosional channel. Each channel is unique but can be interpreted by considering:

5. DOELGERICHTE EXPLORATIE-TECHNIEKEN VAN DE 21STE EEUW

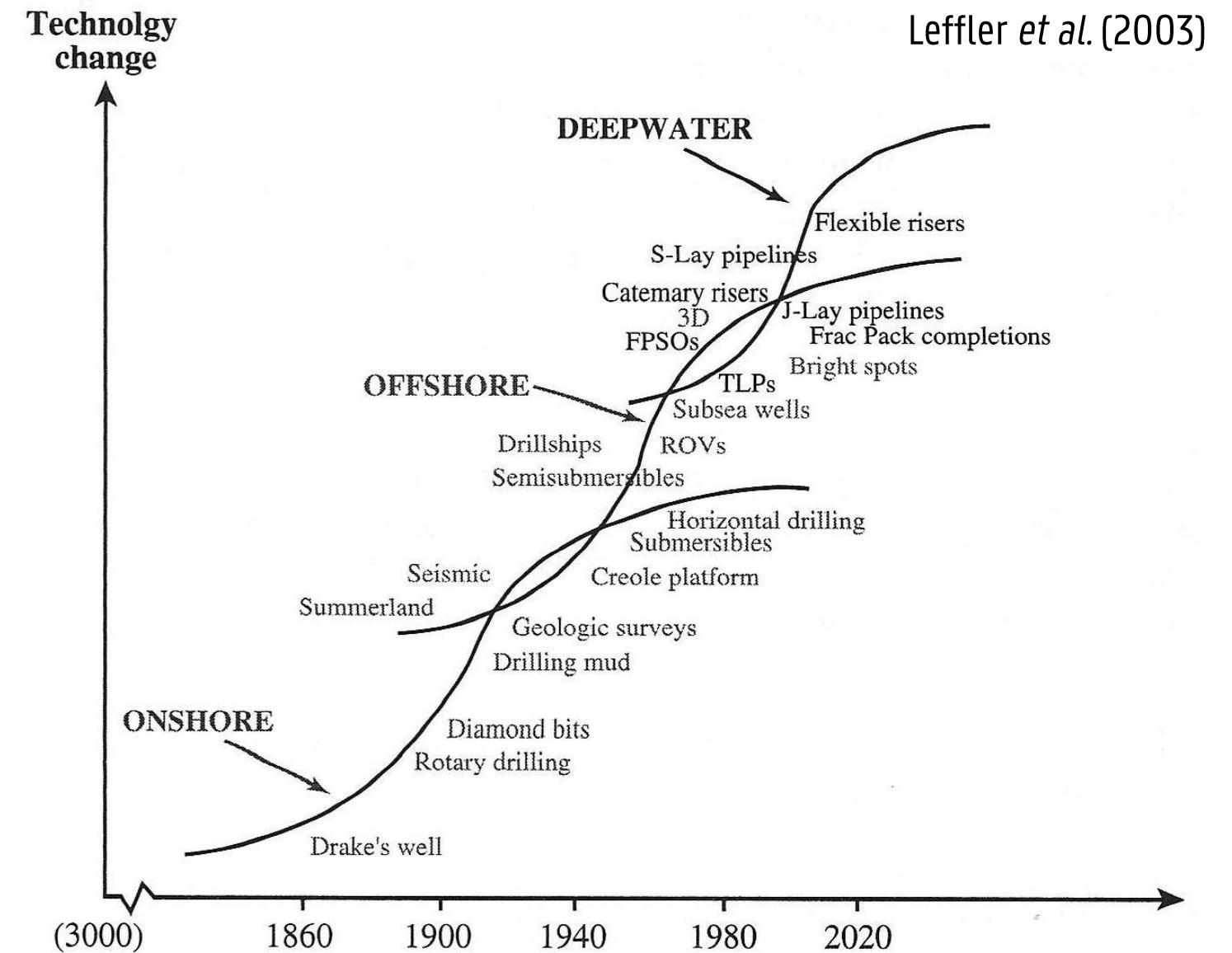
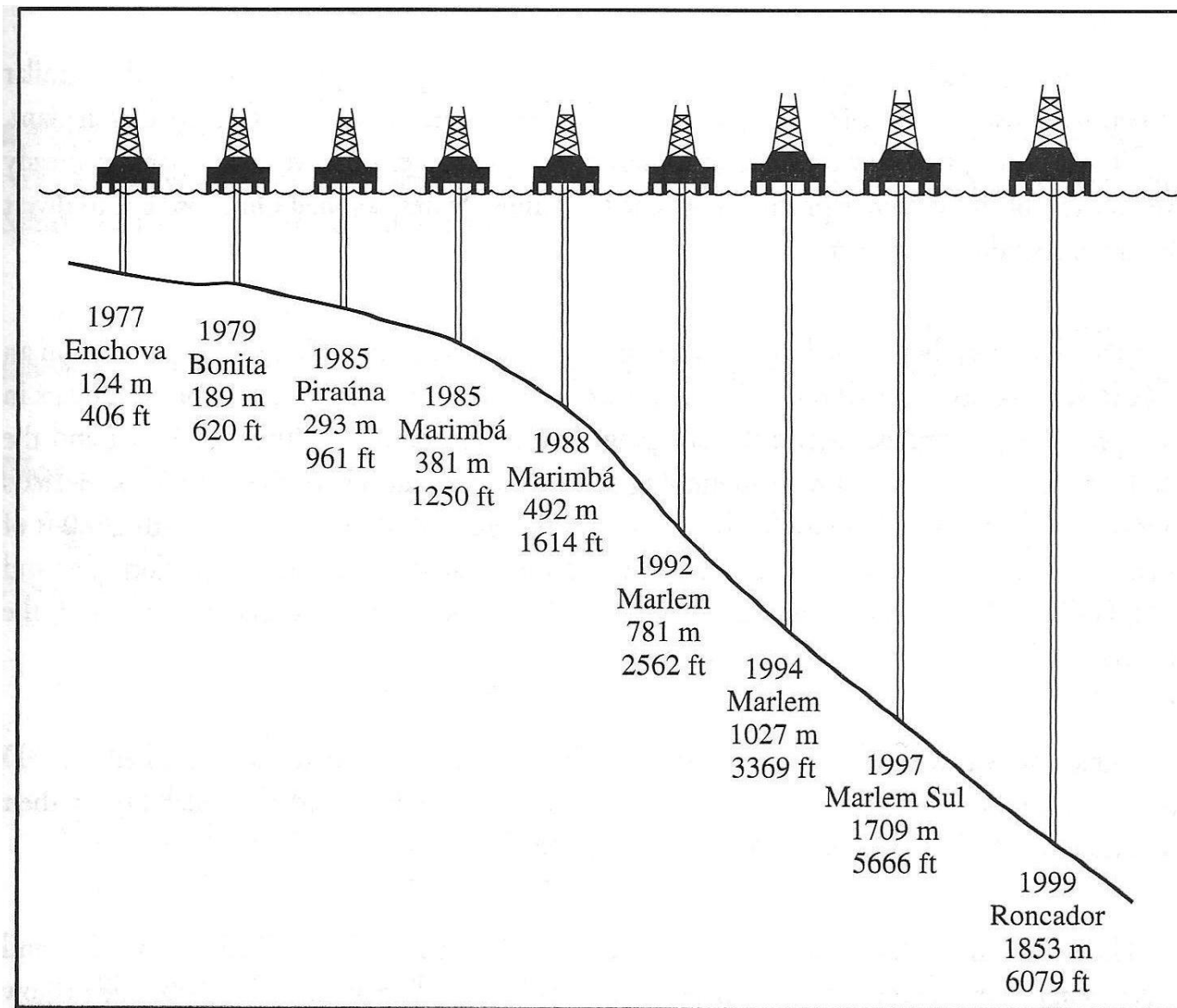
Chirurgisch bemonsteren van de diepe ondergrond: gestuurde boringen

Andere doelstellingen van gestuurde boringen



5. DOELGERICHTE EXPLORATIE TECHNIEKEN VAN DE 21STE EEUW

Exploratie van de oceanen: van offshore naar de diepzee...



REFERENTIES

- Copejans & Smits (2011). De wetenschap van de zee. ACCO, 176 pp.
- Mortimer et al. (2017). Zealandia: Earth's Hidden Continent. GSA Today 27 (3), 27-35.
- Leffler et al. (2003). Deepwater Petroleum Exploration & Production. Penwell, 372 pp.
- Lowrie (2007). Fundamentals of Geophysics. Cambridge University Press, 381 pp.
- Nichols (2009). Sedimentology & stratigraphy. Wiley-Blackwell, 432 pp.
- Wynn et al. (2014). Autonomous Underwater Vehicles. Marine Geology 352; 415-468.

Prof. dr. David Van Rooij
Hoofddocent

VAKGROEP GEOLOGIE

E david.vanrooij@ugent.be
T +32 9 264 45 83

www.earthweb.ugent.be