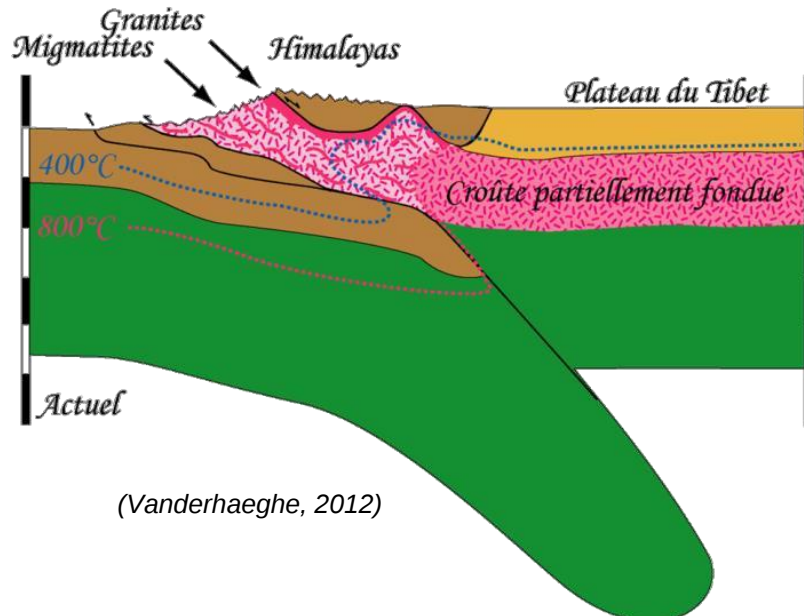


Géodynamique: Tectonique des plaques et cycle orogénique



Aurélien Eglinger
aurelien.eglinger@univ-lorraine.fr



Géodynamique:

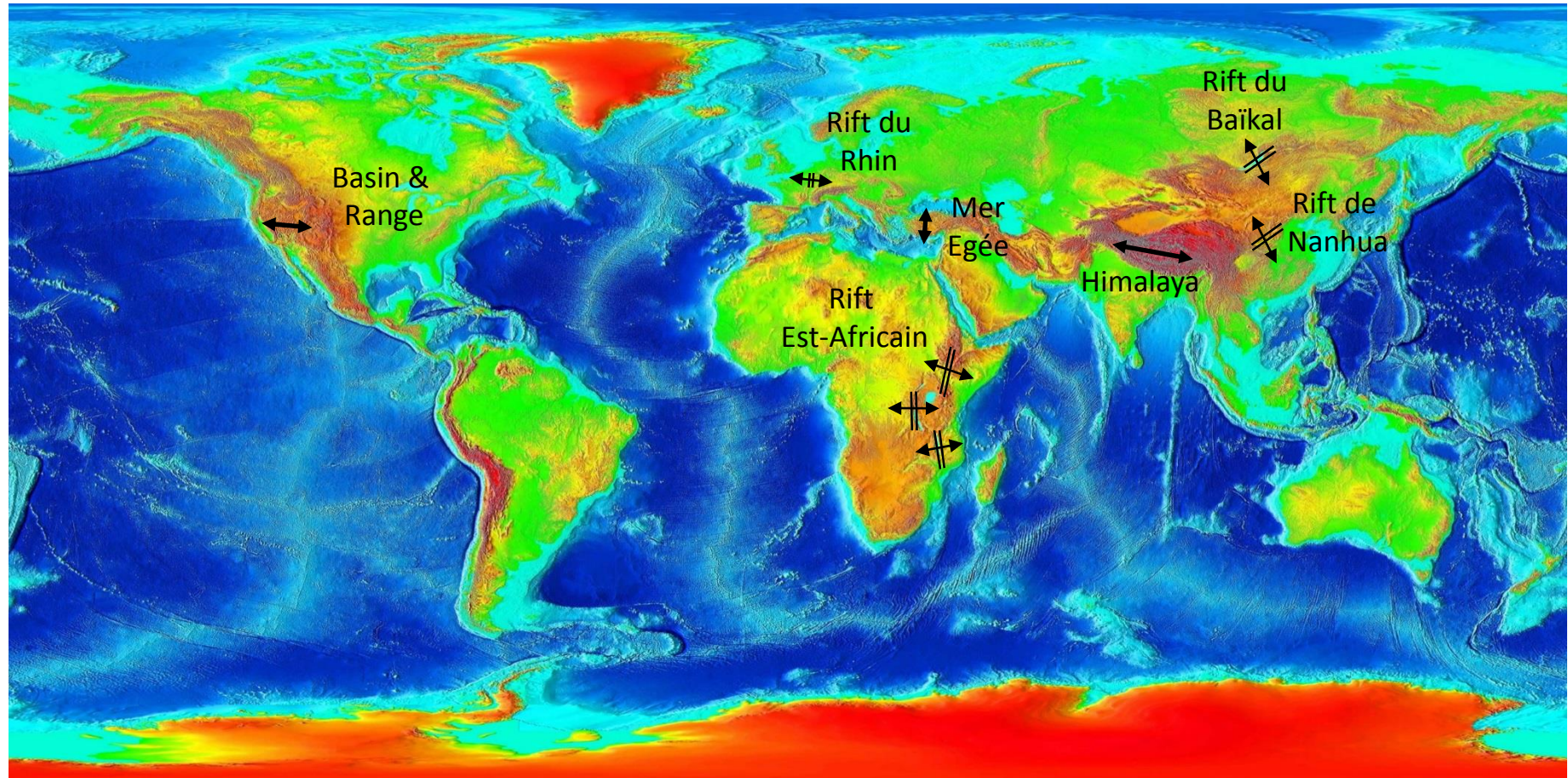
Tectonique des plaques et cycle orogénique

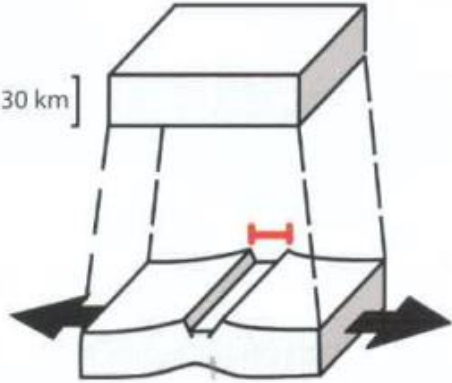
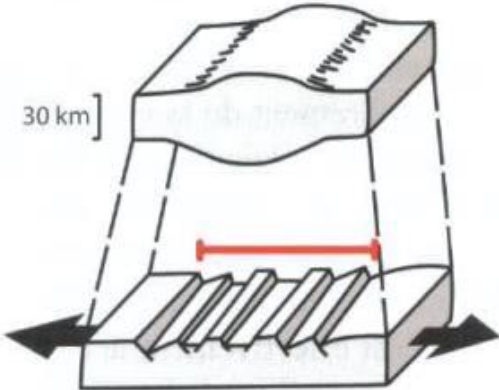
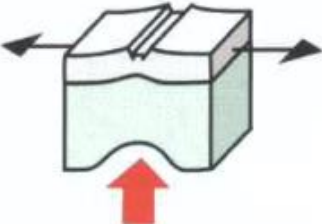
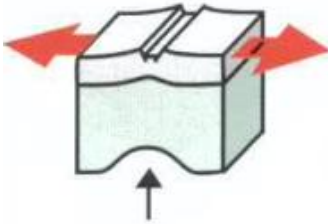
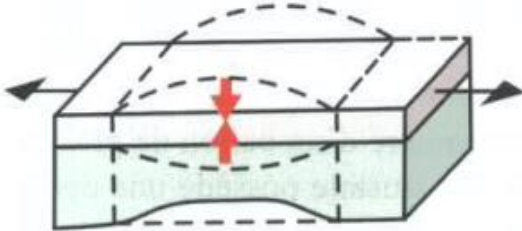


Aurélien Eglinger
aurelien.eglinger@univ-lorraine.fr

Sommaire

- I. Théories de la tectonique des plaques et cycles orogéniques
- II. Extension de la lithosphère continentale:** du rift continental aux marges passives
- III. Ouverture et expansion des océans: relations divergence des plaques océaniques et magmatisme
- IV. Fermeture et subduction: relations subduction océanique et magmatisme sur marge active
- V. Collision et subduction continentale: évolution thermomécanique de la lithosphère continentale dans les zones de convergence, mécanismes d'épaississement (A. Richard)
- VI. Effondrement des orogènes: de la formation d'un prisme à l'effondrement gravitaire – mécanismes d'exhumation et d'amincissement (A. Richard)

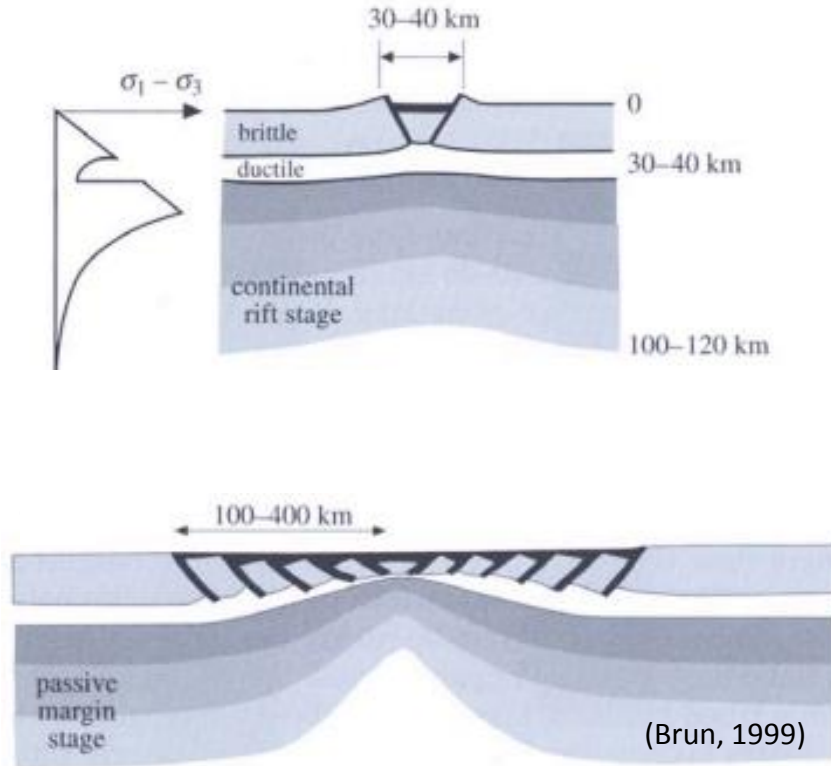


Rifting étroit ⇒ Cisaillement pur		Rifting large ⇒ Cisaillement simple	
 Extension d'une croûte d'épaisseur standard (amincissement)		 Extension d'une croûte épaissie (désépaississement)	Modalités
 Remontée d'un panache (rift actif)	 Contraintes aux limites (rift passif)	 Forces gravitaires (effondrement gravitaire)	Mécanismes
- Rift Est-Africain	- Rift du Baïkal - Graben du Rhin - Rifts chinois	- Basin and Range (USA) - Mer Egée	Exemples

Rifting étroit

⇒ Cisaillement pur

Zone d'extension **étroite**

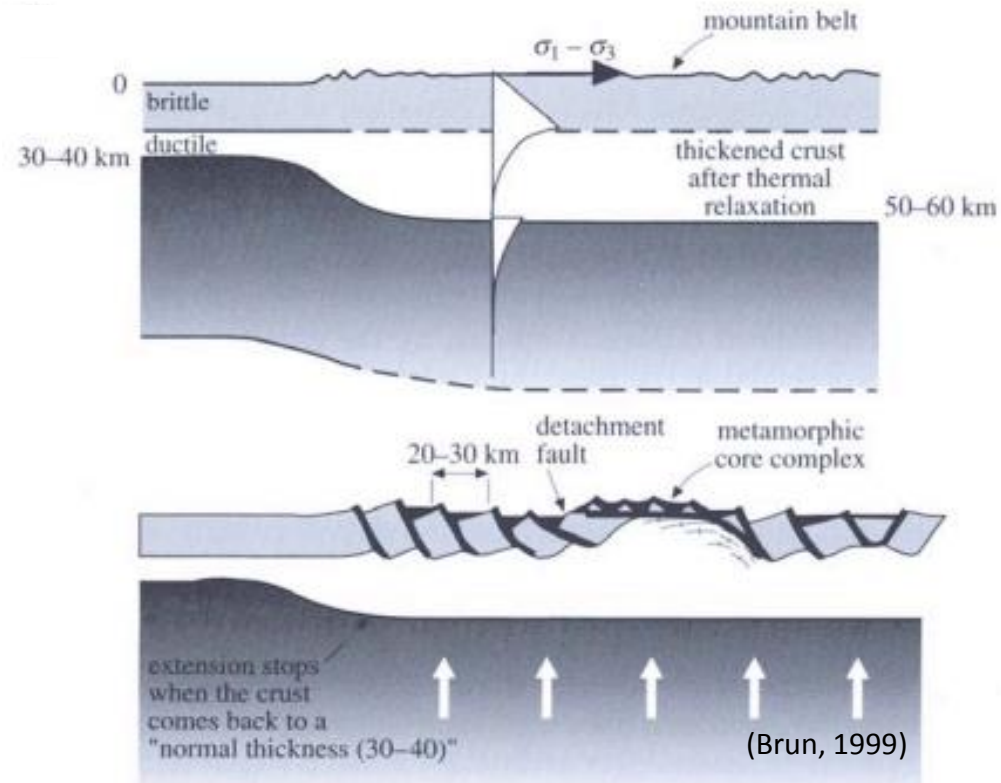


⇒ Formation d'une structure **symétrique**:
développement de failles crustales

Rifting large

⇒ Cisaillement simple

Zone d'extension **large et diffuse**

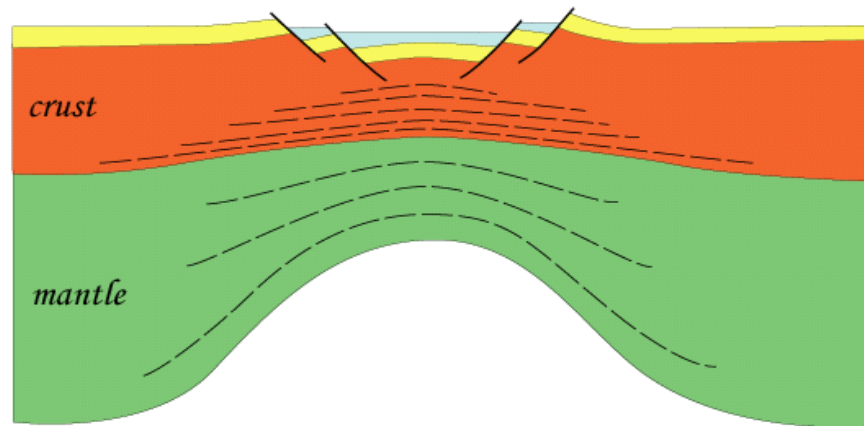


⇒ Formation d'une structure **asymétrique**:
développement d'une faille intra-lithosphérique

Rifting étroit
⇒ Cisaillement pur

Zone d'extension **étroite**

Pure Shear
McKenzie, 1978

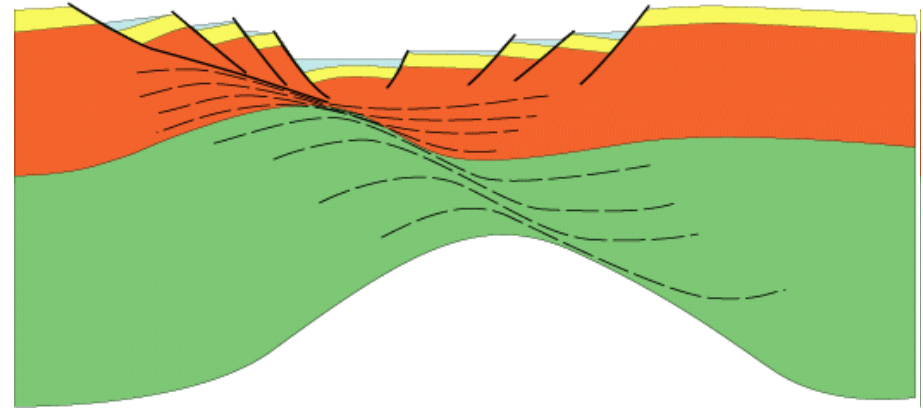


⇒ Formation d'une structure **symétrique**:
développement de failles crustales

Rifting large
⇒ Cisaillement simple

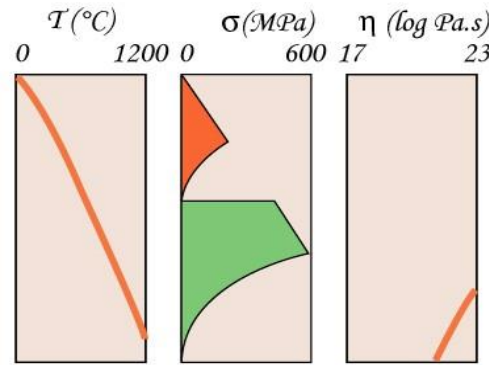
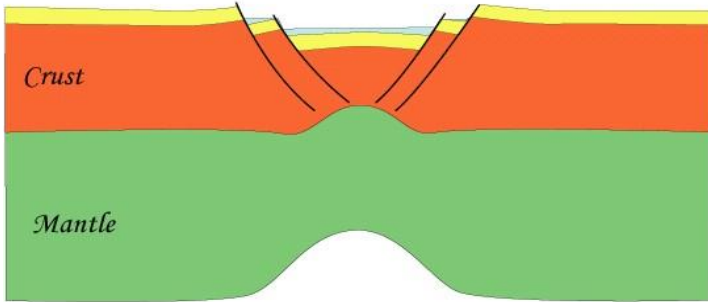
Zone d'extension **large et diffuse**

Simple shear
Wernicke, 1981



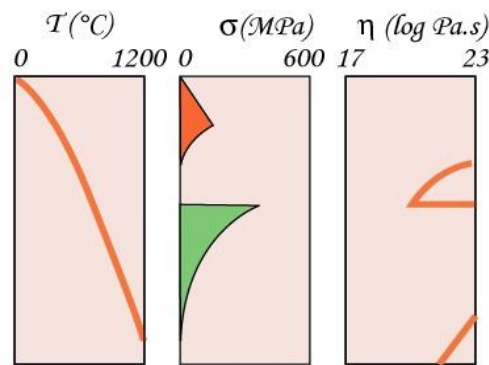
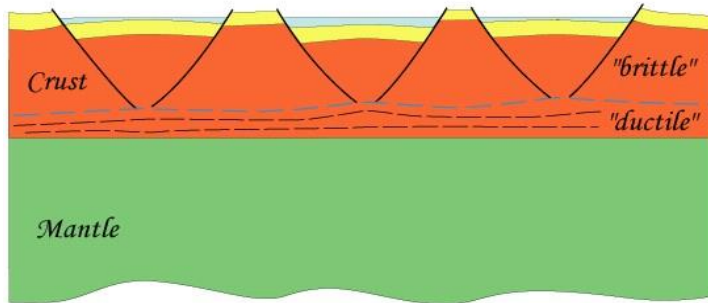
⇒ Formation d'une structure **asymétrique**:
développement d'une faille intra-lithosphérique

Rift étroit



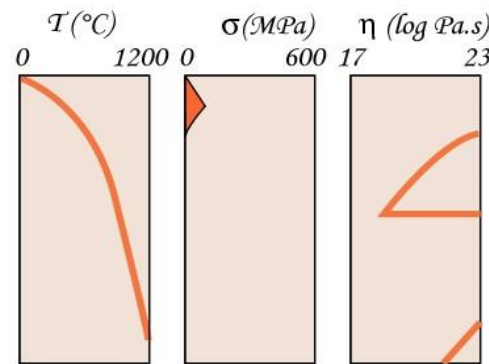
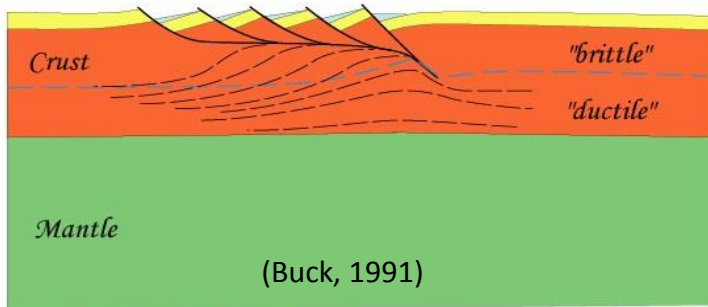
Comportement **FRAGILE**
de la croûte (failles)
⇒ Viscosité élevée

Rift large



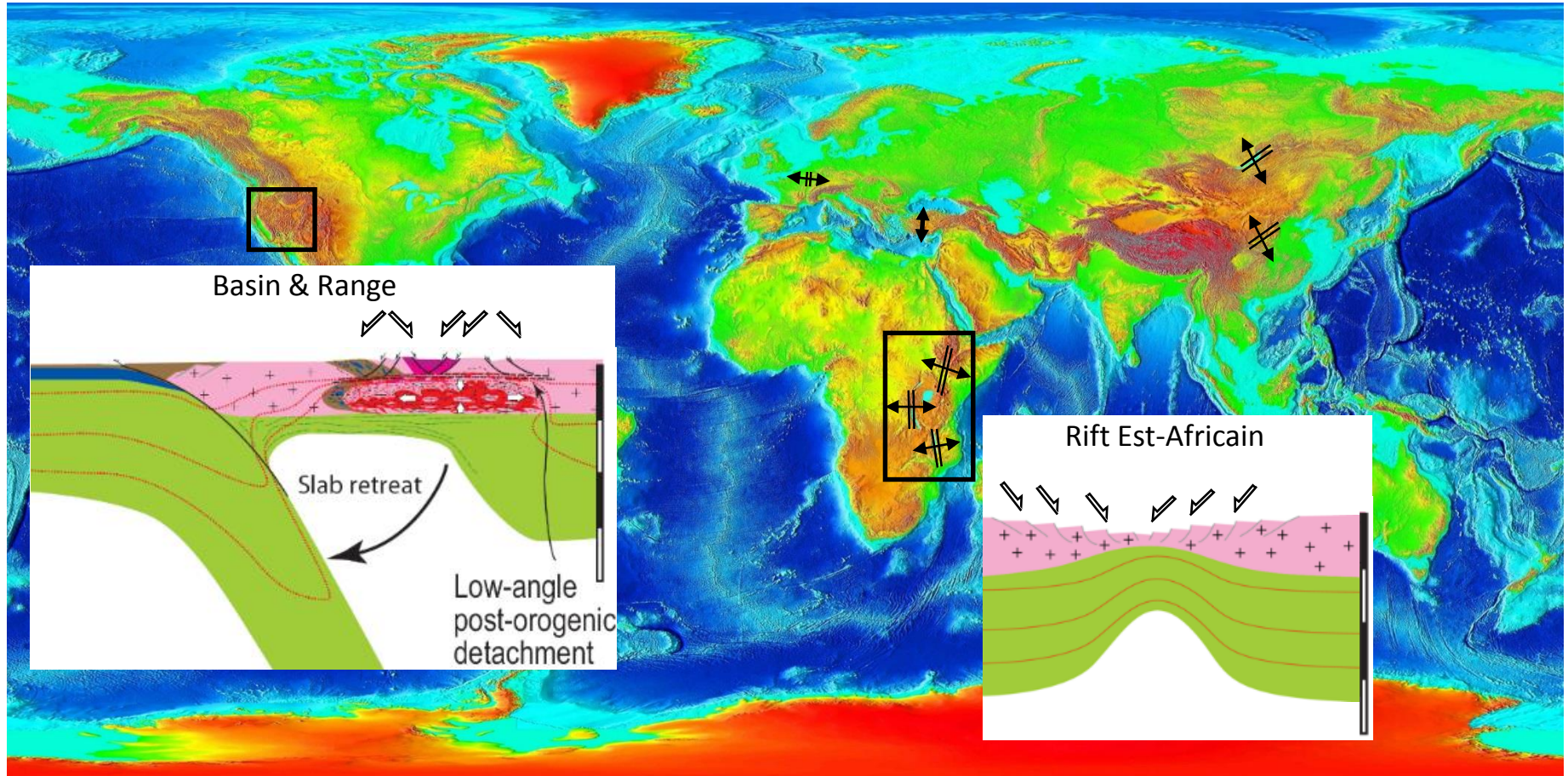
Largeur et style de rift
est fonction de
l'épaisseur de la
couche fragile

Dôme métamorphique (MCC)

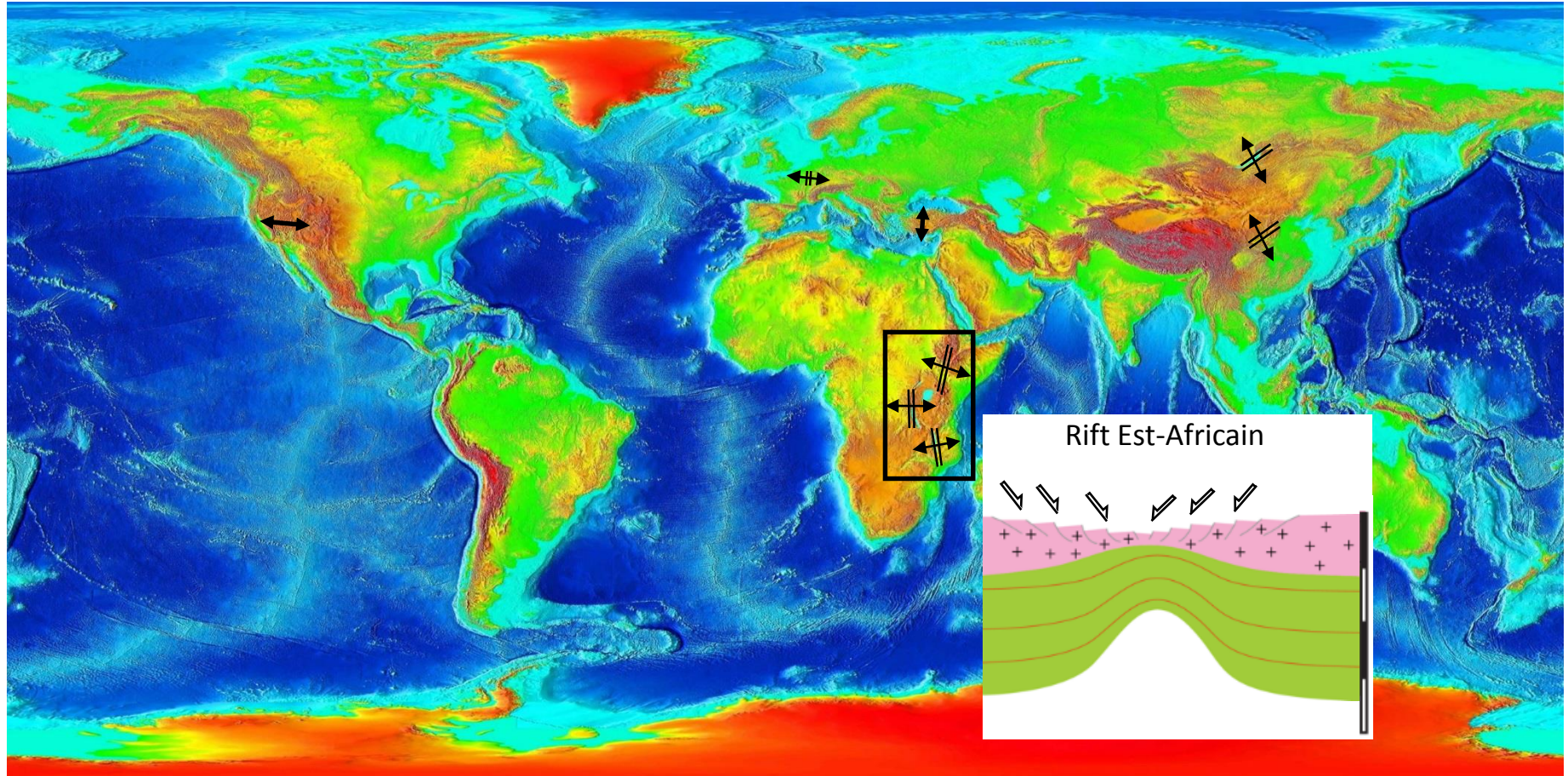


Comportement **DUCTILE**
de la croûte (cisaillement)
⇒ Viscosité faible

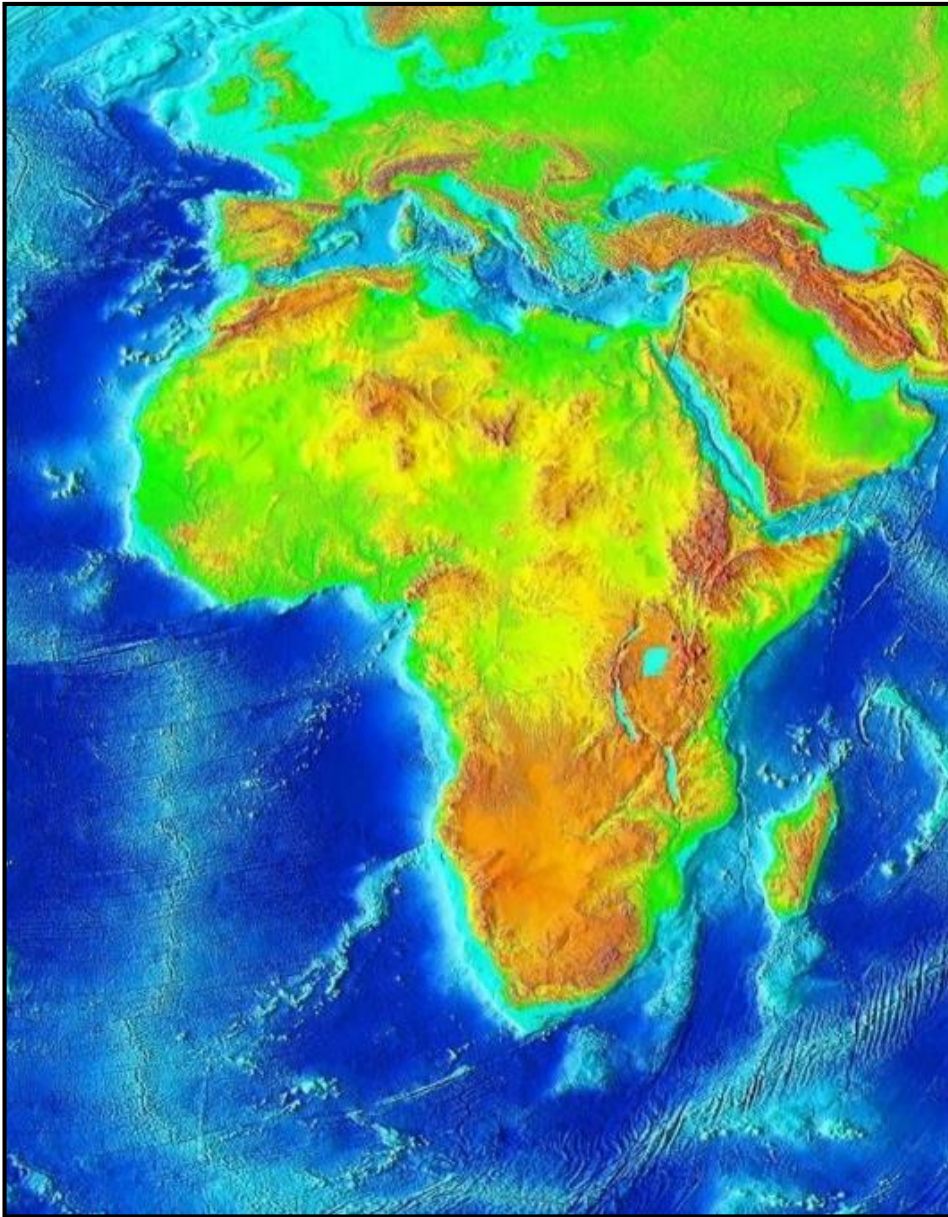


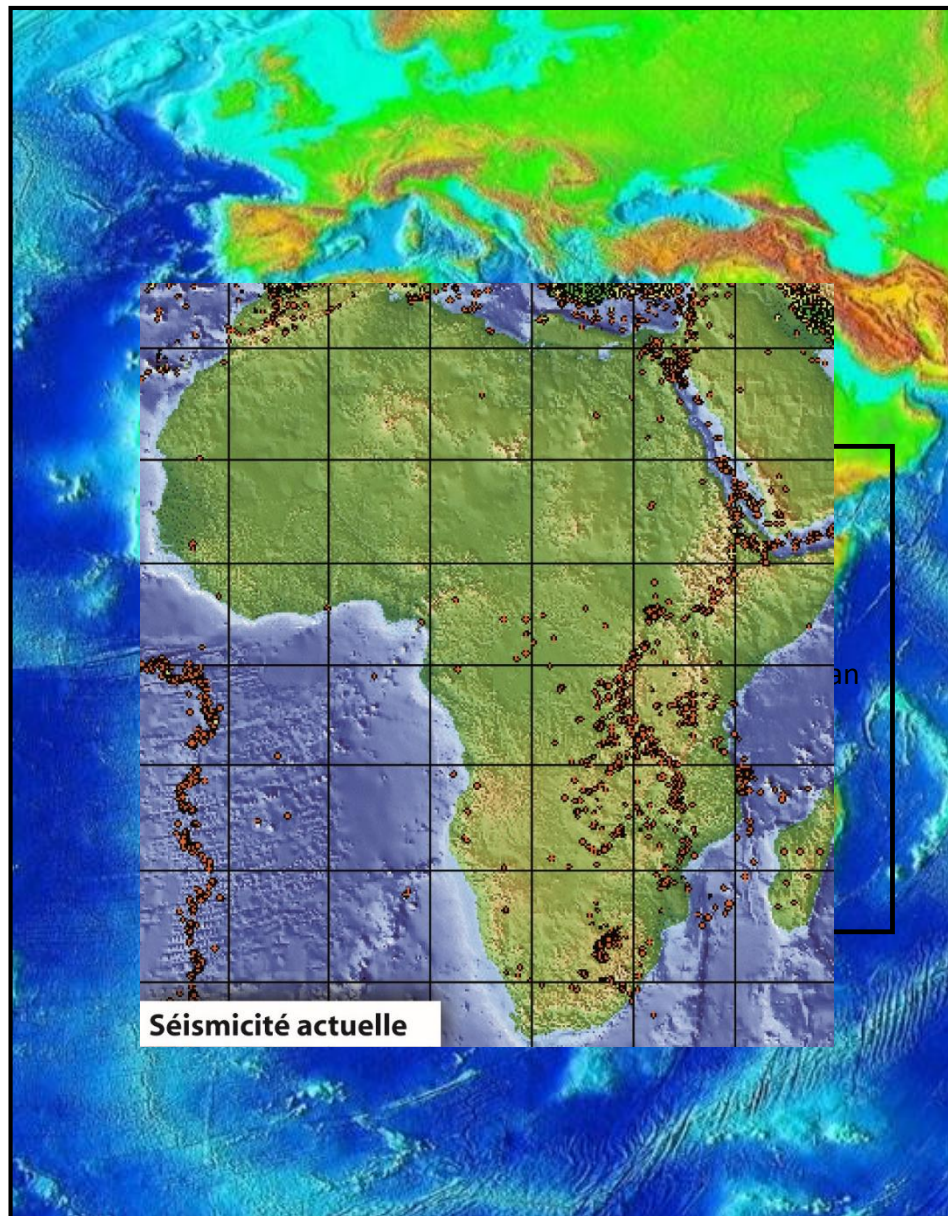


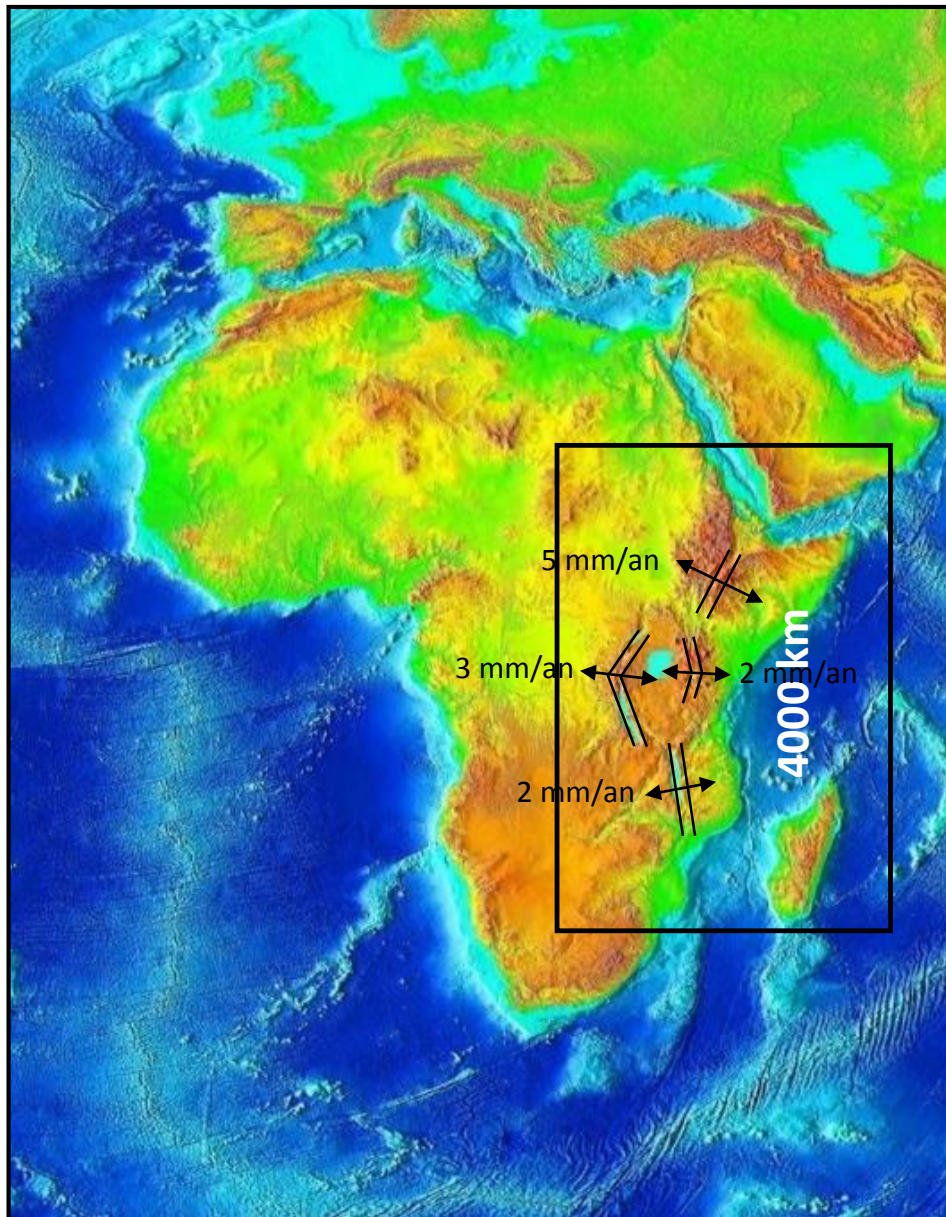
Deux exemples de rifting continental dans deux contextes orogéniques différents!



Exemple de rift Est Africain: amincissement de la lithosphère

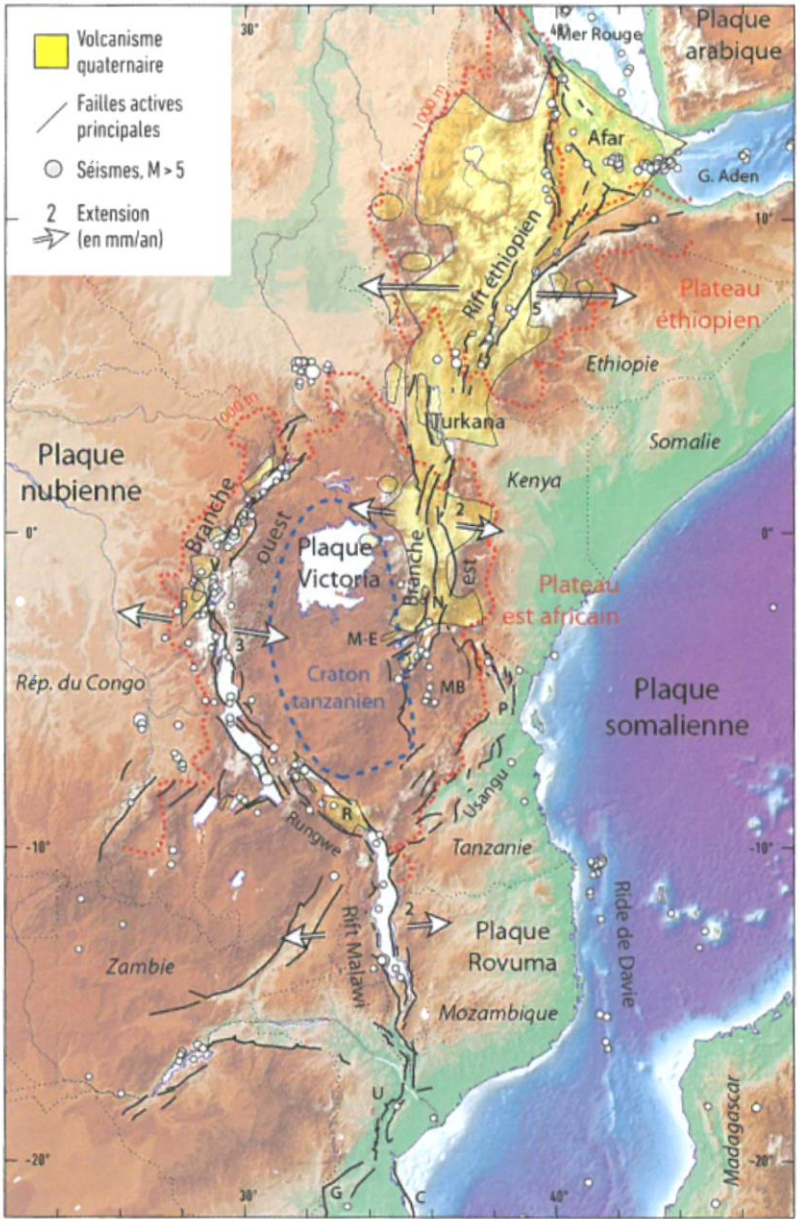
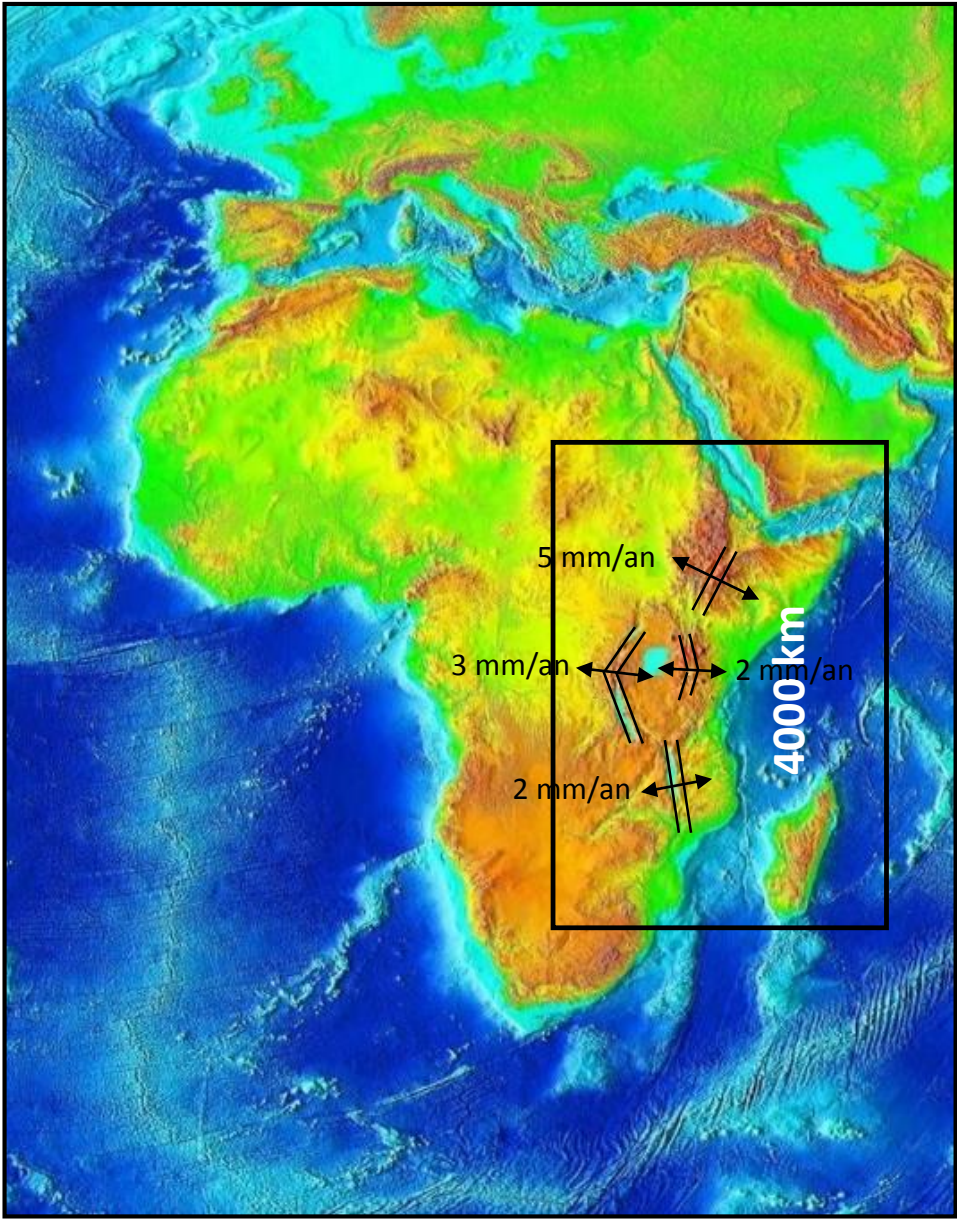






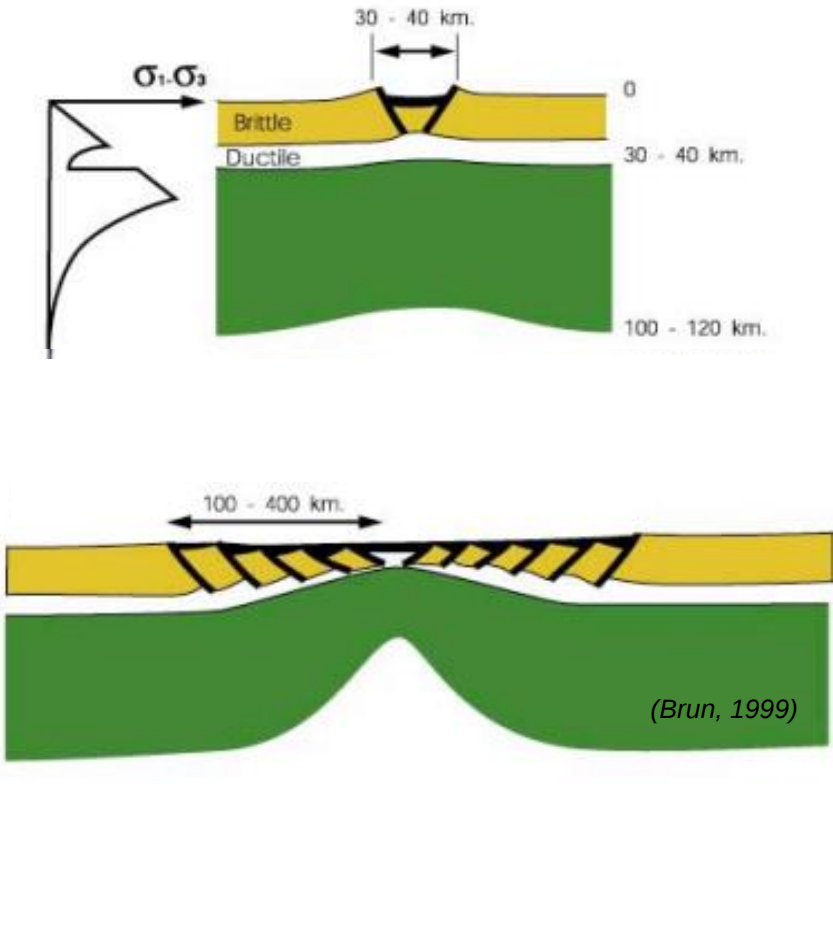
2. Rift étroit

⇒ Carte **topographique** et **sismique** de l'Afrique

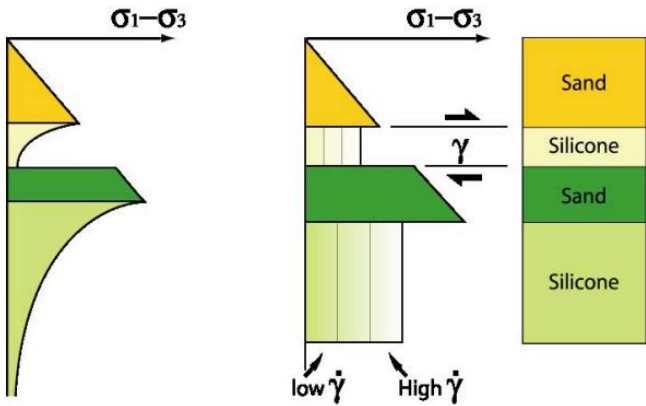
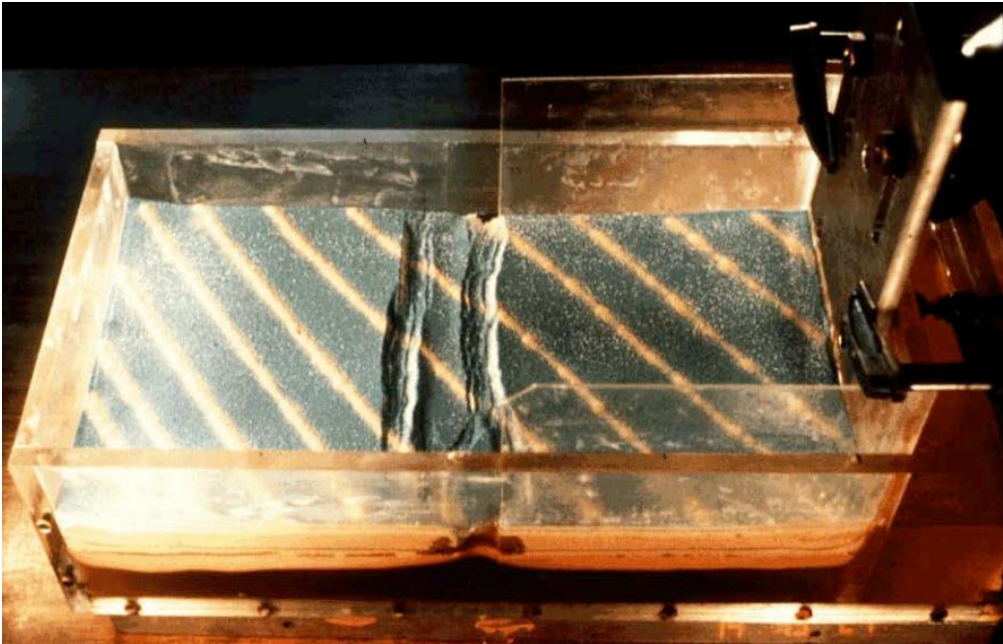


Rifting étroit
⇒ Cisaillement pur

Zone d'extension **étroite**

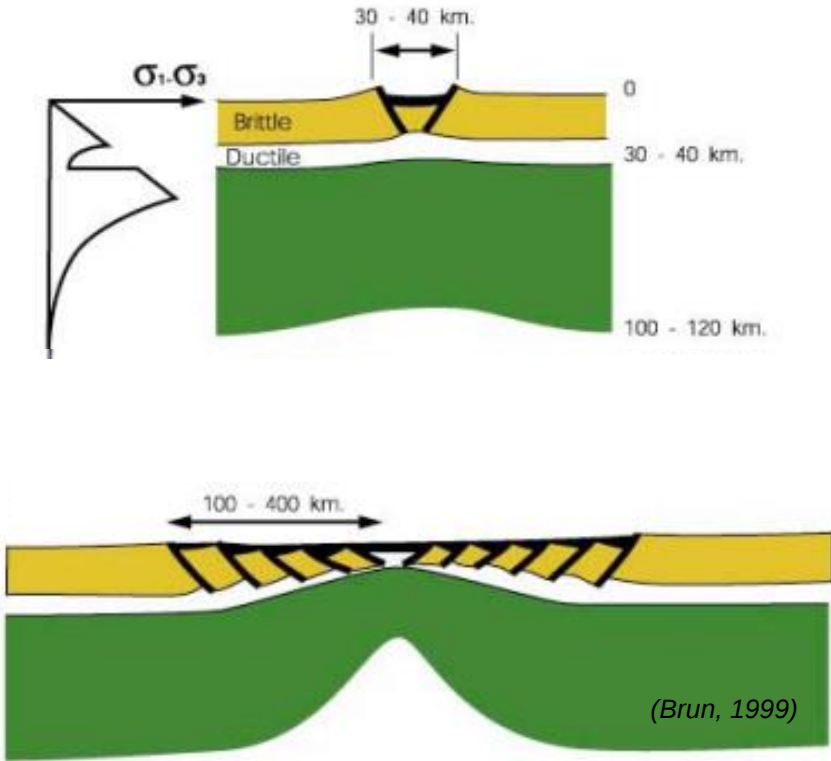


Modélisation analogique
⇒ Modèles/Observations terrain

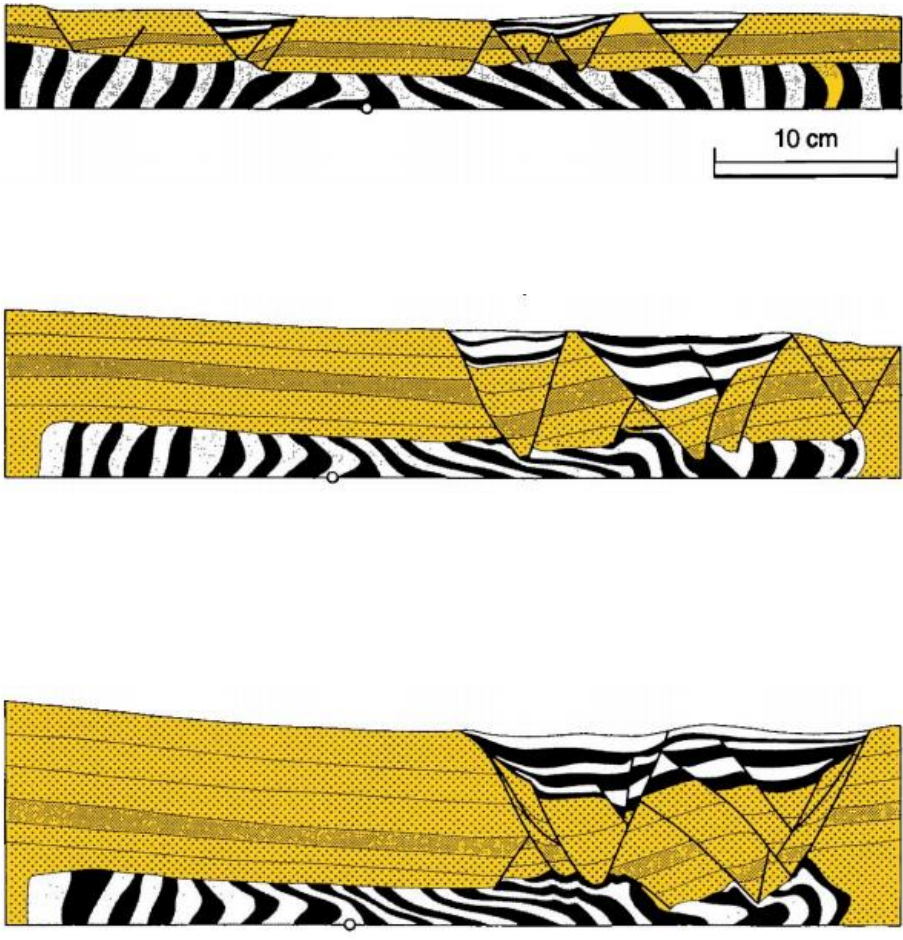


Rifting étroit
⇒ Cisaillement pur

Zone d'extension étroite



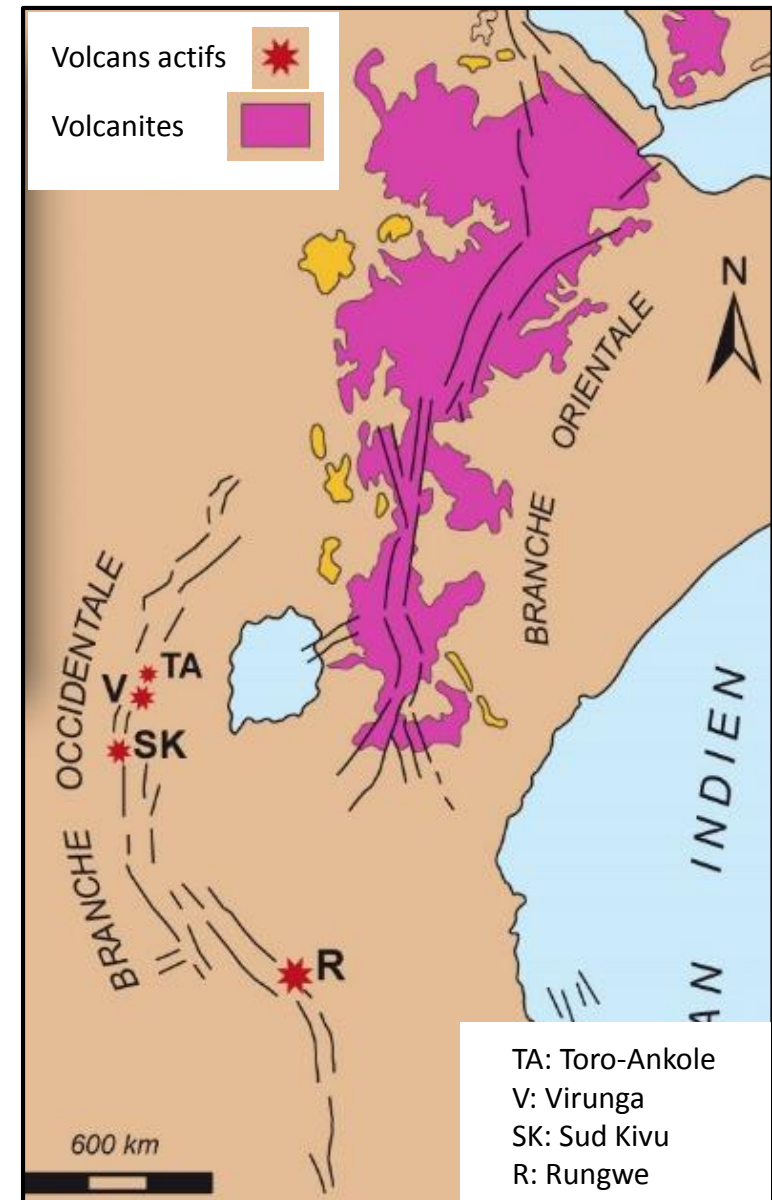
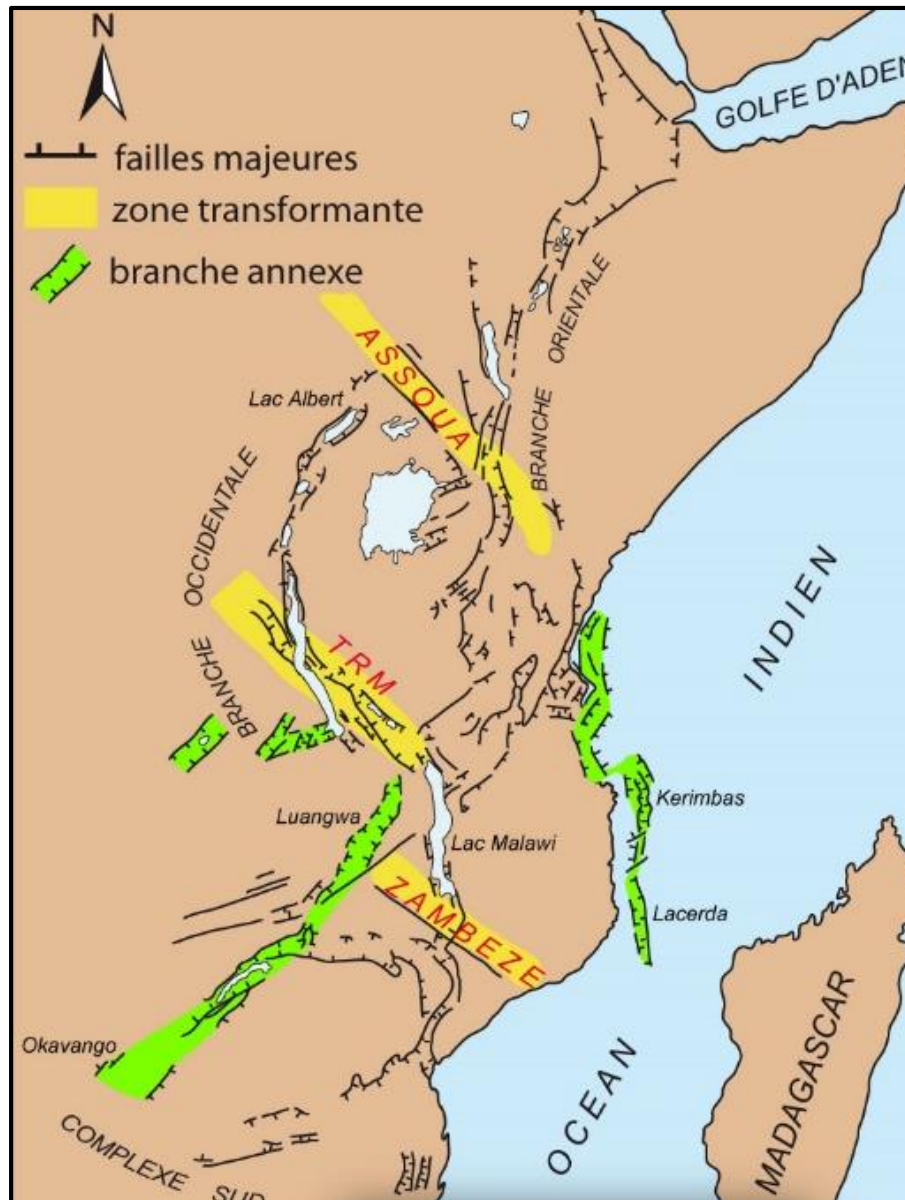
Modélisation analogique
⇒ Modèles/Observations terrain



Résistance fragile croissante

2. Rift étroit

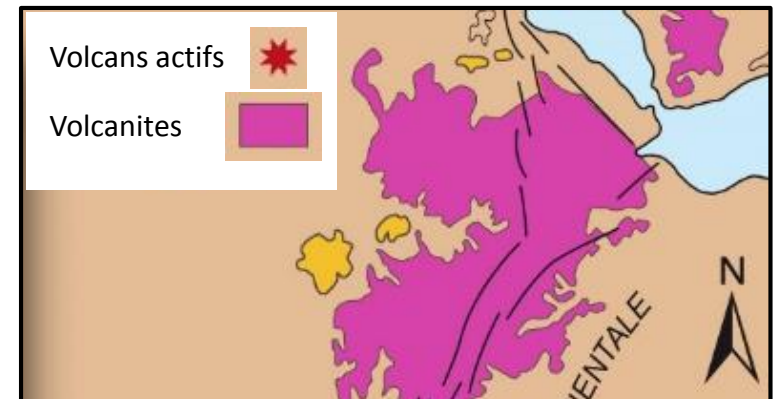
⇒ Cartes **structurales** et **volcaniques** du rift Est Africain



Géodynamique: Tectonique des plaques et cycle orogénique

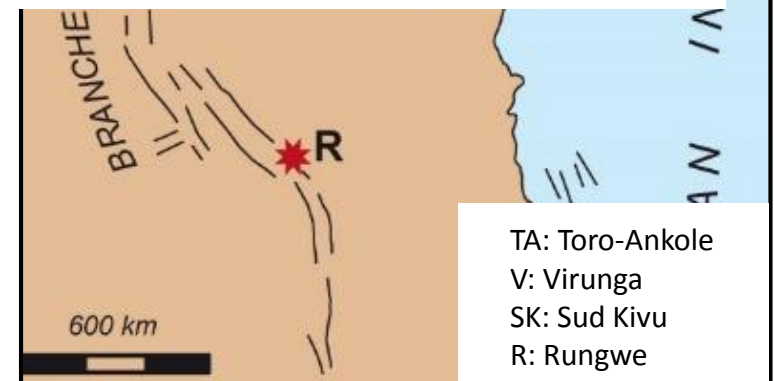
2. Rift étroit

⇒ Cartes **structurales** et **volcaniques** du rift Est Africain

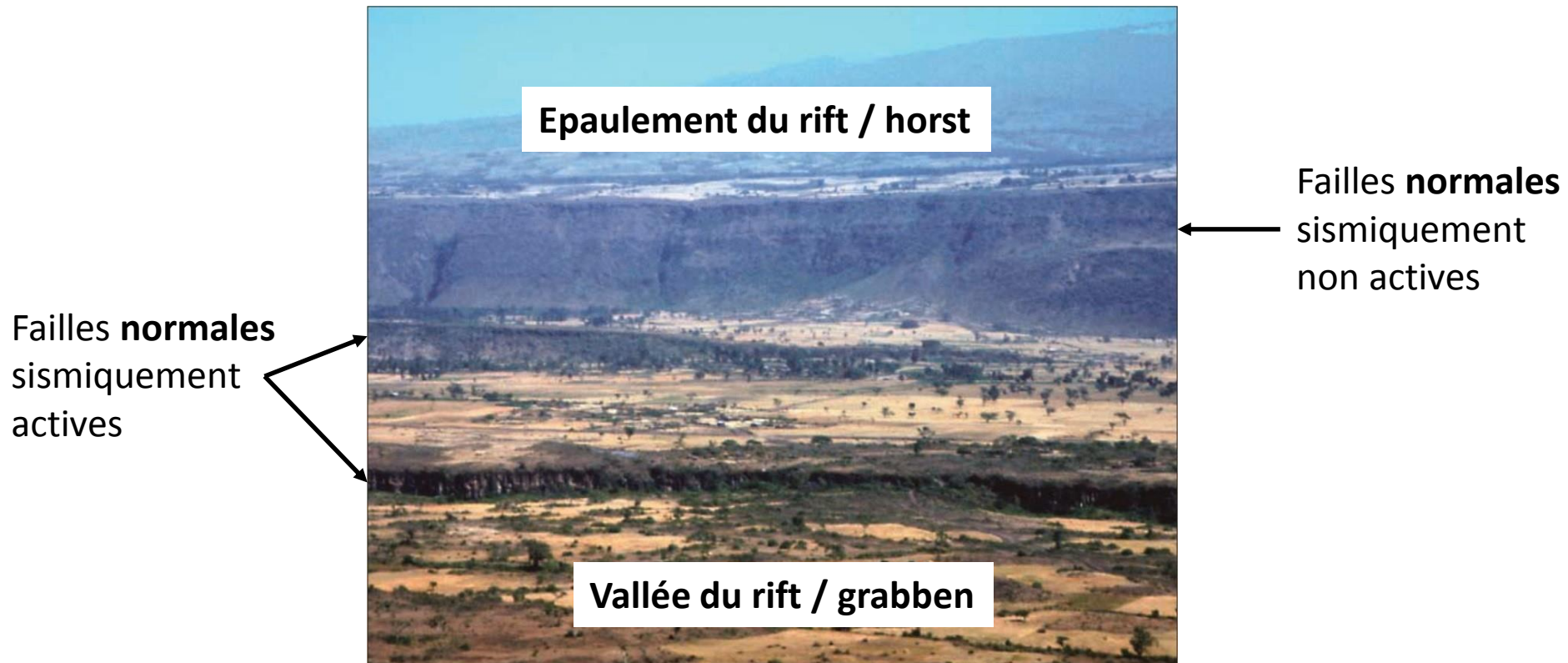
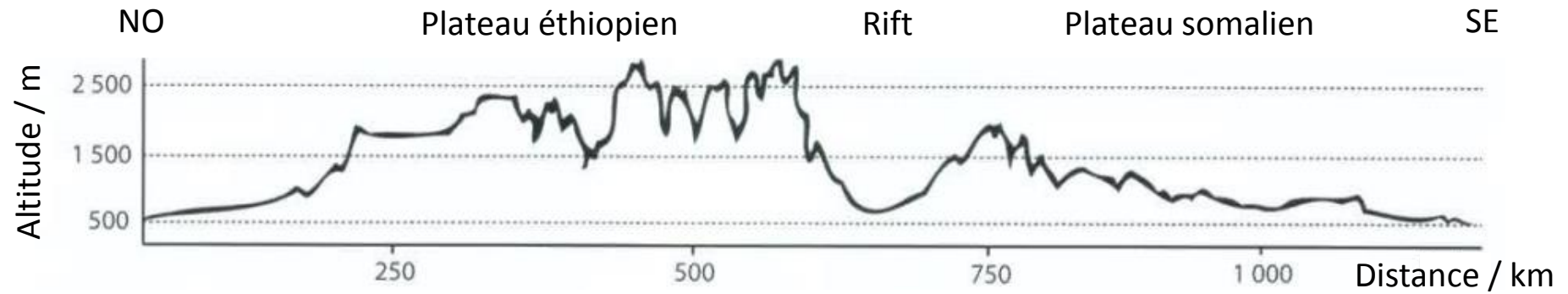


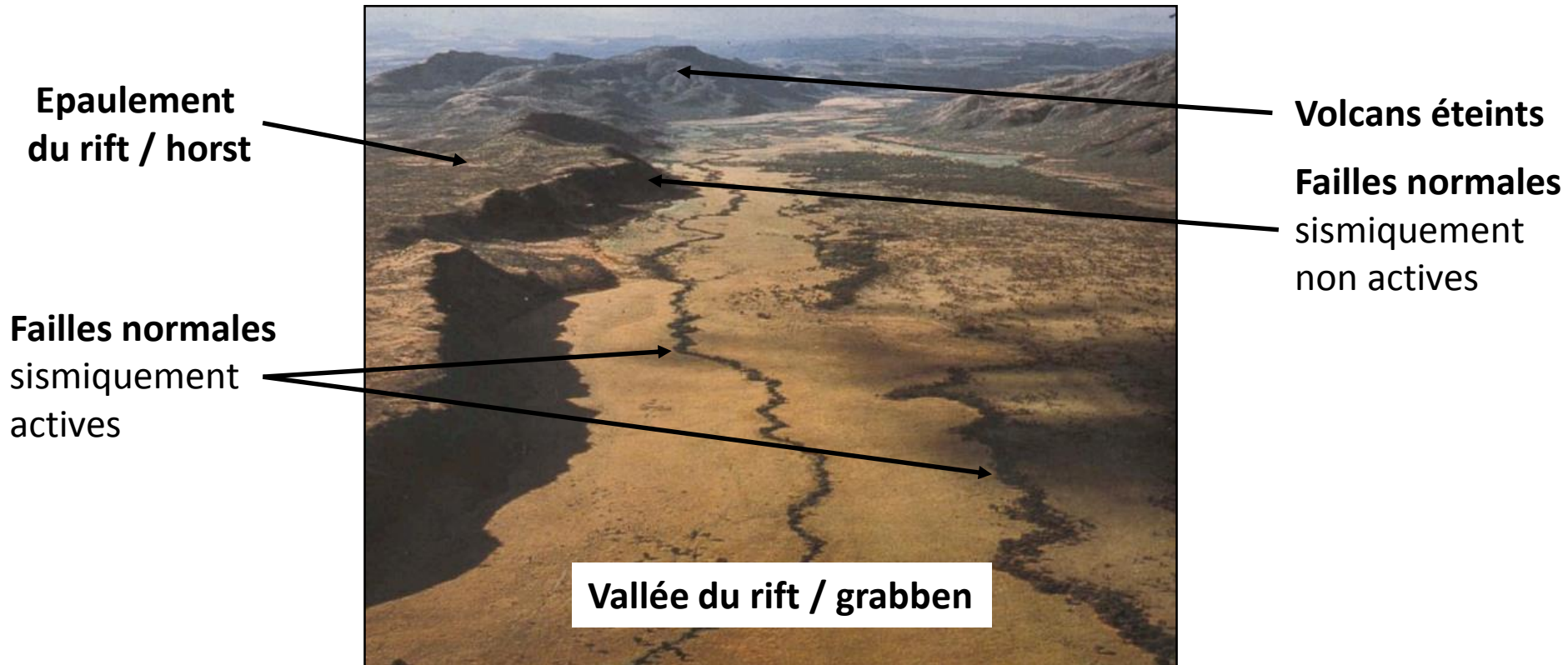
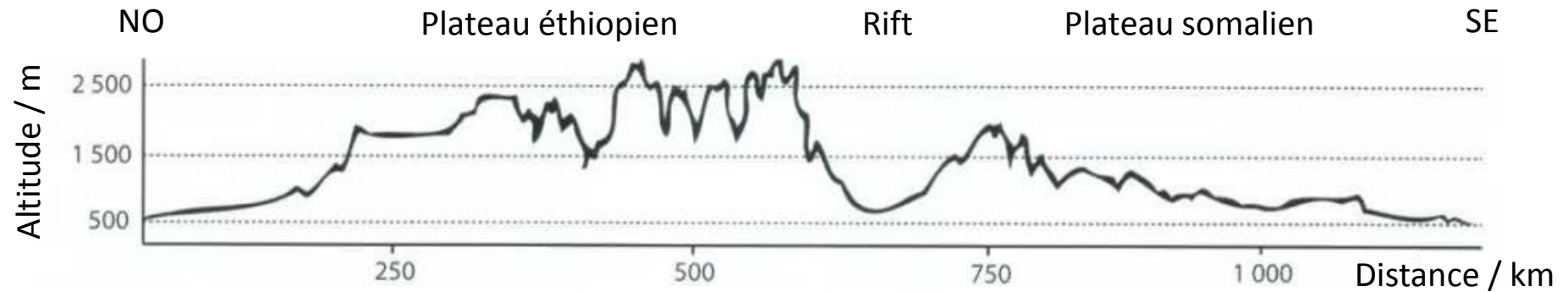
Il existe trois marqueurs de **l'extension continentale**

- ✓ La **topographie**: résultat d'un affaissement local et d'un soulèvement régional
- ✓ La **sédimentation**: conséquence de la subsidence tectonique
- ✓ La **magmatisme**: conséquence de l'amincissement lithosphérique

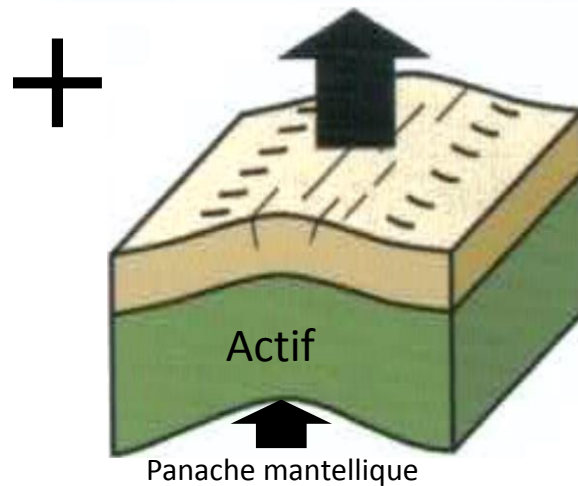
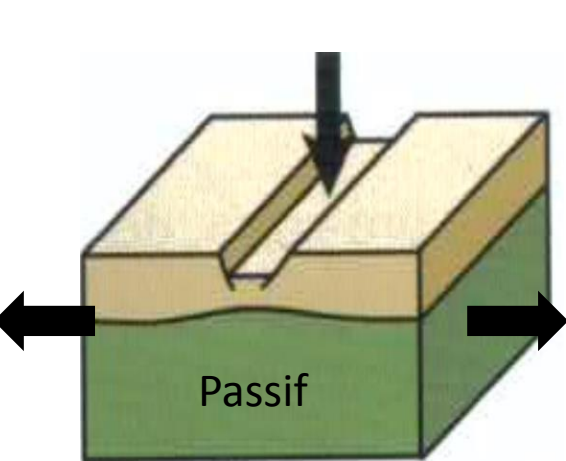
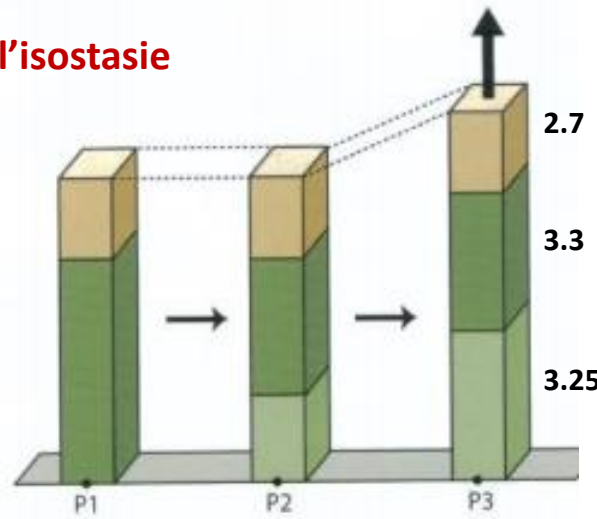
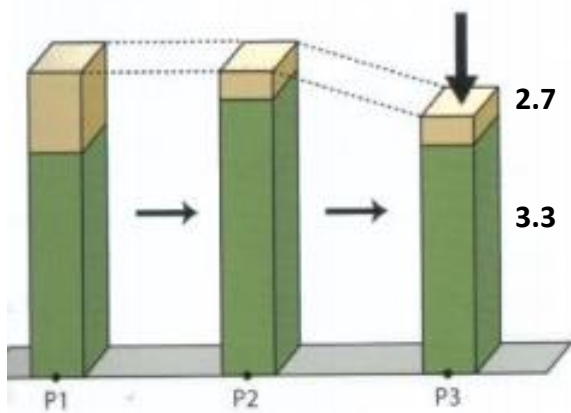


Géodynamique: Tectonique des plaques et cycle orogénique





Principe de l'isostasie



Subsidence tectonique

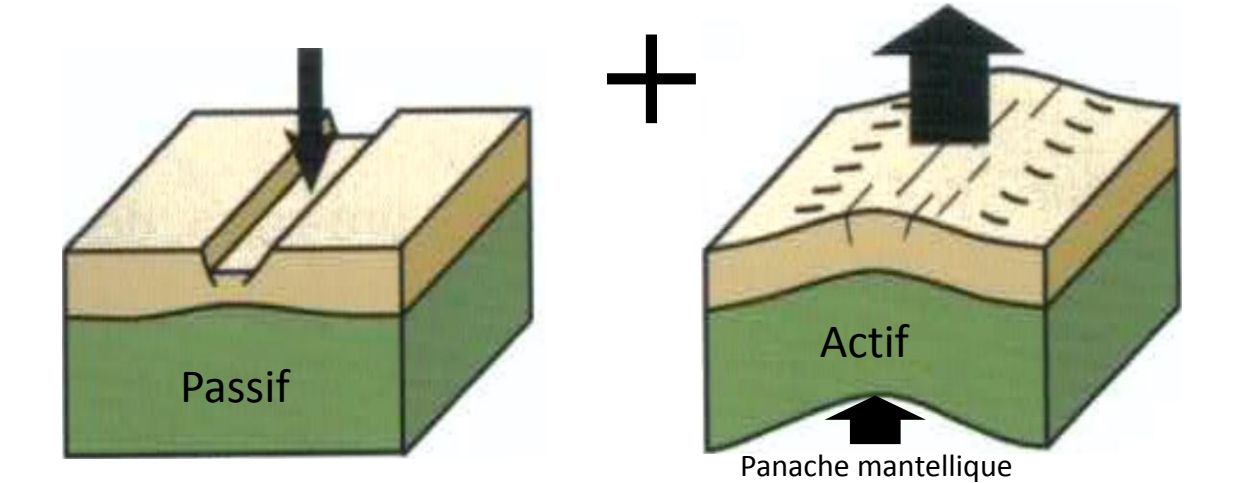
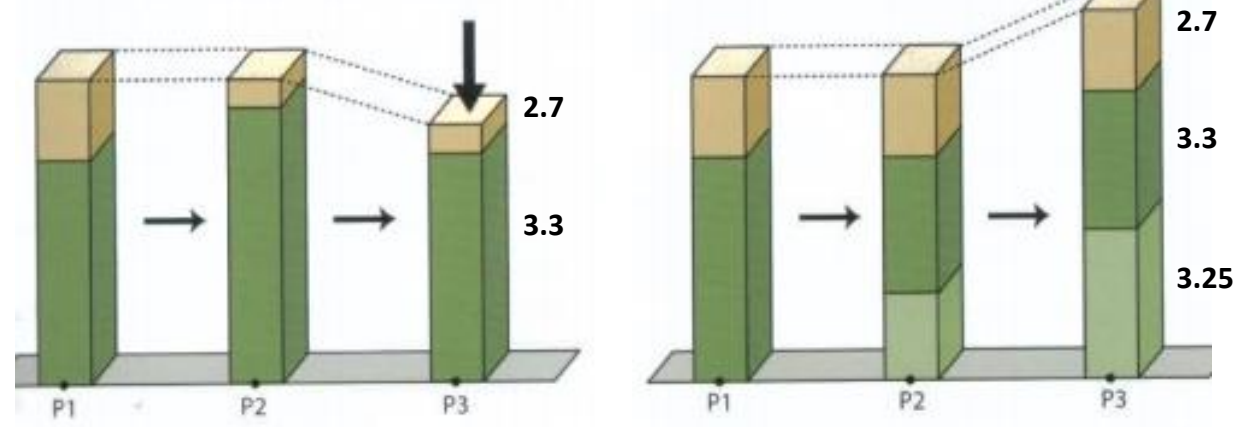
⇒ Amincissement crustale

Bombement régional

⇒ Amincissement lithosphérique

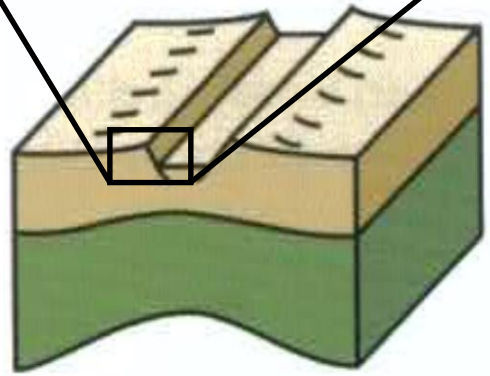
2.7 Croûte continentale **3.3** Manteau lithosphérique **3.25** Manteau asthénosphérique

Principe de l'isostasie



Subsidence tectonique
⇒ Amincissement crustale

Bombement régional
⇒ Amincissement lithosphérique

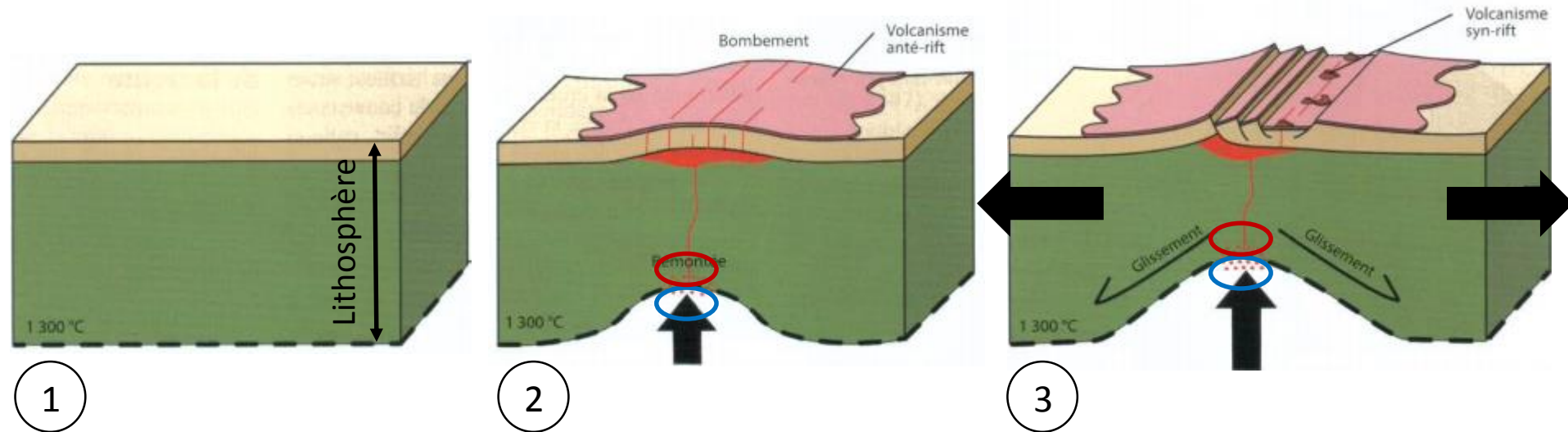


Rift et épaulement
⇒ Superposition des deux phénomènes

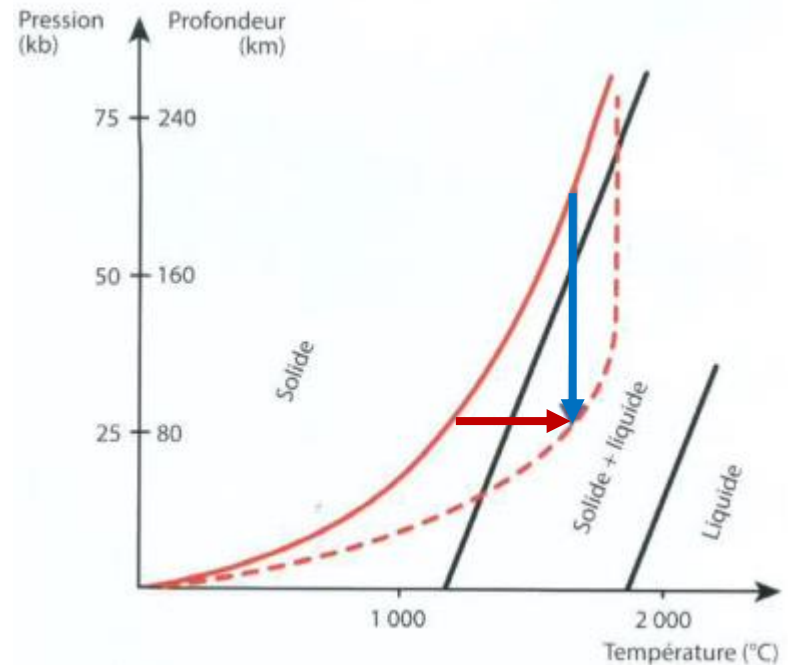
2.7 Croûte continentale **3.3** Manteau lithosphérique **3.25** Manteau asthénosphérique

2. Rift étroit

⇒ Marqueurs de l'extension continentale: le **magmatisme**

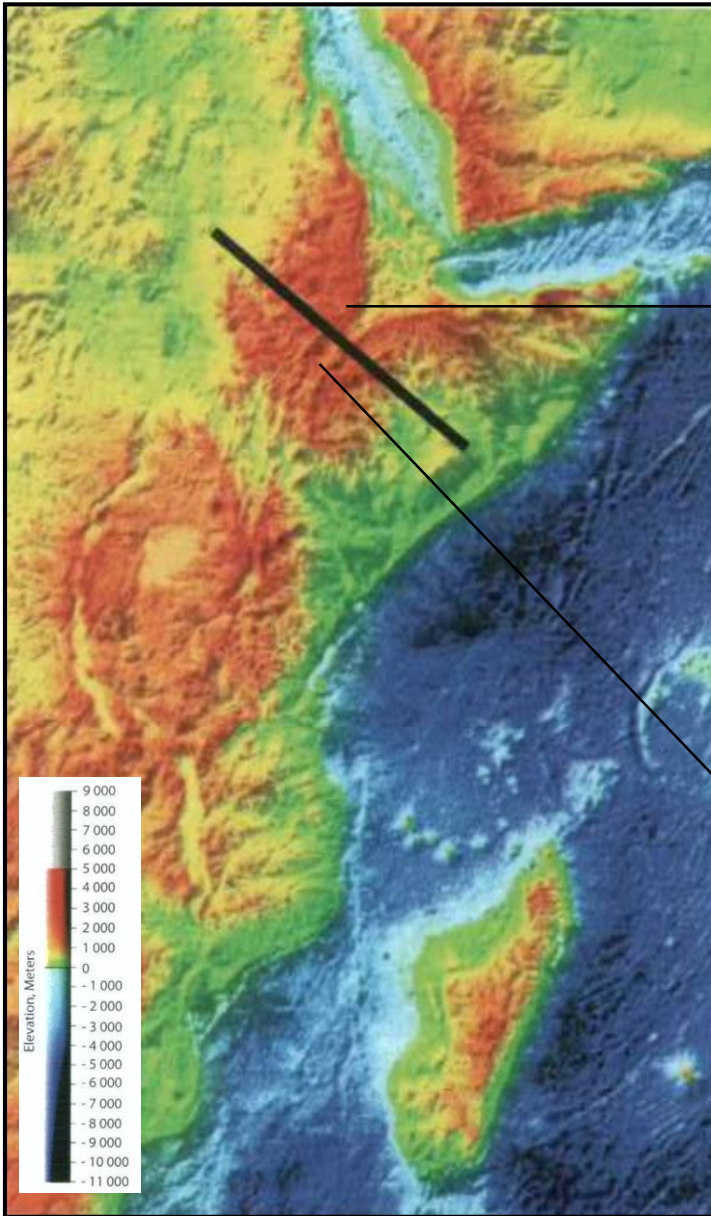


1. Lithosphère continentale normale
2. Remontée d'un panache mantellique:
 - bombement topographique
 - fusion partielle des péridotites (volcanisme anté-rift)
3. Extension et rifting continental actif:
 - limite LVZ considérée comme plan de glissement
 - fusion partielle des péridotites (volcanisme syn-rift)



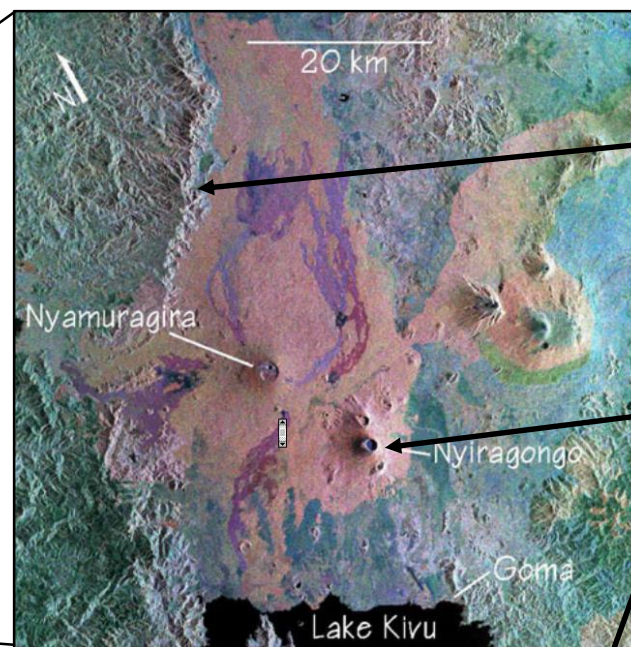
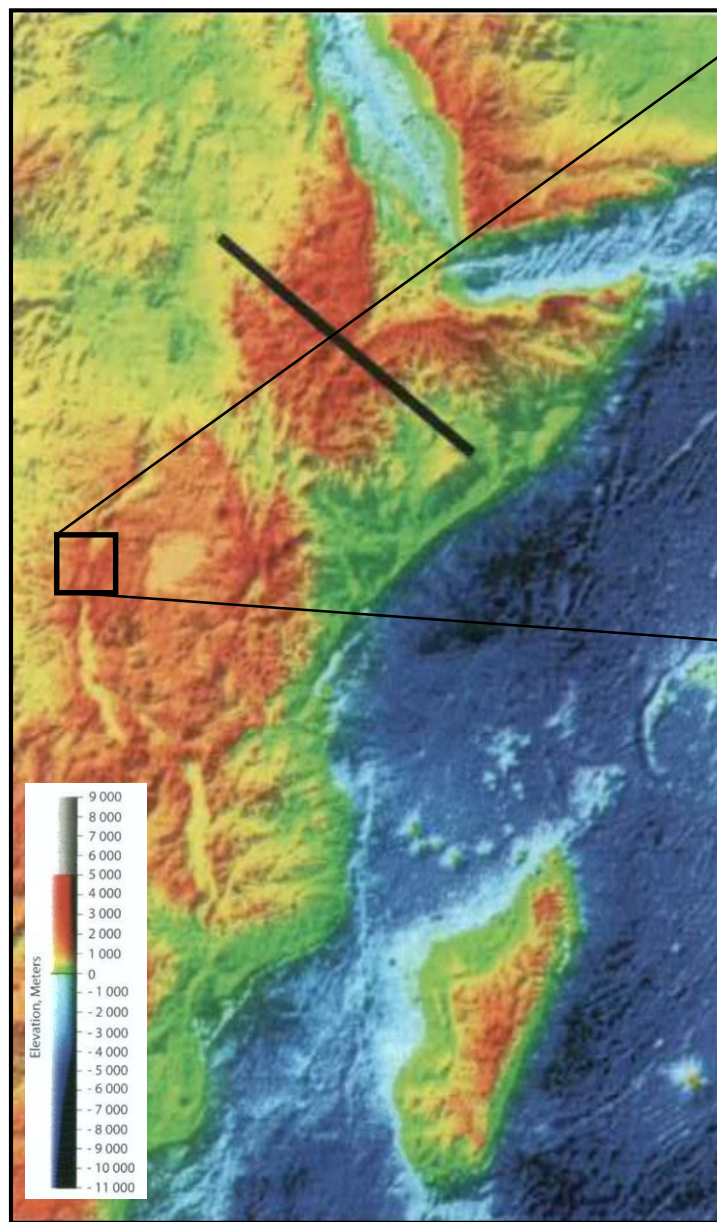
2. Rift étroit

⇒ Marqueurs de l'extension continentale: le **magmatisme**



2. Rift étroit

⇒ Marqueurs de l'extension continentale: le **magmatisme**



Faille normale
sismiquement
non active

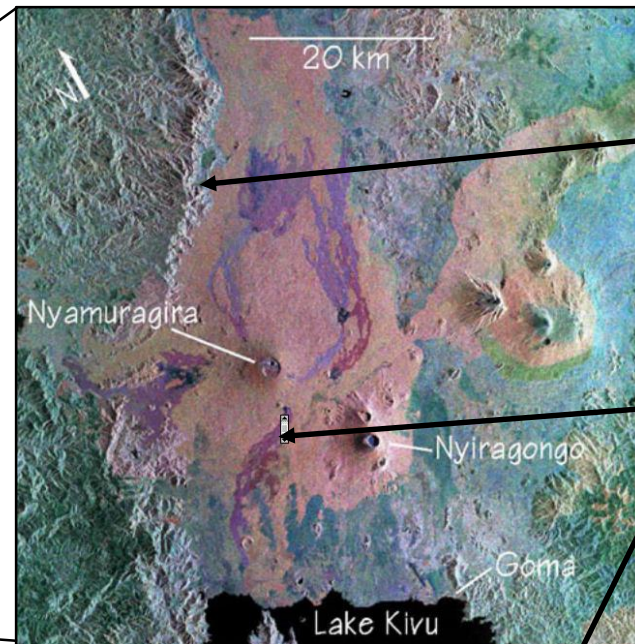
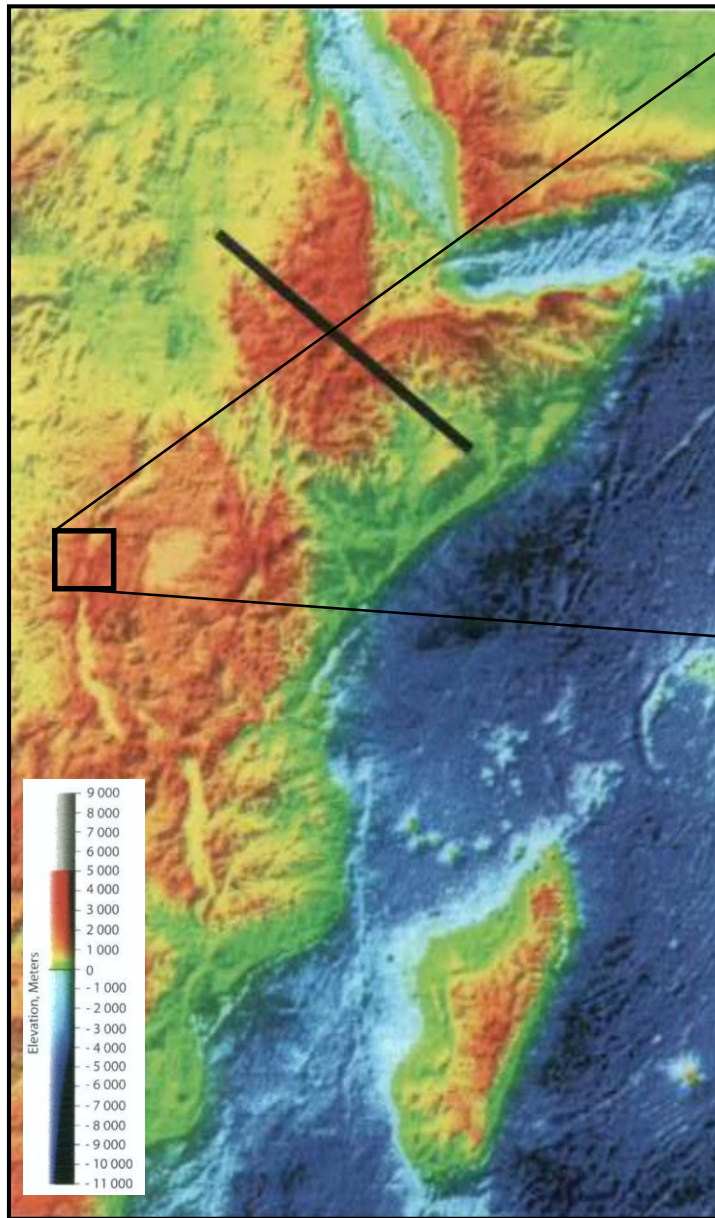
Volcans actifs:
stratovolcan
(1977, 2002)



Mont Nyiragongo (RDC)

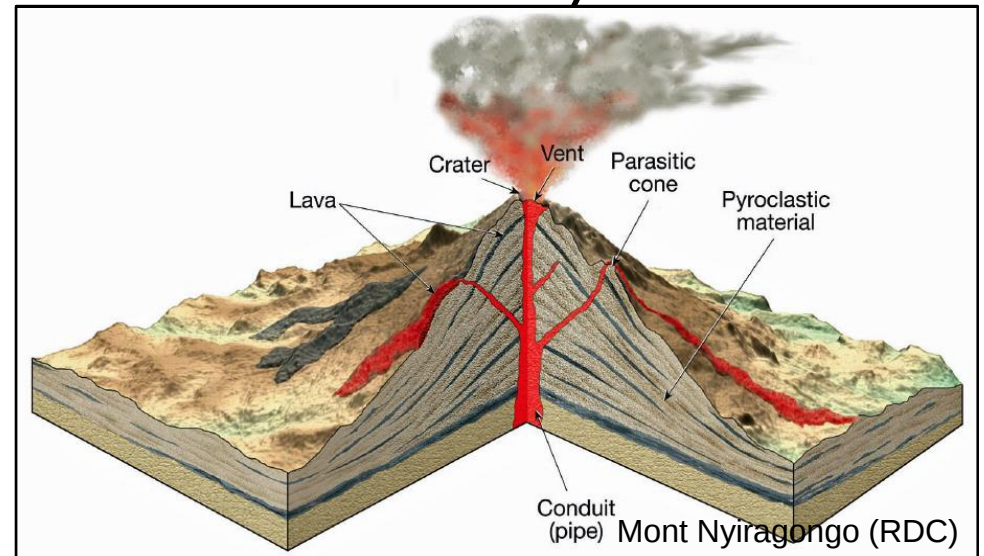
2. Rift étroit

⇒ Marqueurs de l'extension continentale: le **magmatisme**



Faille normale
sismiquement
non active

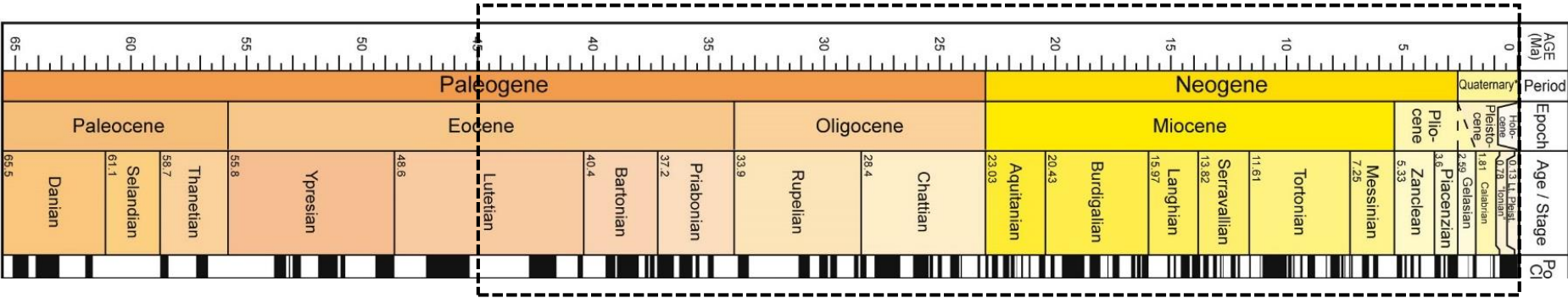
Volcans actifs:
stratovolcan
(1977, 2002)

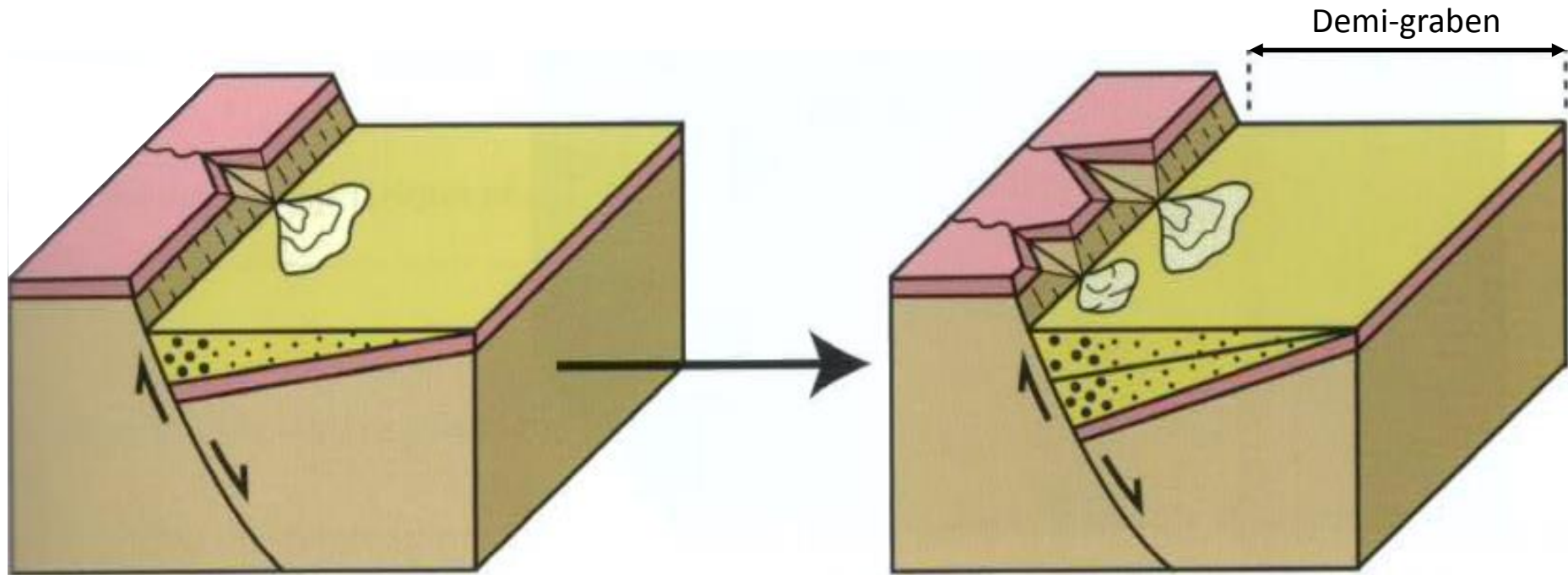


Il existe **trois facteurs** qui contrôlent la **sédimentation** d'un **bassin** de **rift** Est Africain:

- ✓ La **tectonique**: conglomérats typiques de cônes alluviaux et mégabrêches liées à l'activité sismique. Le flan opposé du fossé, de moindre relief, est caractérisé par des environnements fluviaux et deltaïques.
- ✓ Le **climat**: formation de séquences évaporitiques (carbonate de sodium), branche Est.
- ✓ Le **volcanisme**: forte activité magmatique et épanchement volcanique depuis l'Eocène supérieur jusqu'à l'actuel, branche Est

⇒ **Facteurs contemporains** ou se succédant dans le **temps**. Ainsi, les sédiments des bassins lacustres sont des archives des grands changements climatiques et tectono-volcaniques depuis l'Eocène, puis au cours du Miocène et du Plio-Pléistocène.





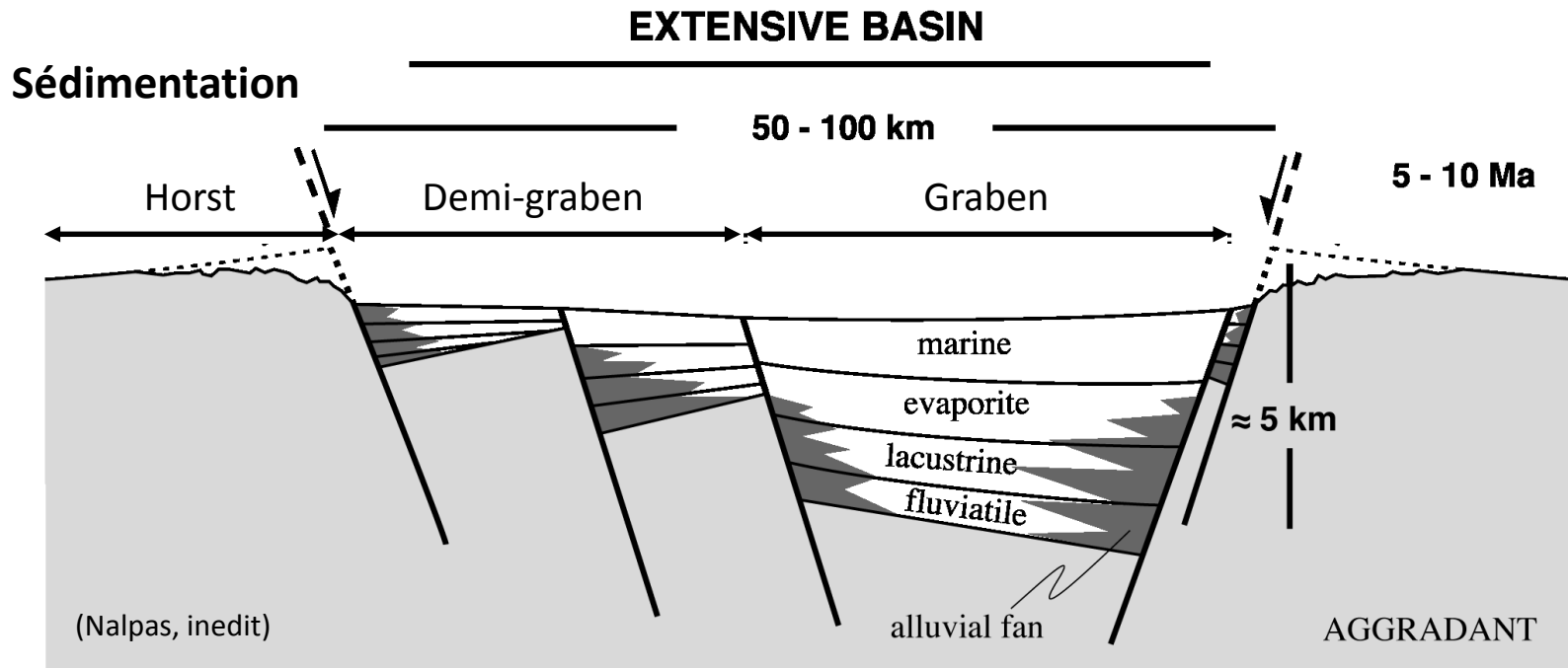
✓ **Sédimentation en éventail**: dépôt contemporain du jeu de la faille

⇒ Sédiments syn-rifts

✓ **Epaisseurs variables** des **sédiments** de part et d'autre des **failles**

⇒ Failles syn-sédimentaires

Synchronisme
TECTONIQUE &
SEDIMENTATION

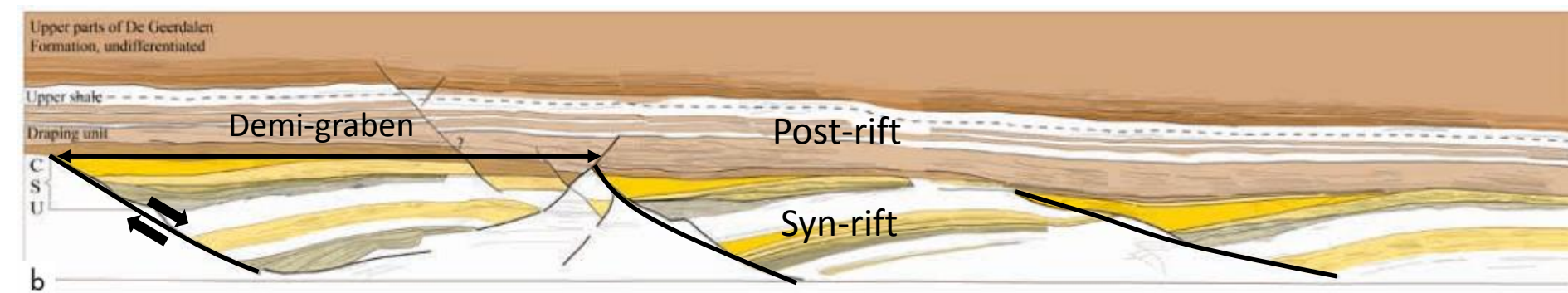


Sédiments et environnements de dépôts:

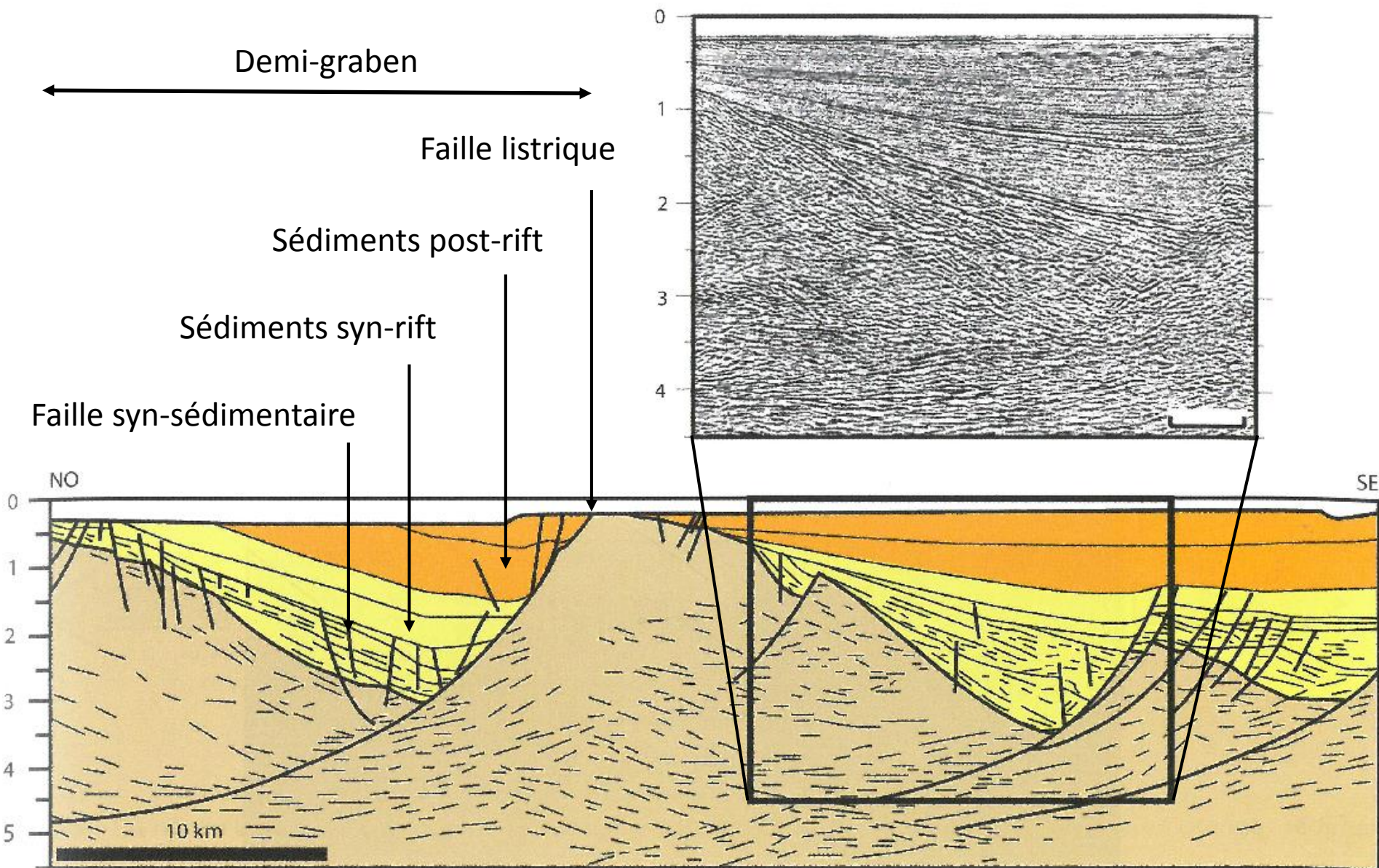
- ✓ Détritiques, plus rarement chimique
- ✓ Sous faible tranche d'eau, avec tendance fréquente à l'émersion
- ✓ Le plus souvent fluvatile et lacustre, voire marécageux ou tourbeux
- ✓ Parfois associés à des gisements de charbons
- ✓ Epaisseurs de sédiments qui peuvent être considérables (milliers de km)

2. Rift étroit

⇒ Marqueurs de l'extension continentale: la **sédimentation**

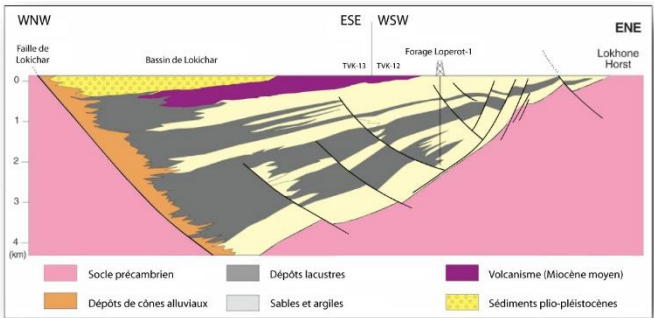
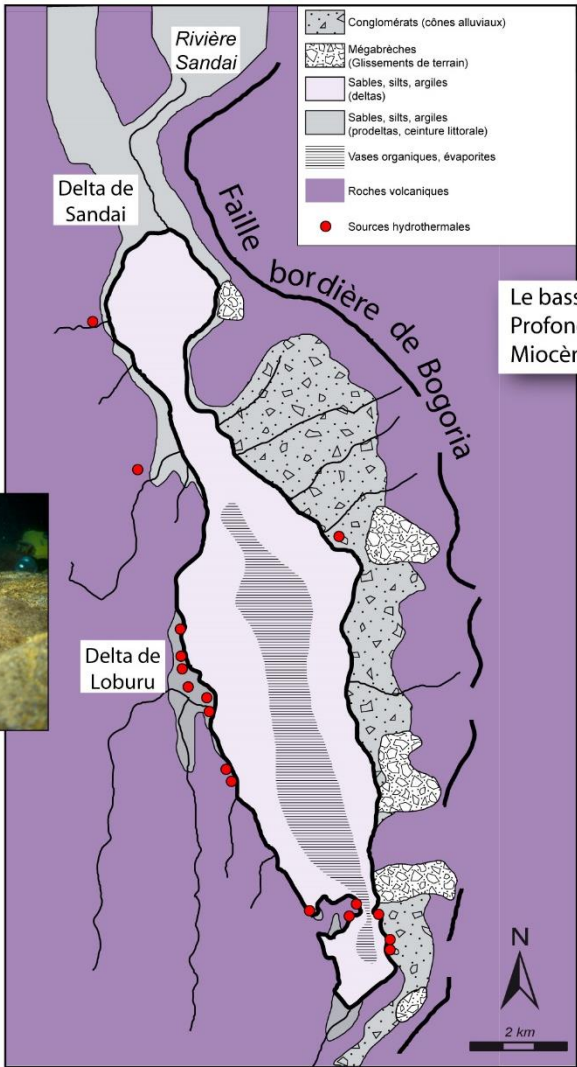
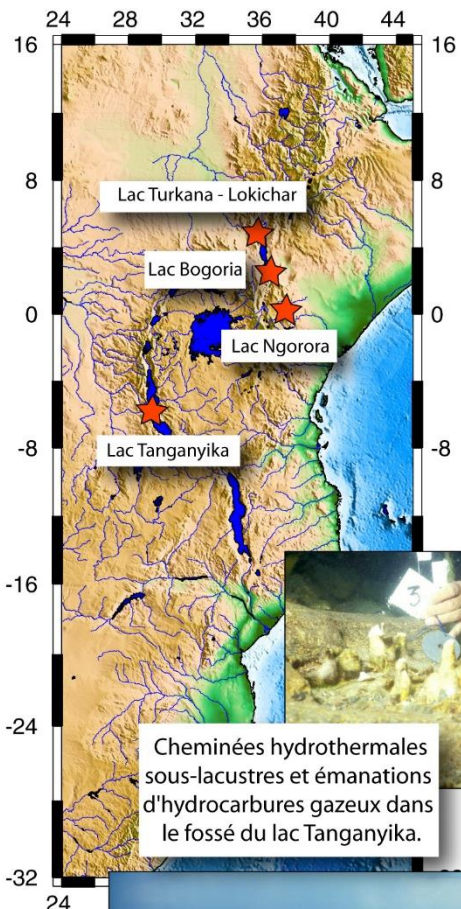


Géodynamique: Tectonique des plaques et cycle orogénique

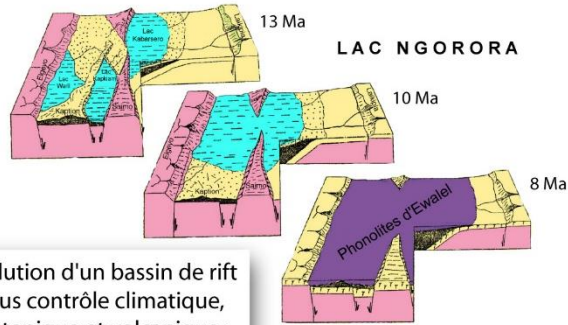


2. Rift étroit

⇒ Marqueurs de l'extension continentale: la **sédimentation**



Le bassin de Lokichar est limité à l'Ouest par une faille normale majeure. Profond de 5 km, il contient un ensemble sédimentaire d'âge Paléocène - Miocène moyen formé d'alternances de dépôts fluvio-lacustres.

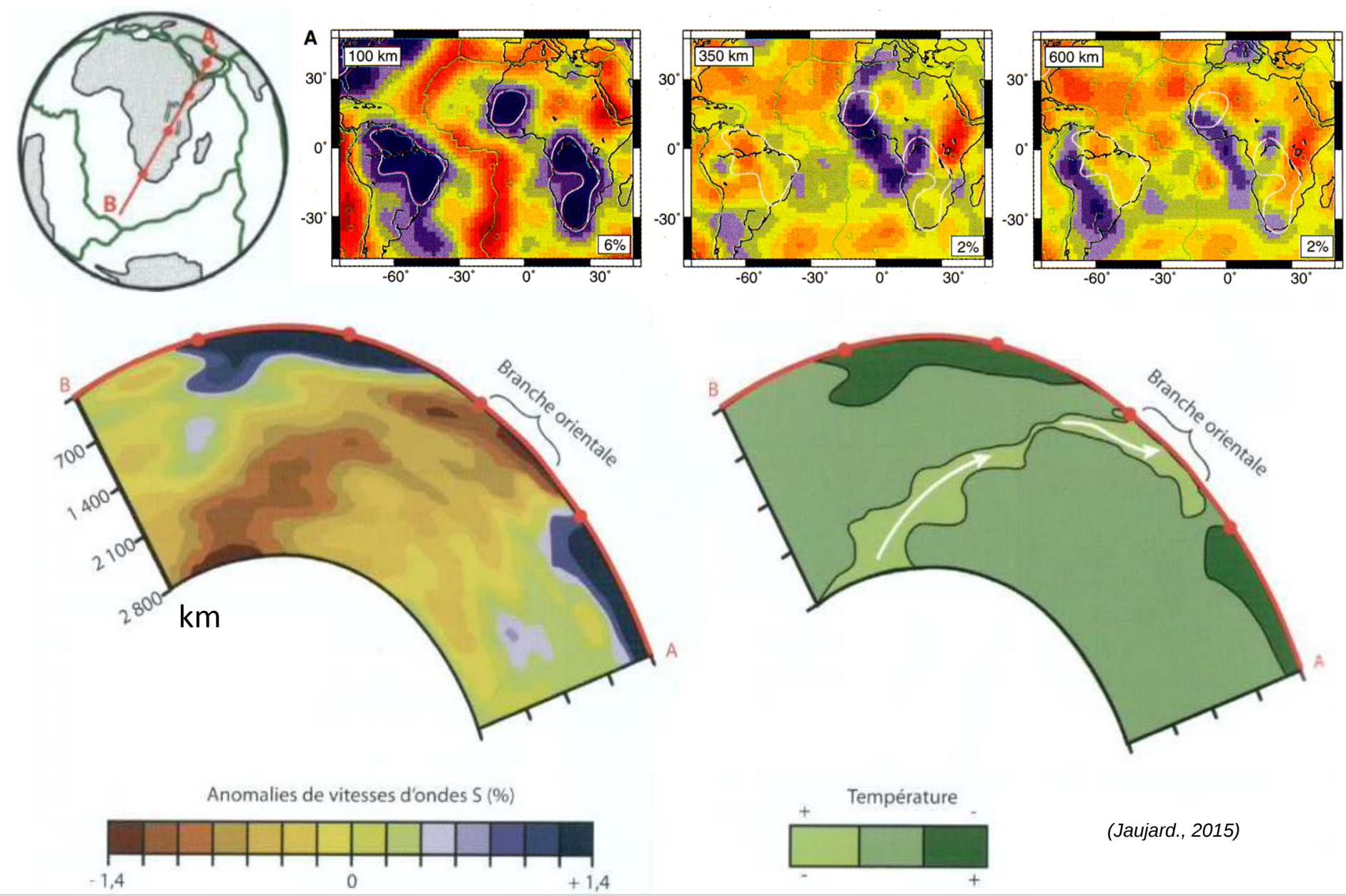


Évolution d'un bassin de rift sous contrôle climatique, tectonique et volcanique : le bassin du lac Ngorora, rift central du Kenya.

(Dauteuil et al., 2009)

Le bassin du lac Bogoria, rift central du Kenya. Ce petit lac sursalé long de 19 km, profond de 10 m, occupe une structure en demi-graben formée au Pléistocène moyen.

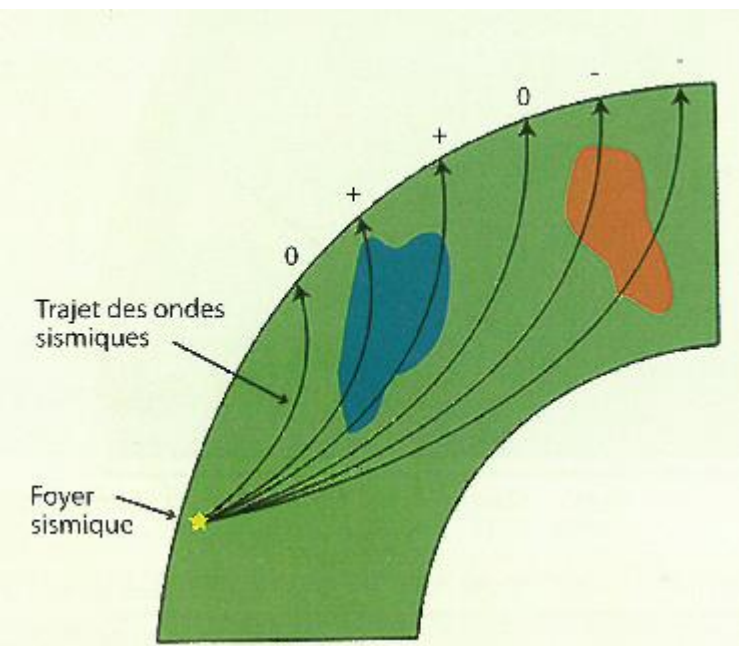
Sédimentation en contexte de rift intracontinental : distribution sous contrôle tectonique et/ou climatique des différents environnements sédimentaires.



⇒ Principe de la tomographie sismique:

Il s'agit de comparer les temps d'arrivée réels des ondes sismiques à des temps d'arrivée calculés à partir d'une référence.

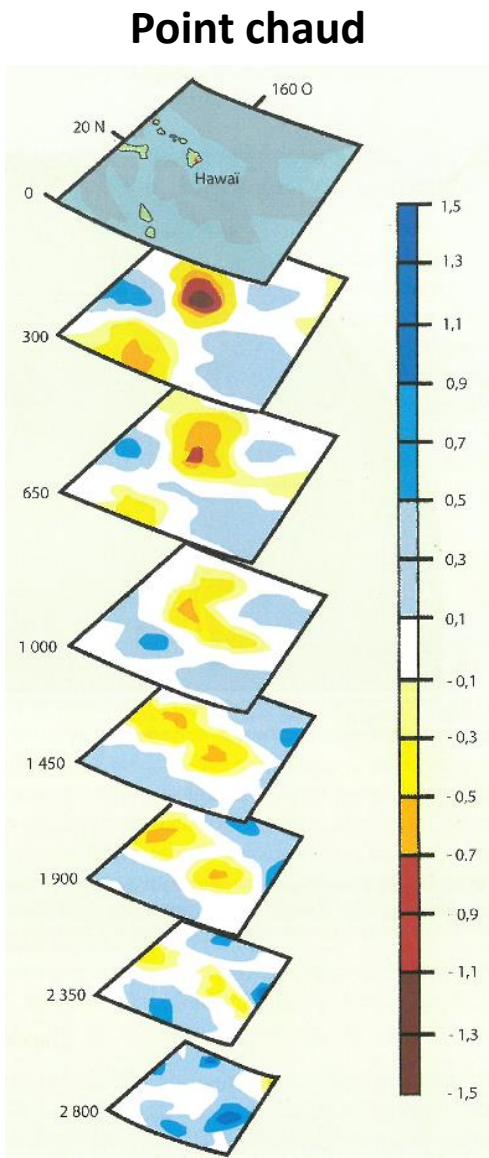
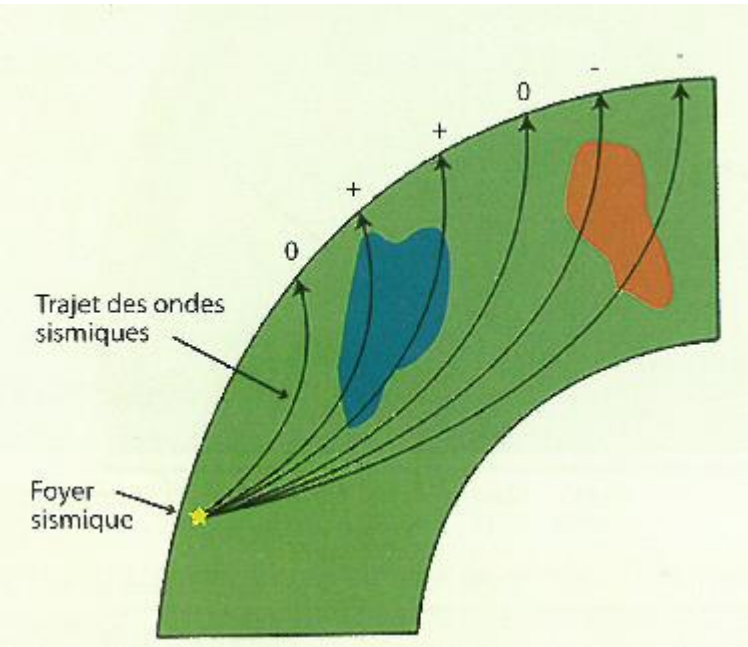
- ✓ Anomalies positives: manteau froid (dense)
- ✓ Anomalies négatives: manteau chaud (peu dense)



⇒ **Principe de la tomographie sismique:**

Il s'agit de comparer les temps d'arrivée réels des ondes sismiques à des temps d'arrivée calculés à partir d'une référence.

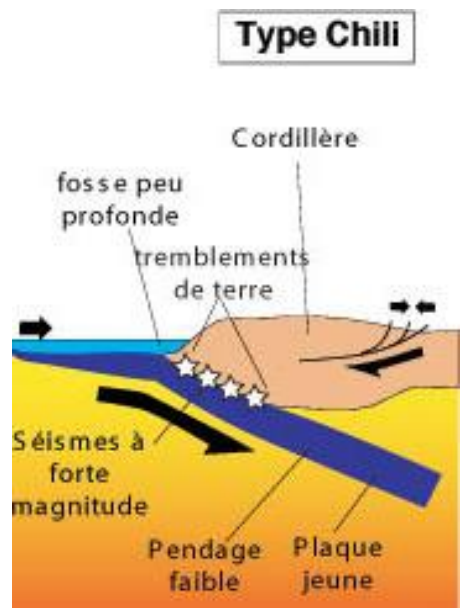
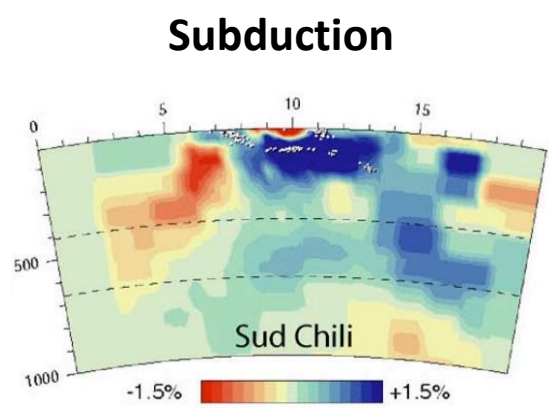
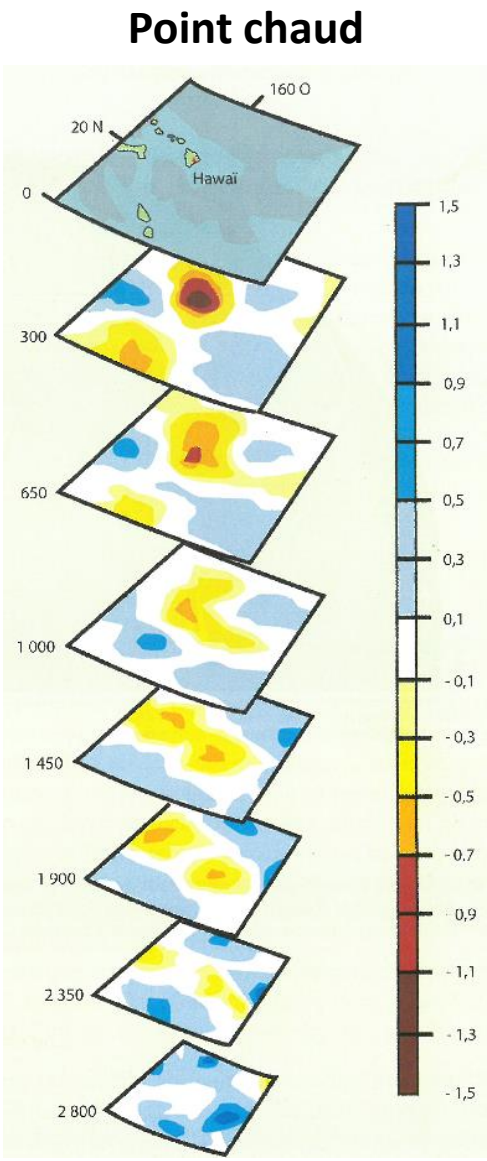
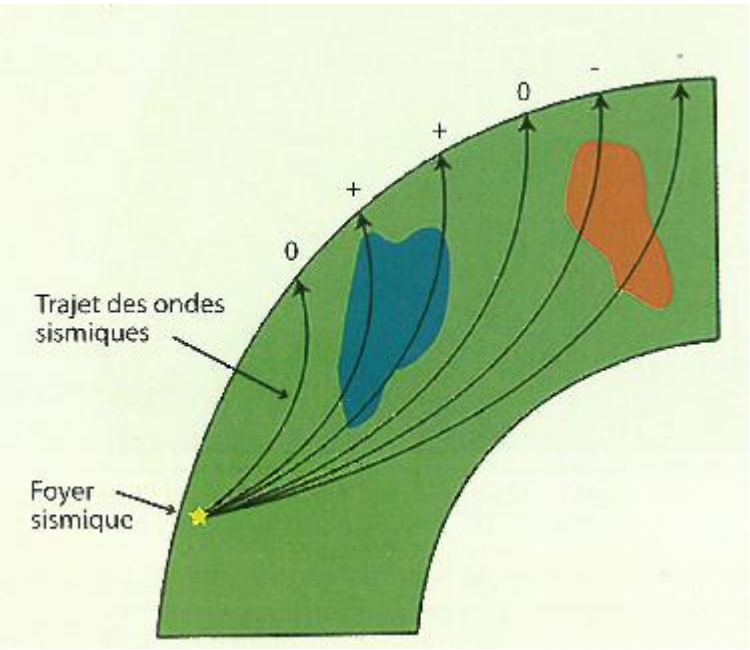
- ✓ Anomalies positives: manteau froid (dense)
- ✓ Anomalies négatives: manteau chaud (peu dense)



⇒ Principe de la tomographie sismique:

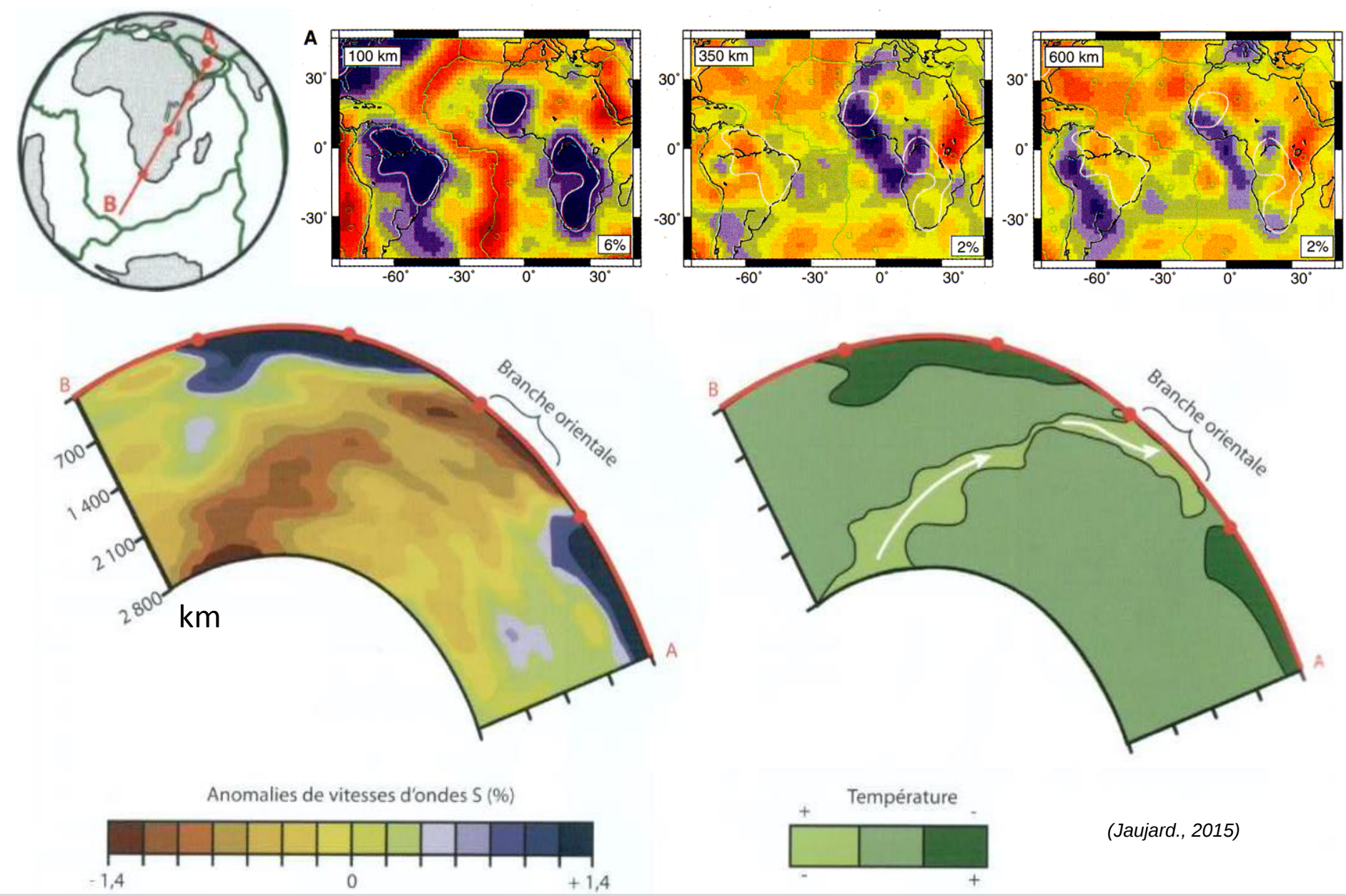
Il s'agit de comparer les temps d'arrivée réels des ondes sismiques à des temps d'arrivée calculés à partir d'une référence.

- ✓ Anomalies positives: manteau froid (dense)
- ✓ Anomalies négatives: manteau chaud (peu dense)



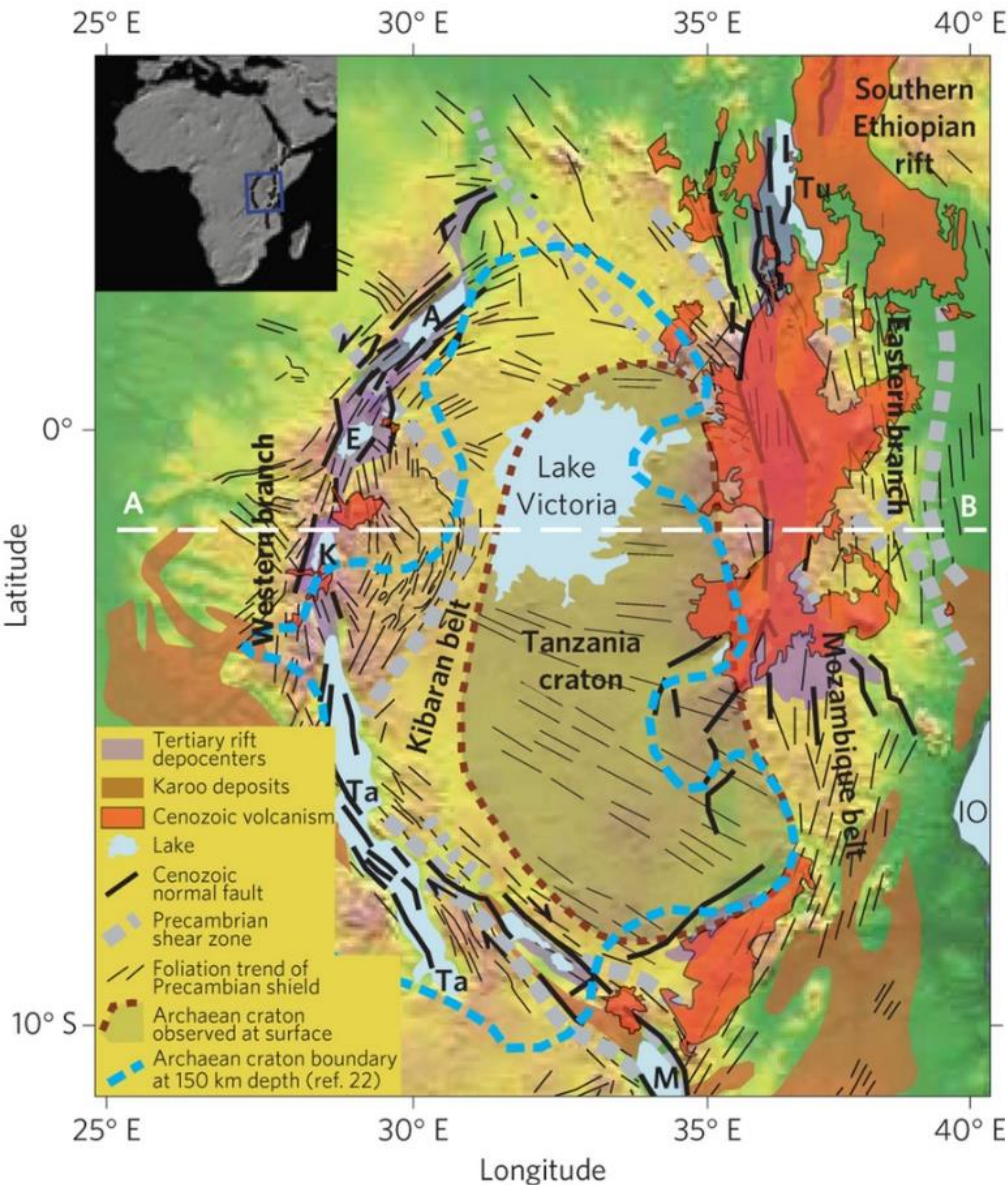
2. Rift étroit

⇒ Modèle de formation du rift Est Africain grâce à la tomographie

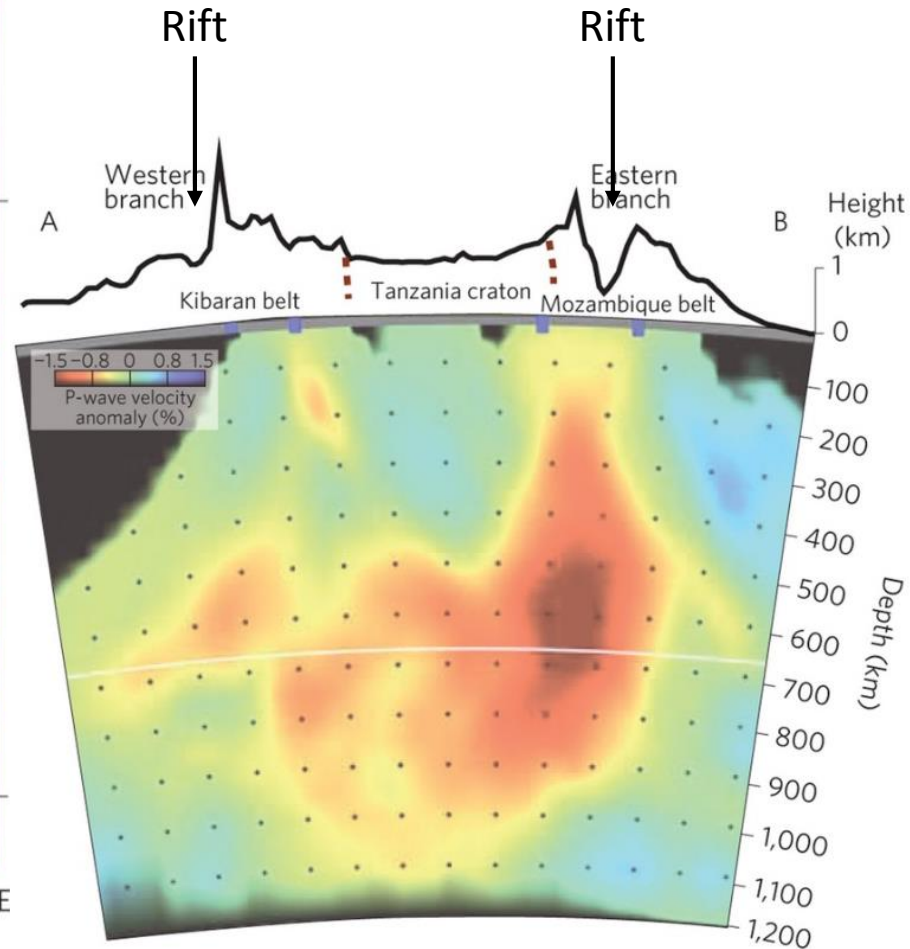


2. Rift étroit

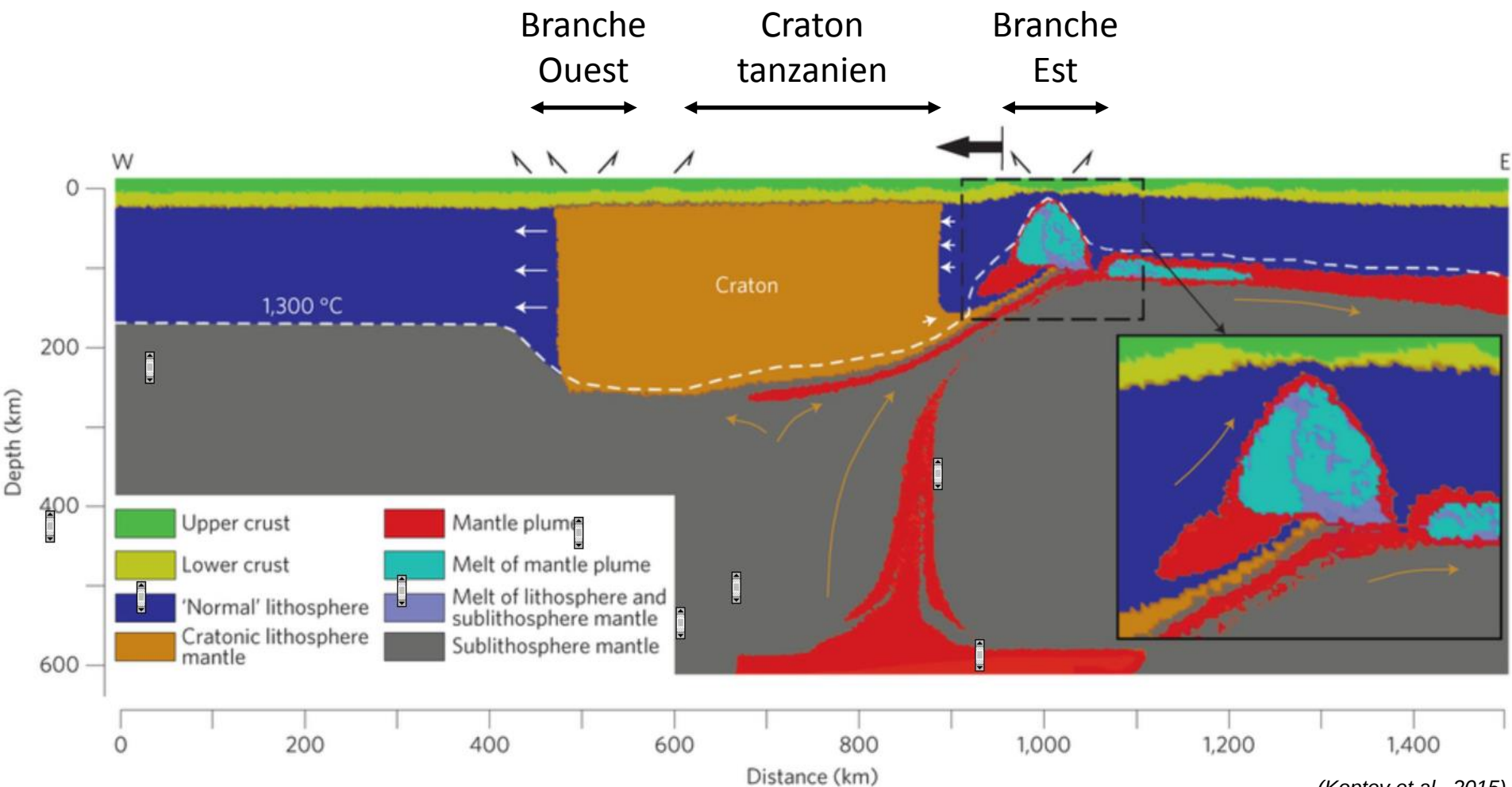
⇒ Modèle de formation du rift Est Africain grâce à la tomographie



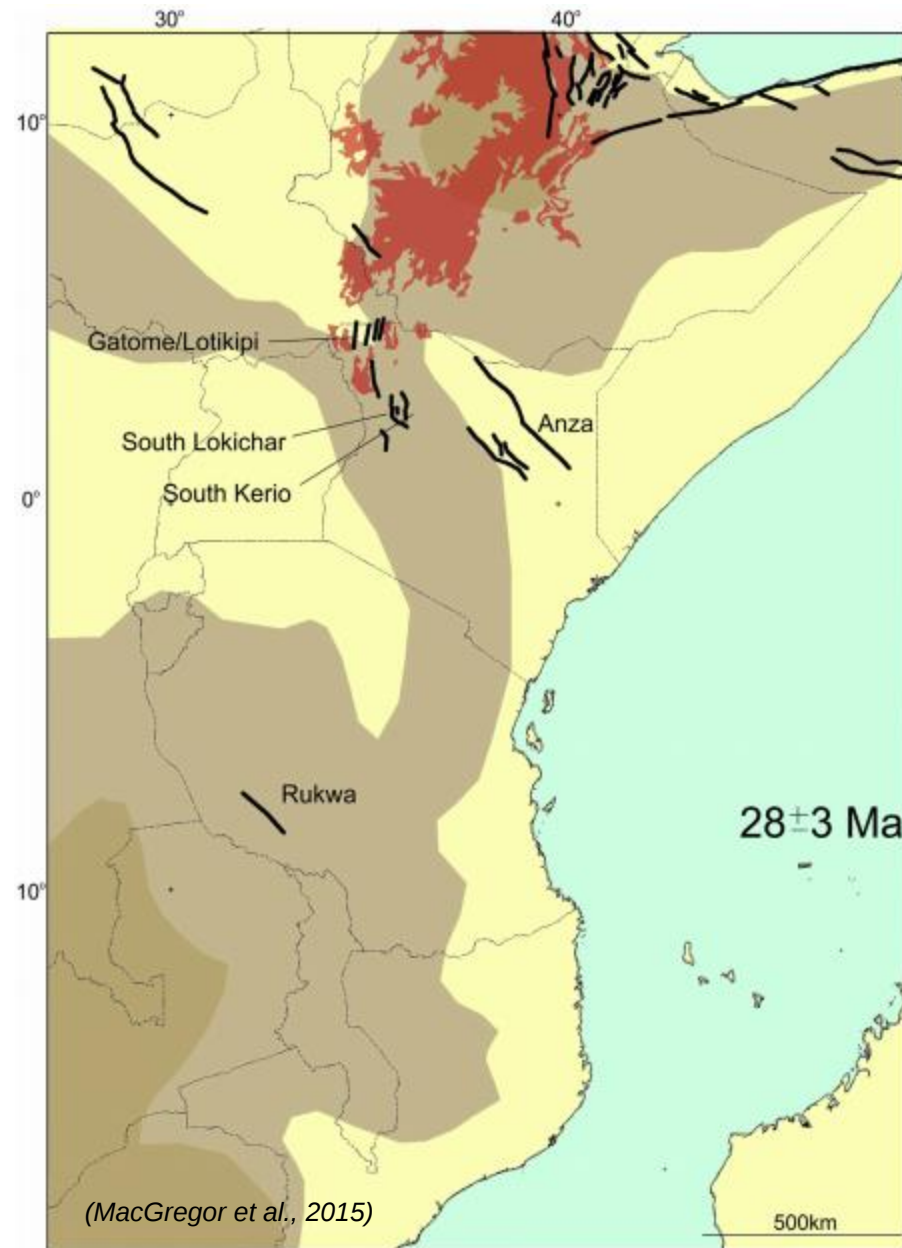
⇒ Coupe tomographique

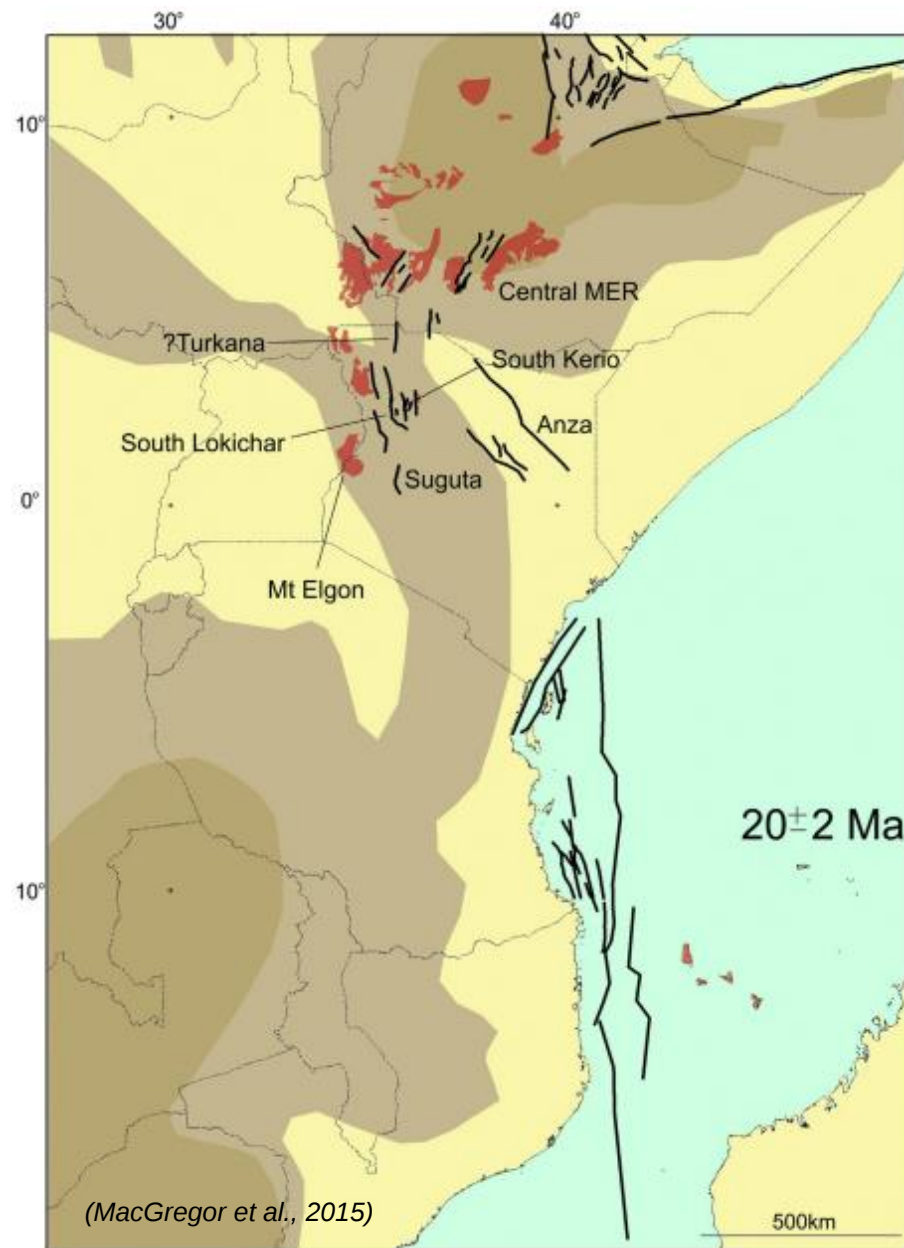


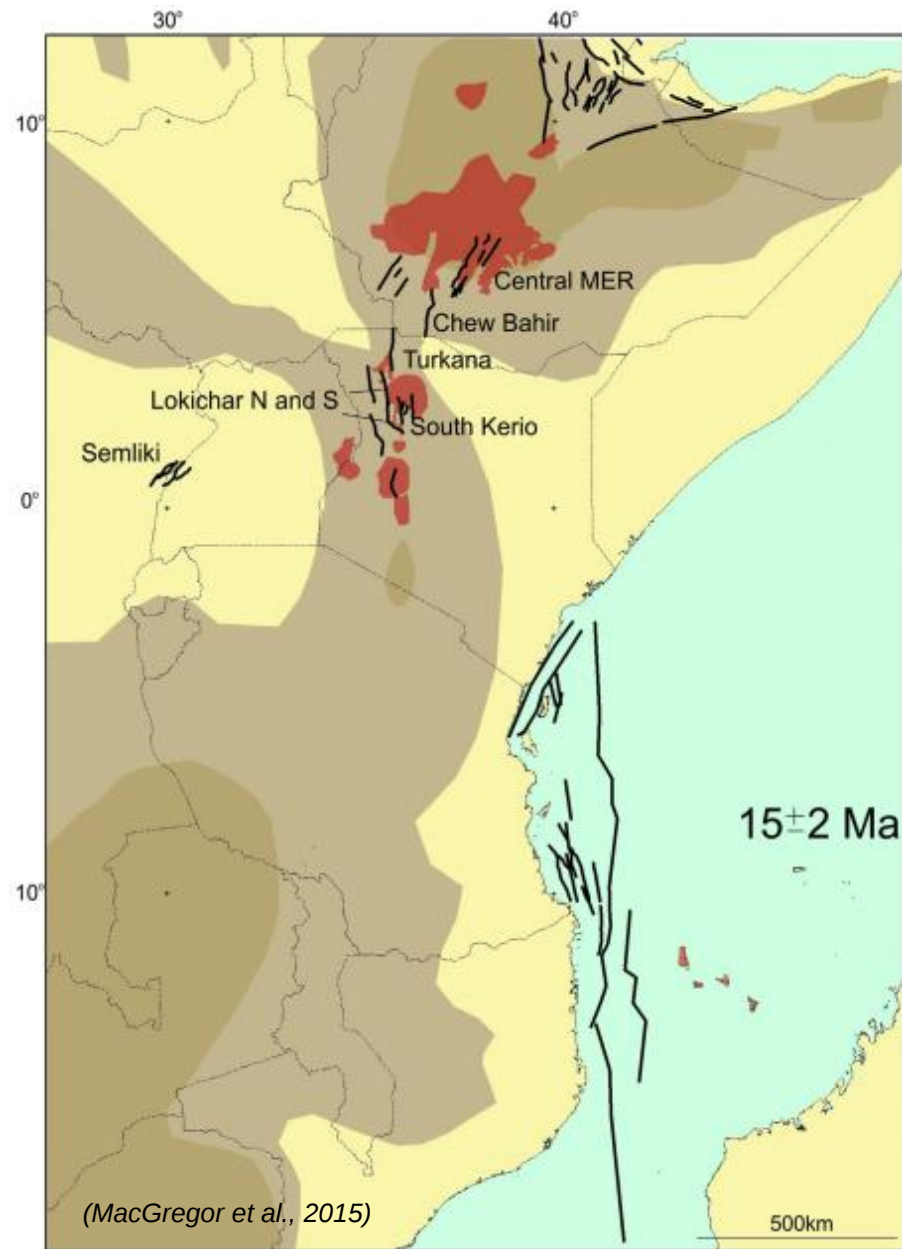
(Koptev et al., 2015)

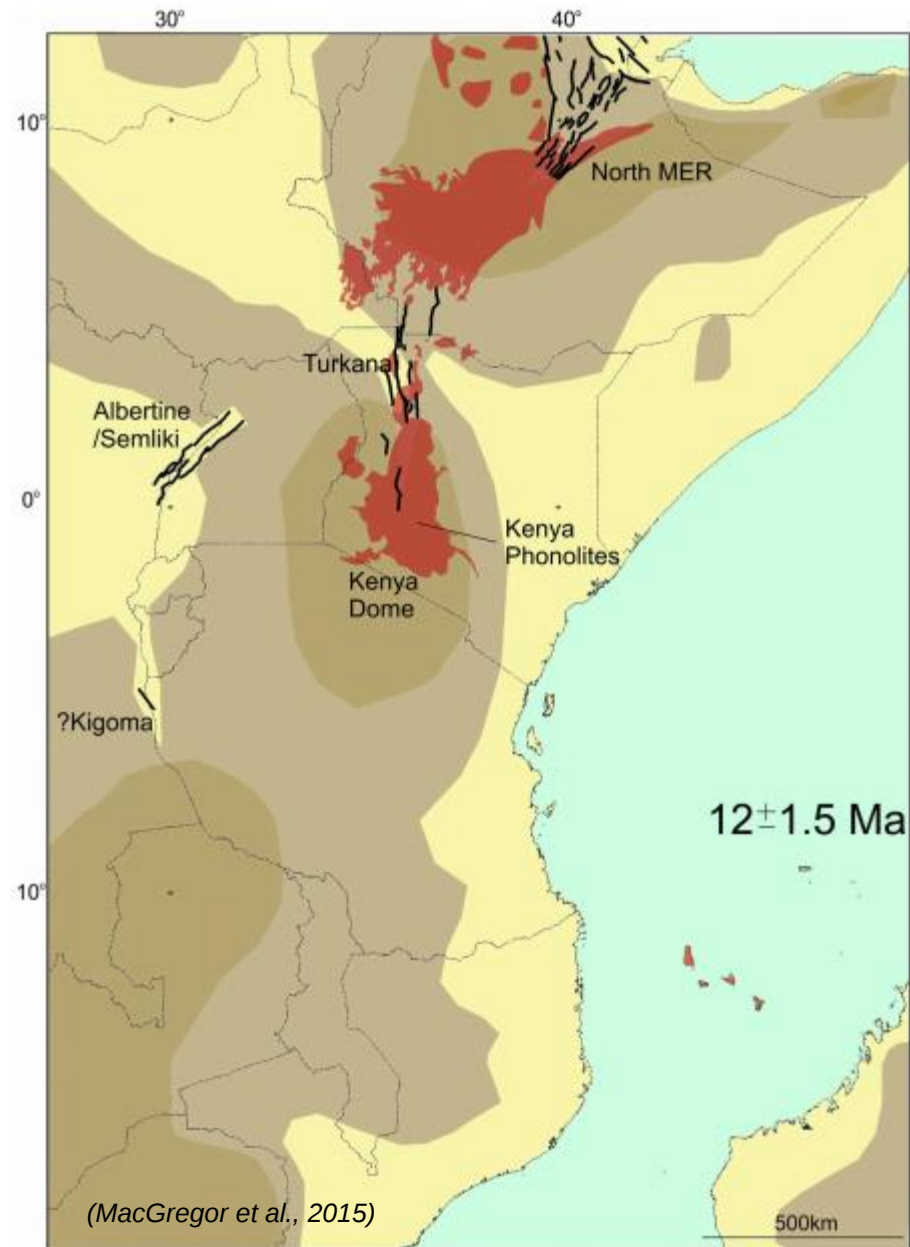


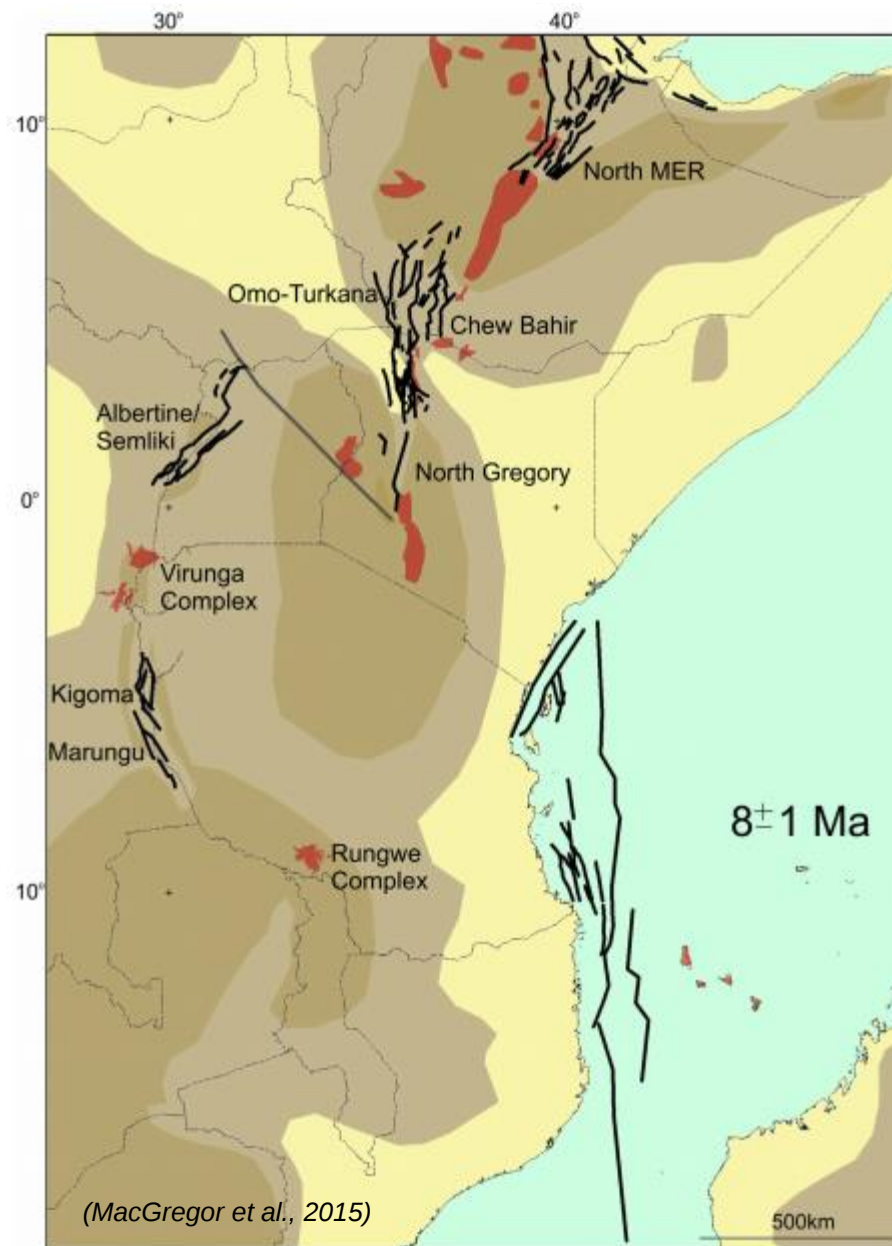
(Koptev et al., 2015)

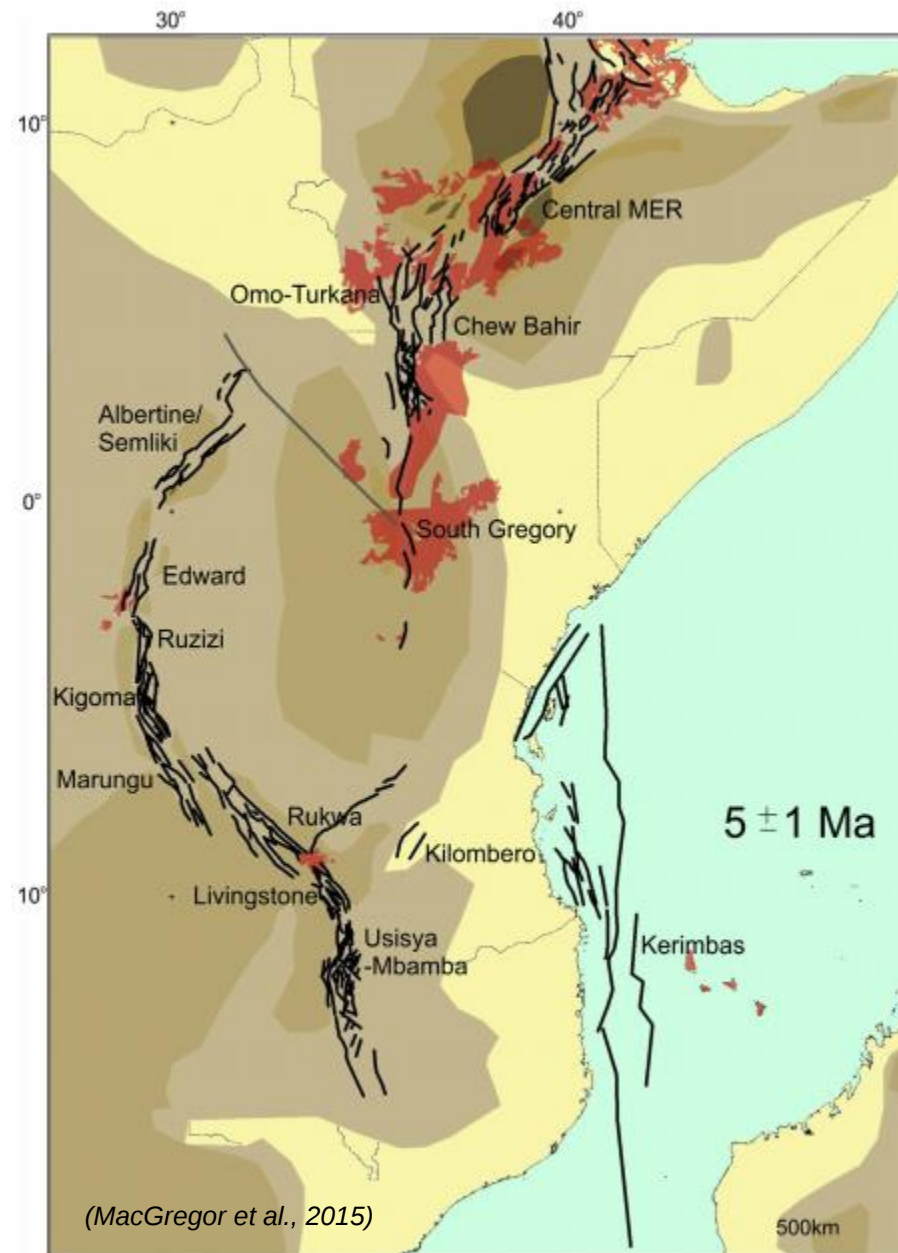


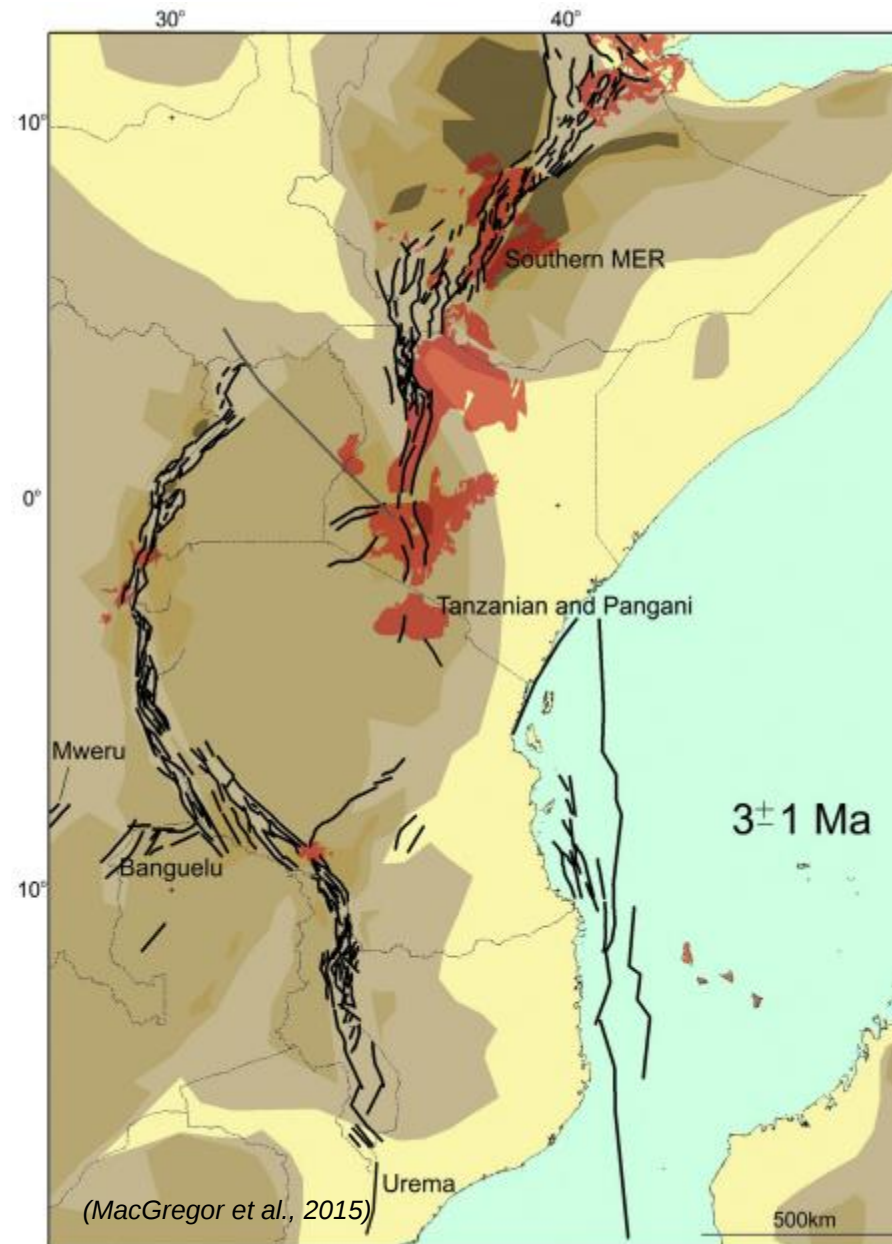


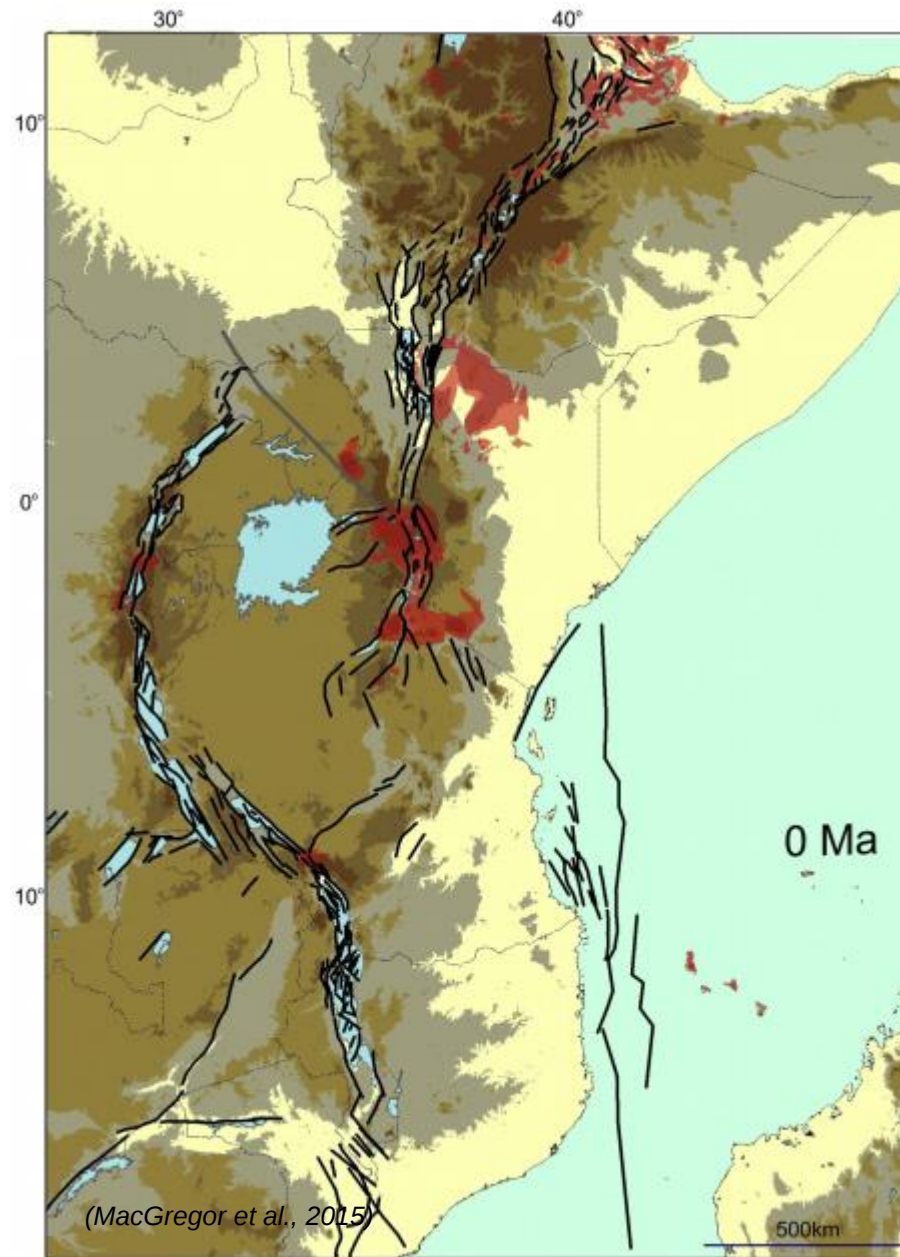


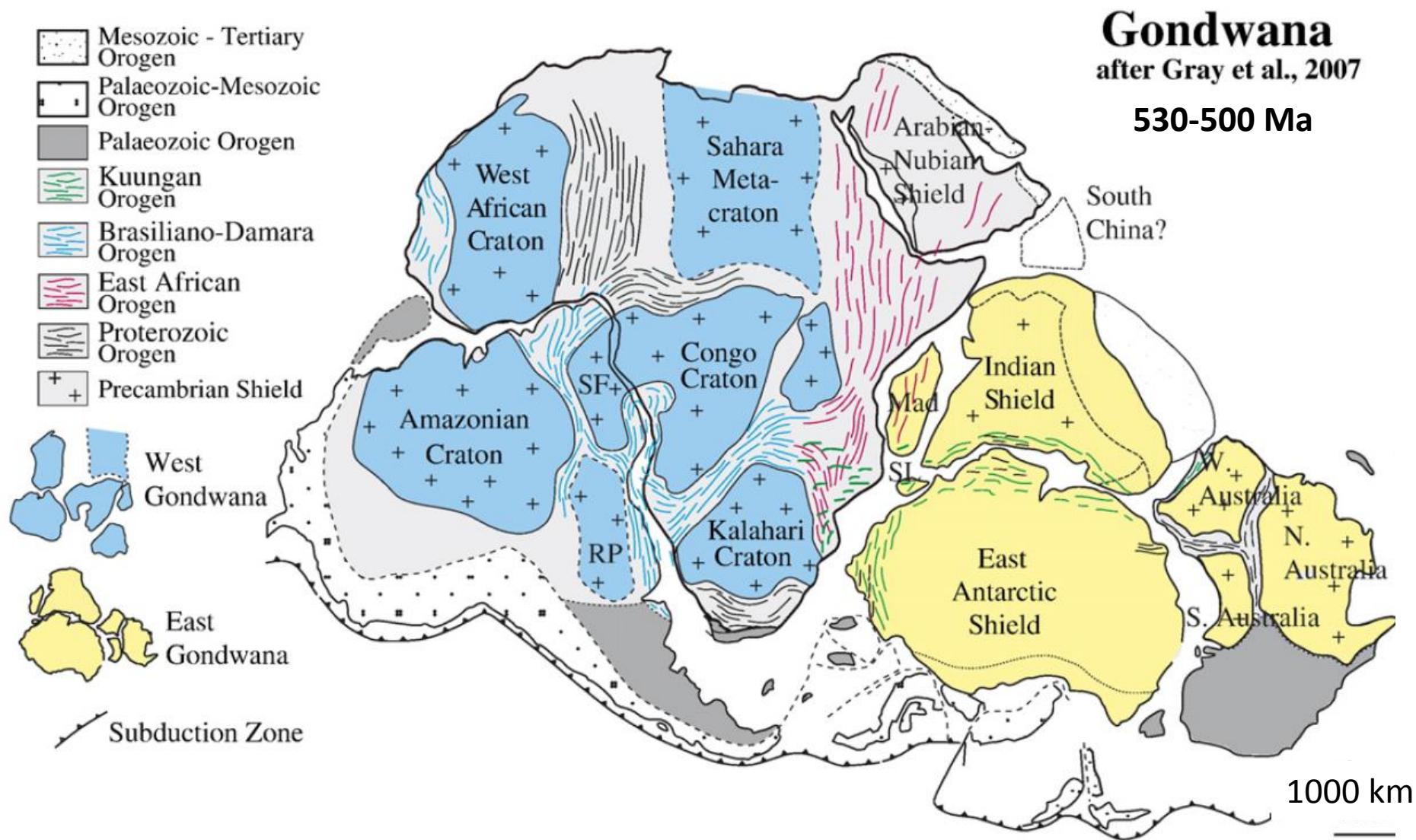






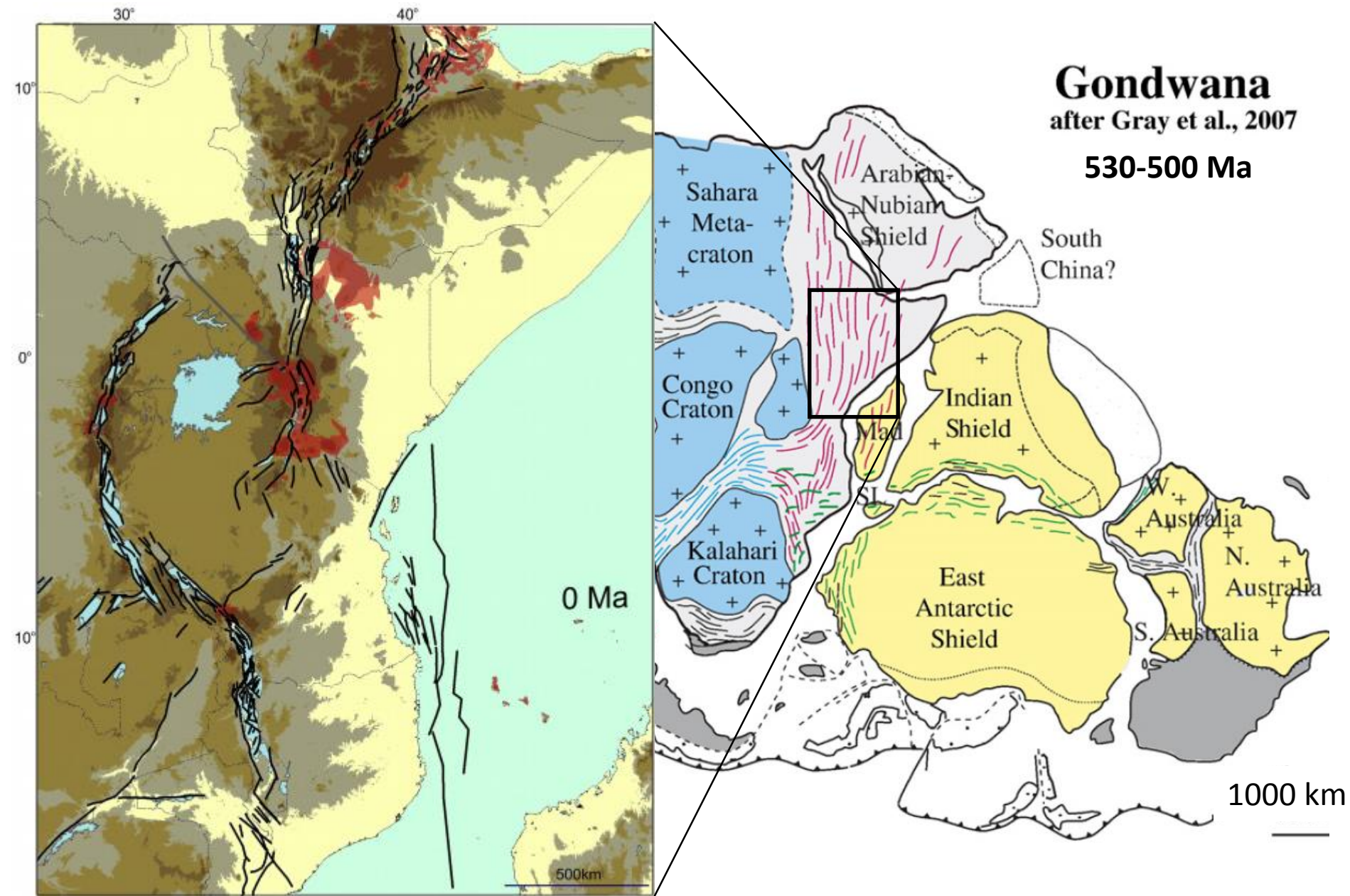






2. Rift étroit

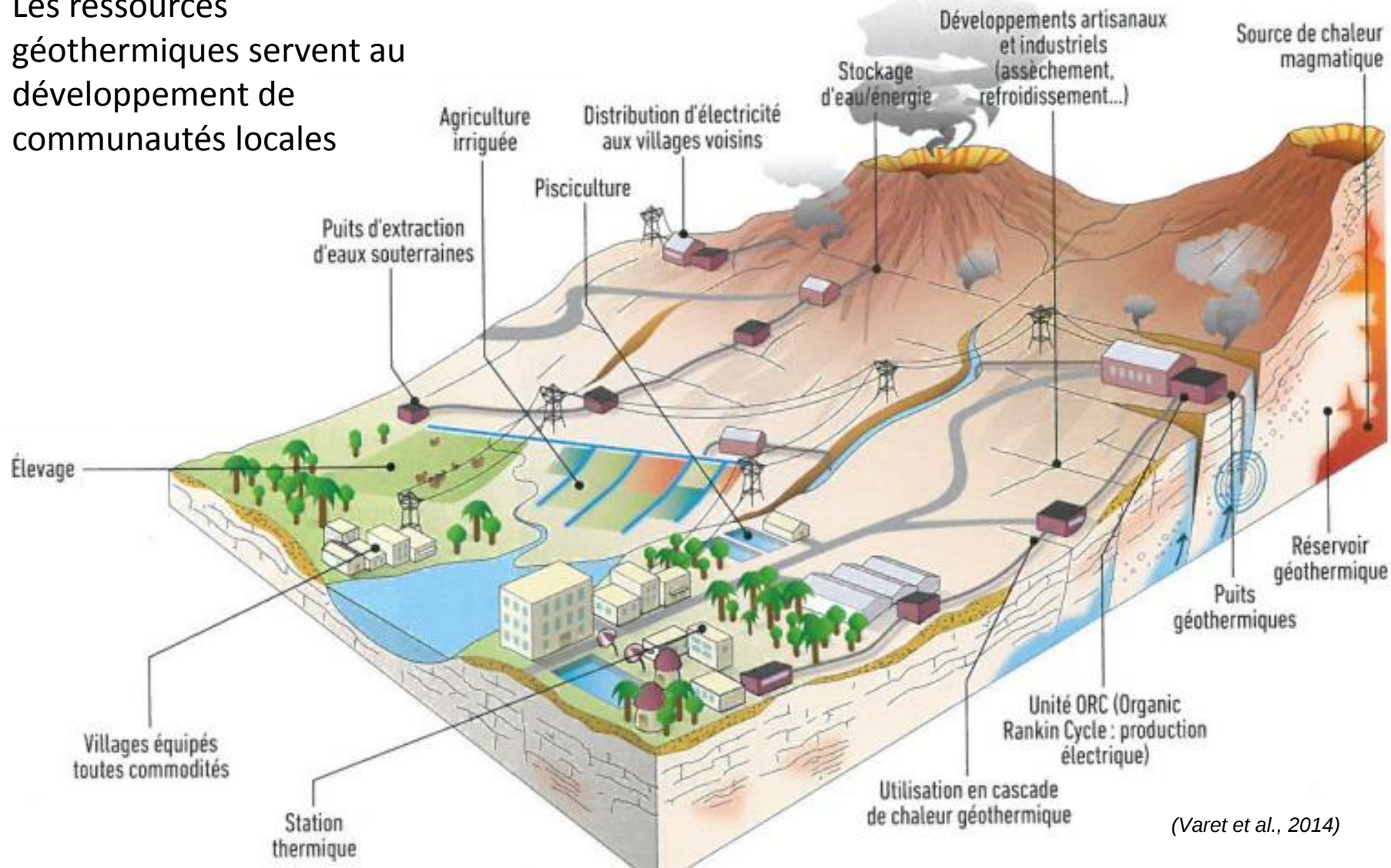
⇒ Evolution tectono-magmatique du rift Est Africain



Géodynamique: Tectonique des plaques et cycle orogénique

Schéma du concept du « village géothermique » :

Les ressources géothermiques servent au développement de communautés locales



(Varet et al., 2014)

Contexte **tectono-magmatique**:

- ✓ Les terres rares (plutons carbonatitiques et alcalins)
- ✓ L'or (épithermal)
- ✓ Les métaux de base (différentiation magmatique)

Contextes **évaporitiques marins/lacustres**:

- ✓ Potasse et sel gemme (« l'or blanc »)
- ✓ Gypse
- ✓ Diatomites et calcaire blanc
- ✓ Carbonate de soude
- ✓ Hydrocarbures (maturation des dépôts lacustres du au fort gradient géothermique)

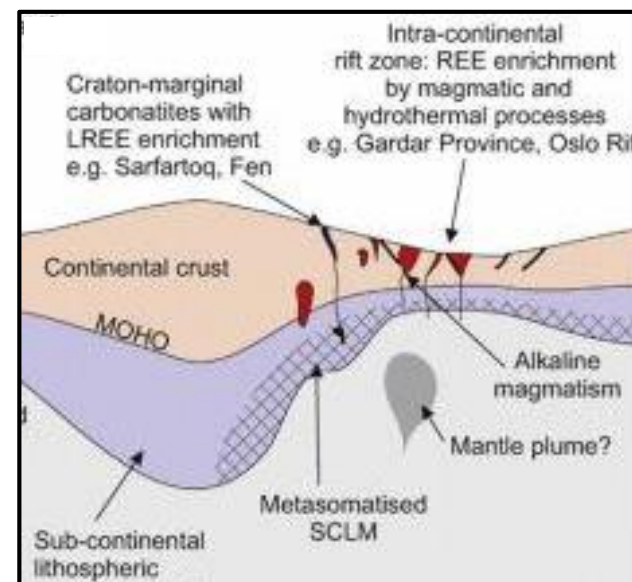
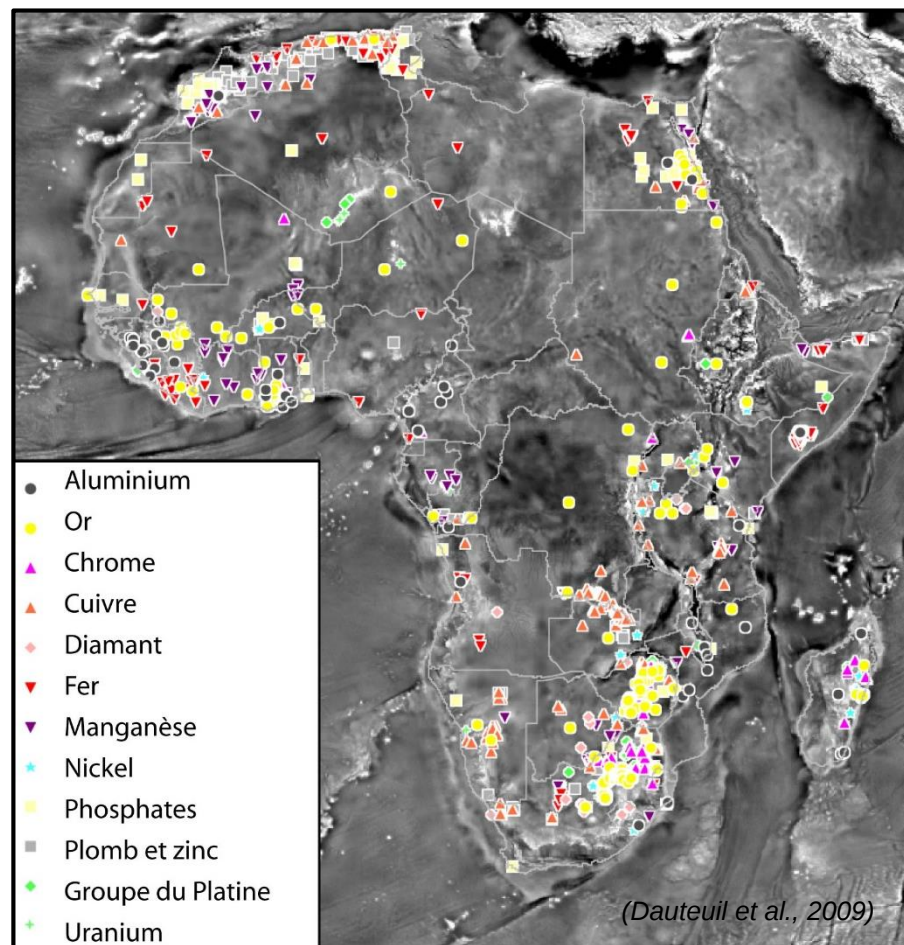
Contexte **hydrothermal syn-sédimentaire**:

- ✓ Manganèse et baryum (hydrothermalisme marin)
- ✓ Lithium (combinaison magmatisme, hydrothermalisme et évaporation)

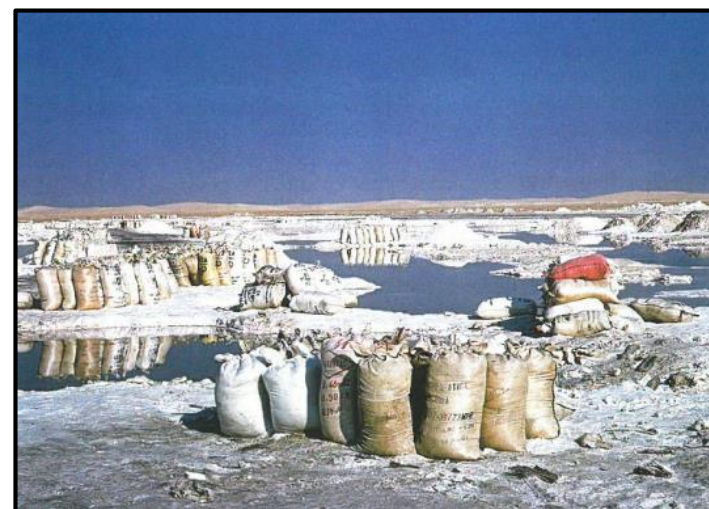
Contexte **volcanique**:

- ✓ Minéraux industriels
- ✓ Pierres de construction (ignimbrites)

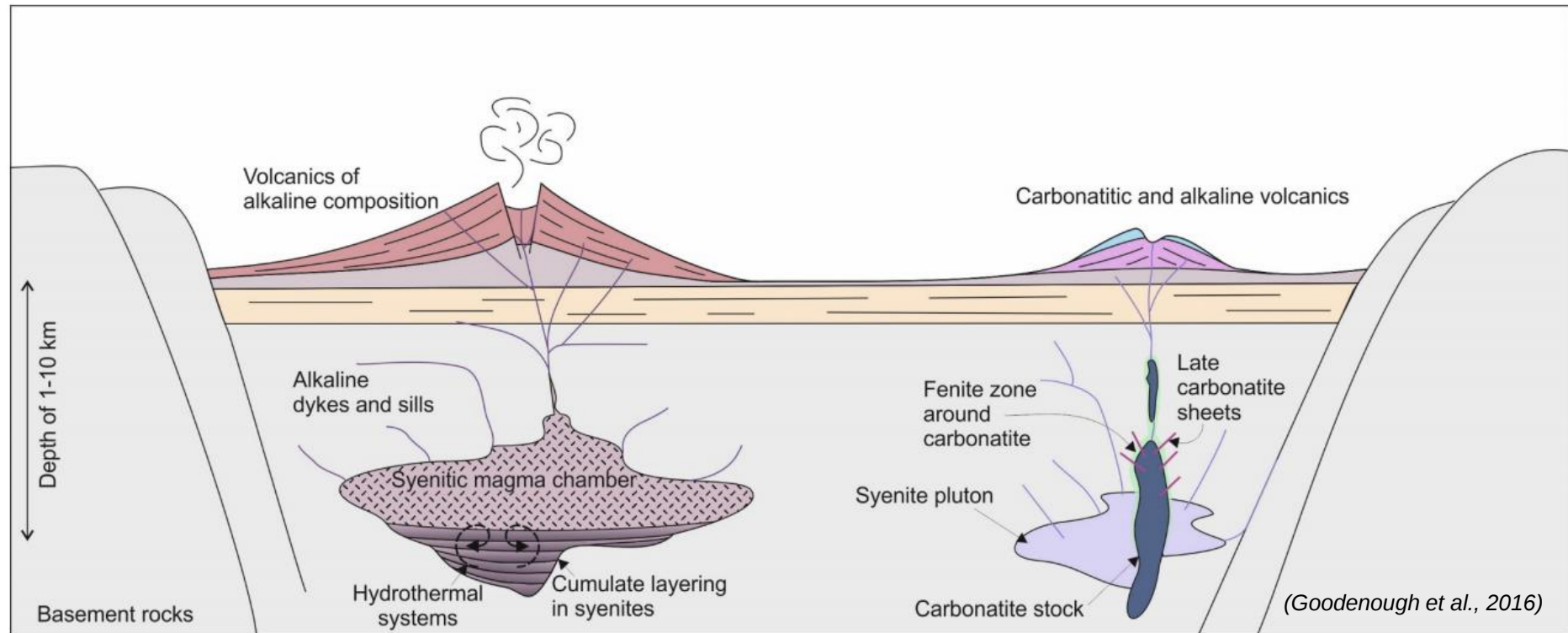
Carte de distribution des principales **ressources** métallogéniques sur un fond de champ gravitaire



Modèles de formation des **gisements** à TR



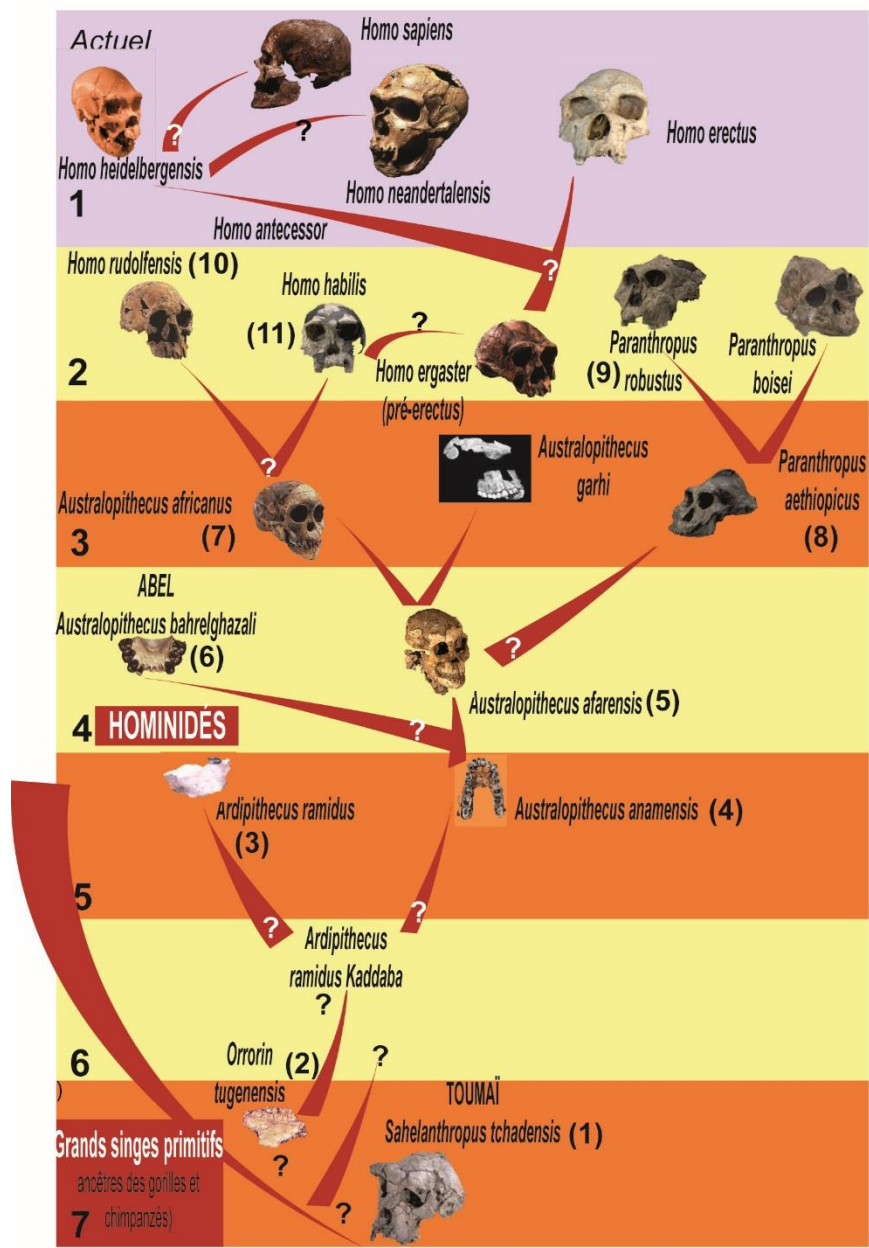
Exploitation **artisanale** de sel (lac Assal)



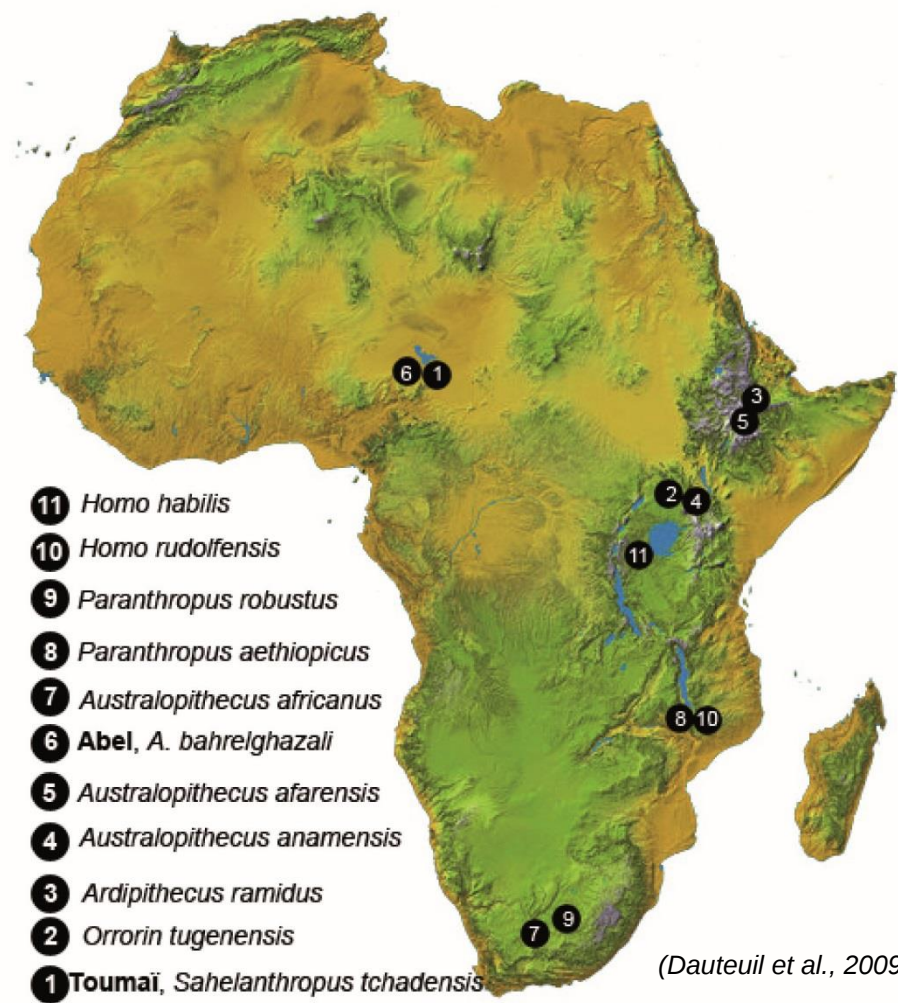
⇒ Modèles de formation des **gisements à TR en contexte de rifting continental: magmatisme alcalin ou carbonatitique**

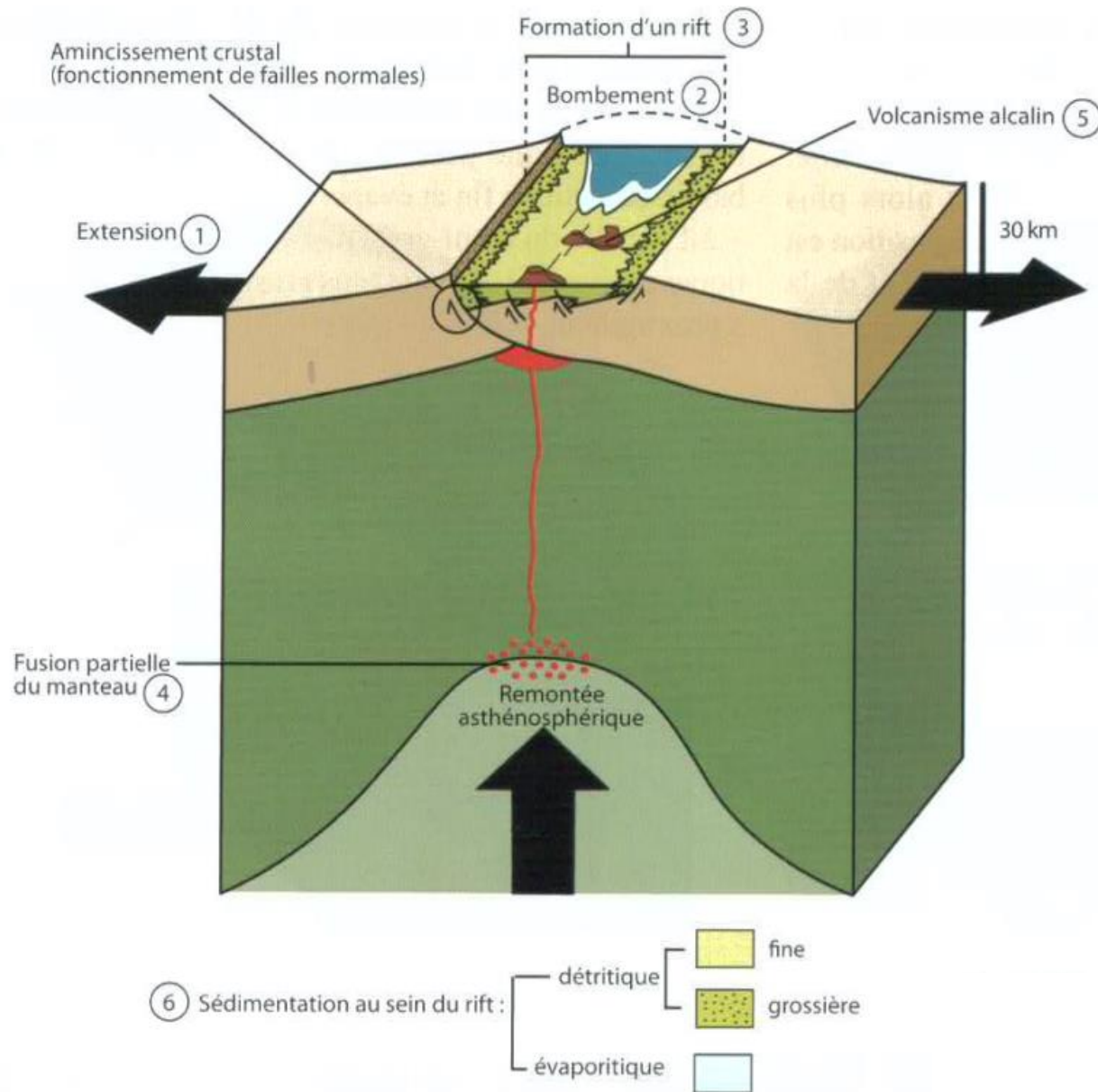
2. Rift étroit

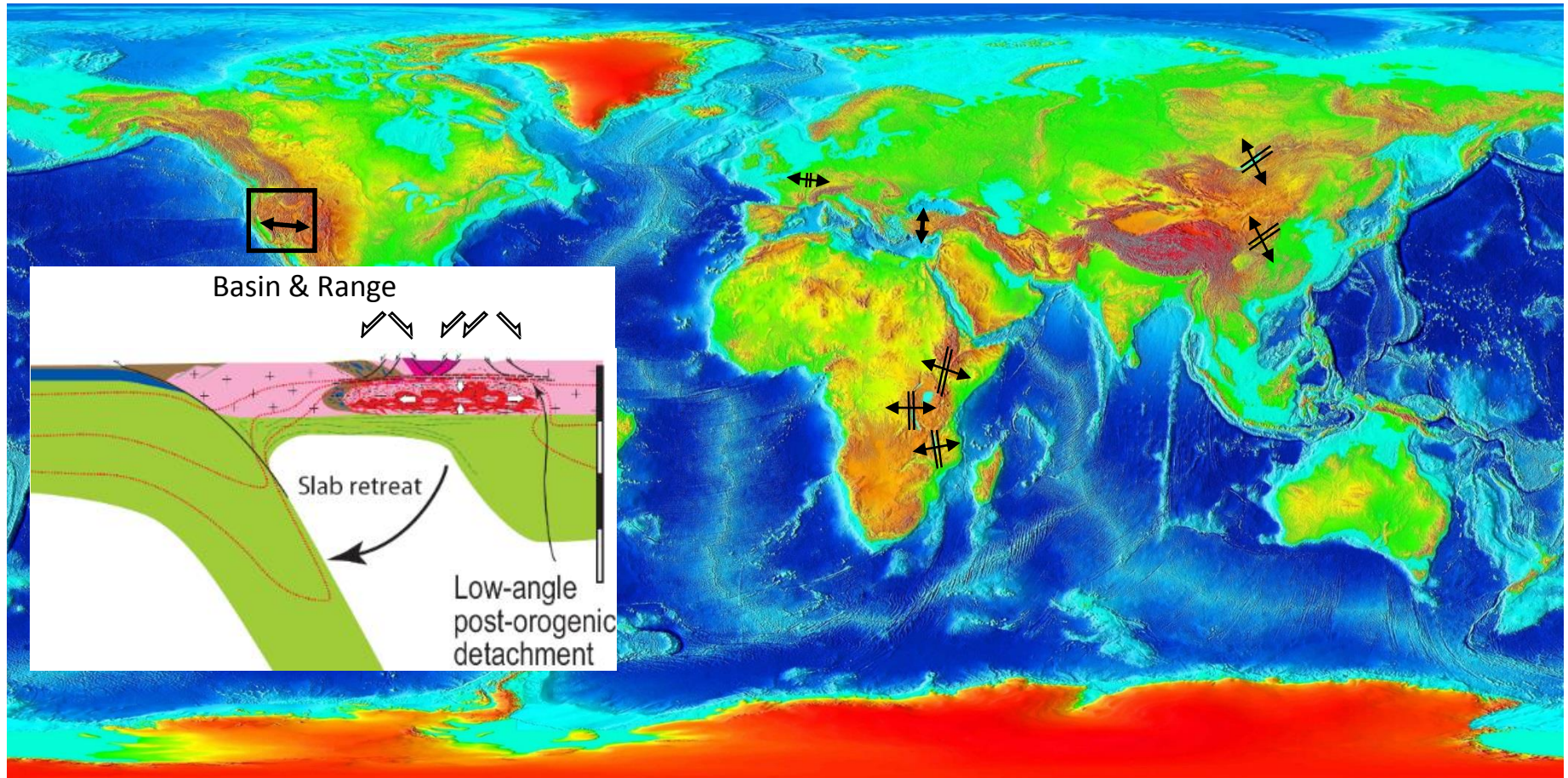
⇒ Le rift Est-Africain: **berceau de l'Humanité**



- Homo gagne les autres continents
- L'évolution humaine est **exclusivement africaine**



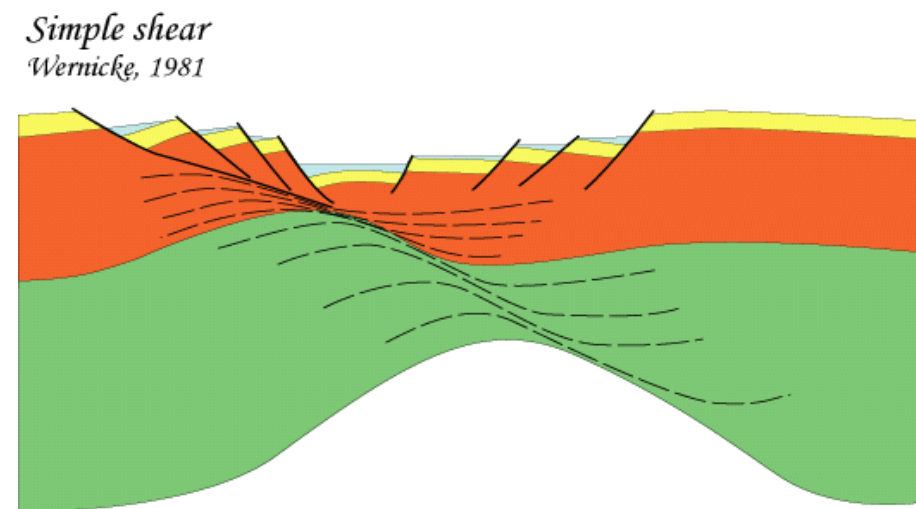




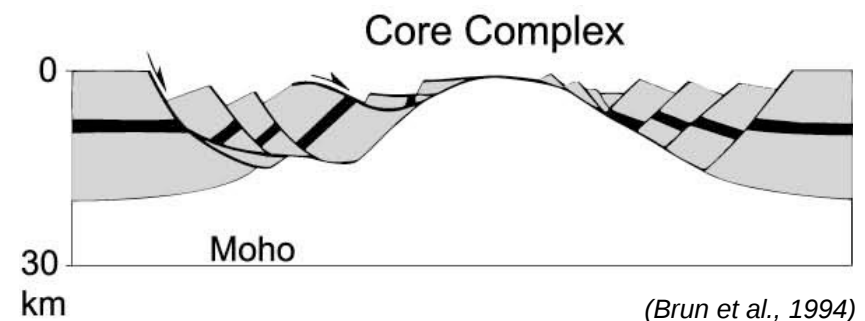
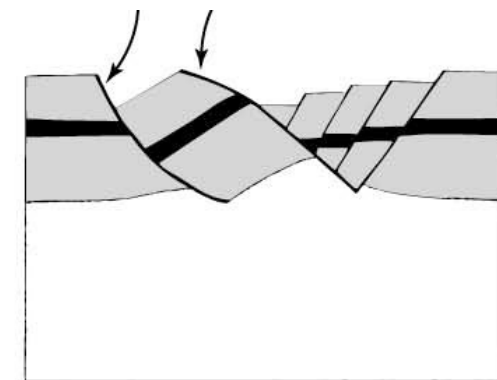
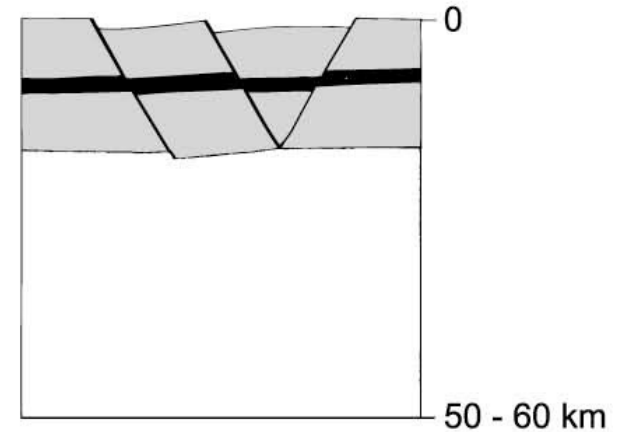
Exemple des Basin and Range: désépaississement de la lithosphère

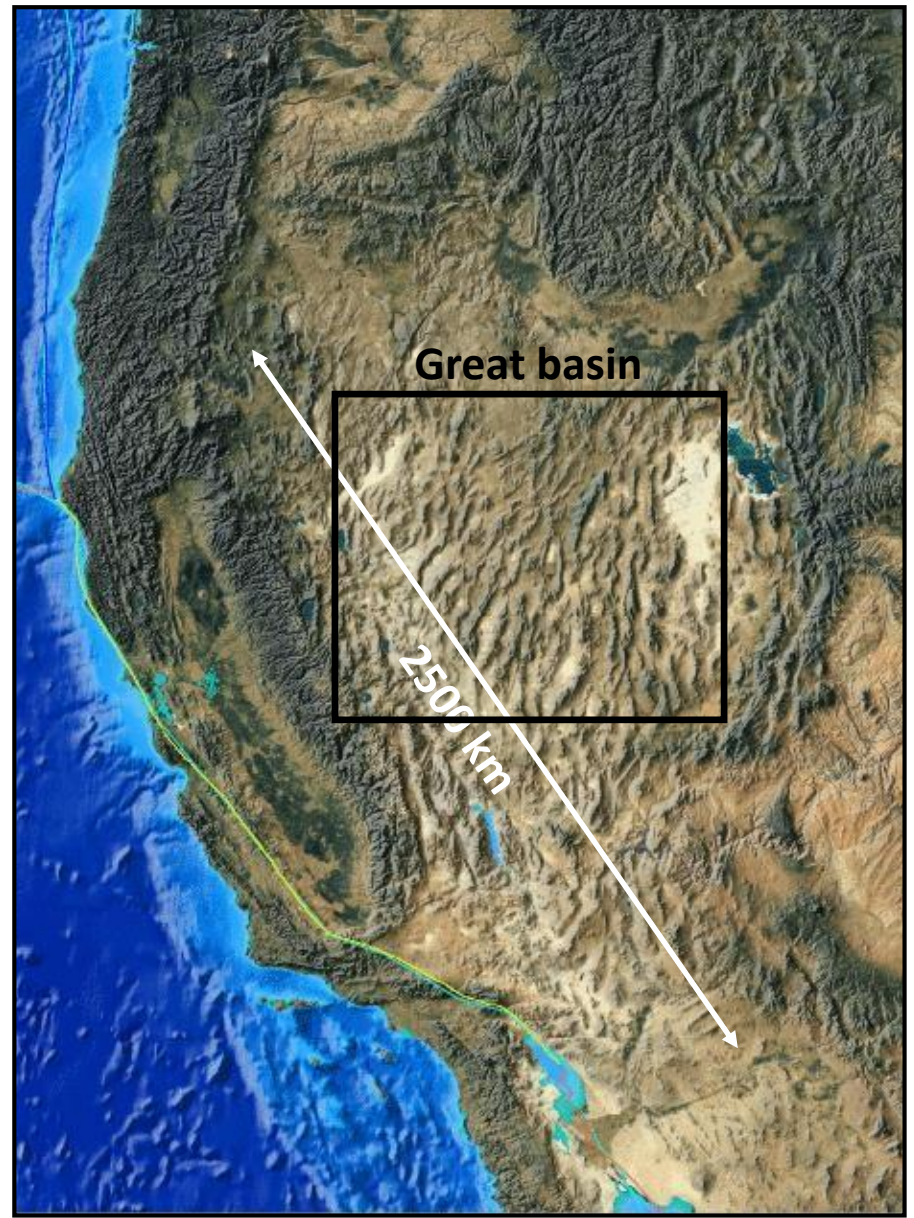
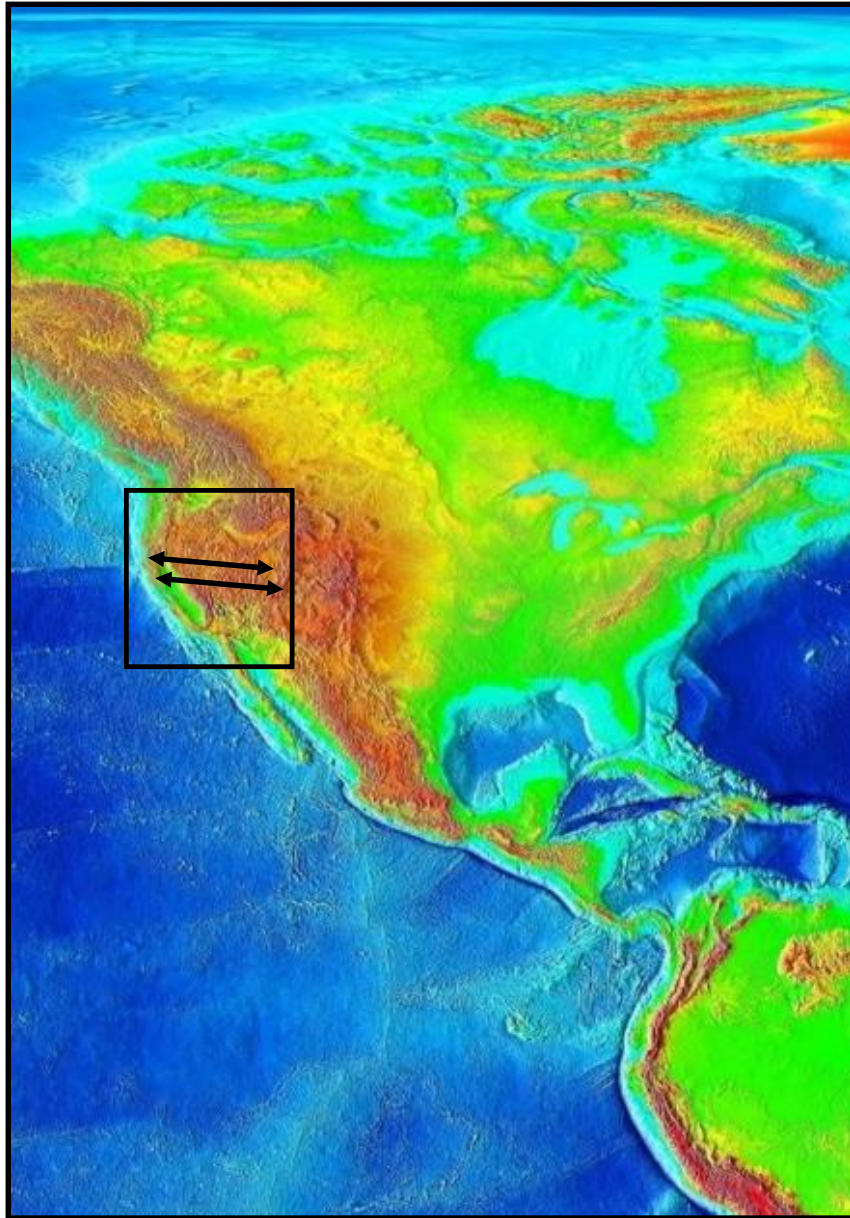
Rifting large
⇒ Cisaillement simple

Zone d'extension **large et diffuse**



⇒ Formation d'une structure **asymétrique**:
développement d'une faille intra-lithosphérique



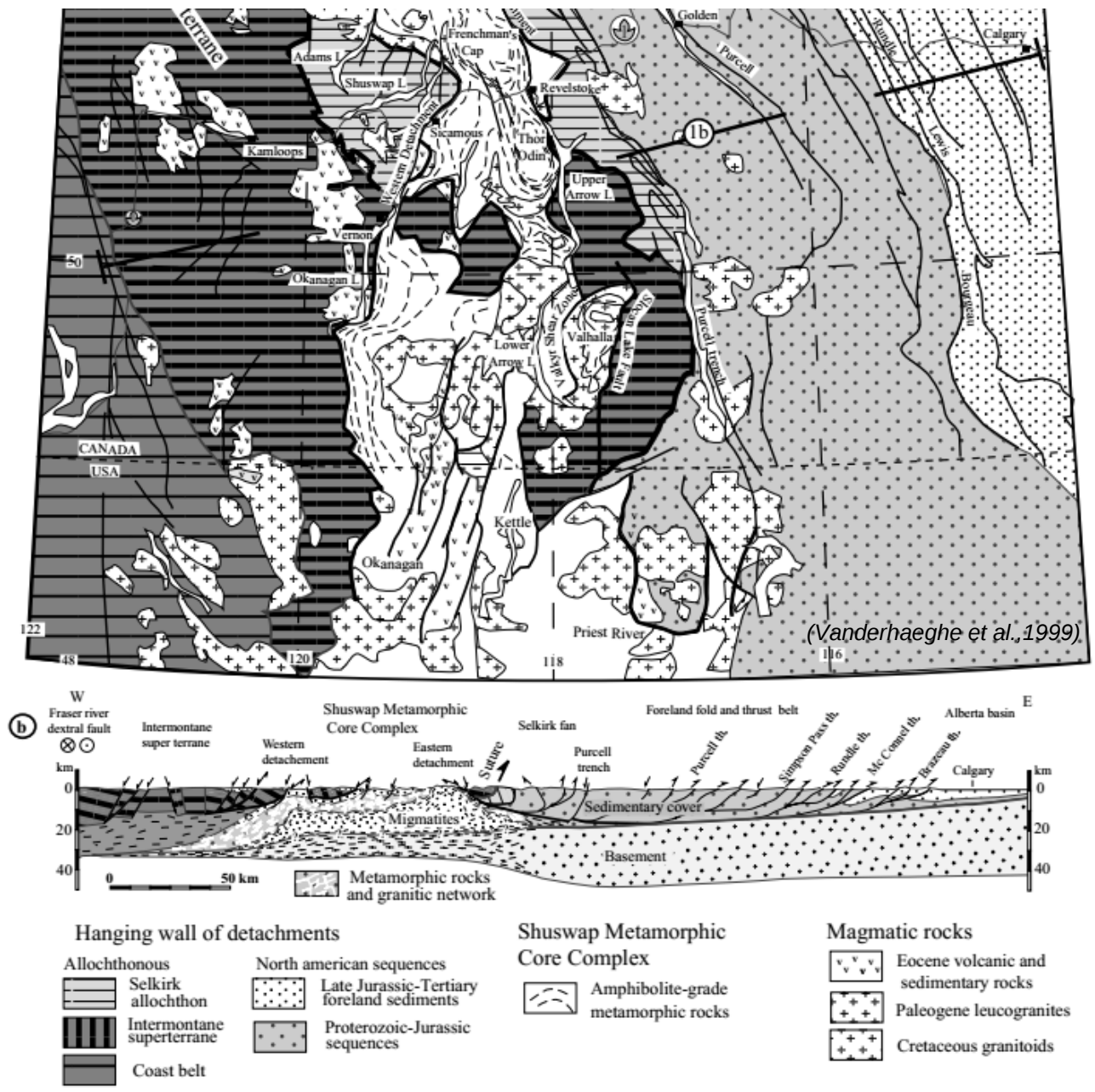


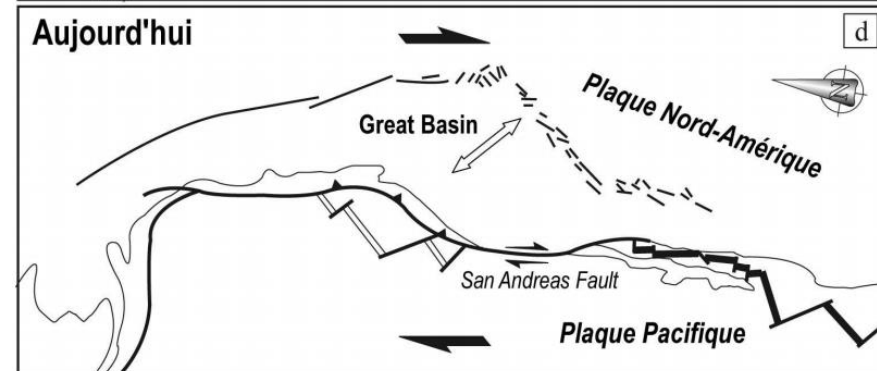
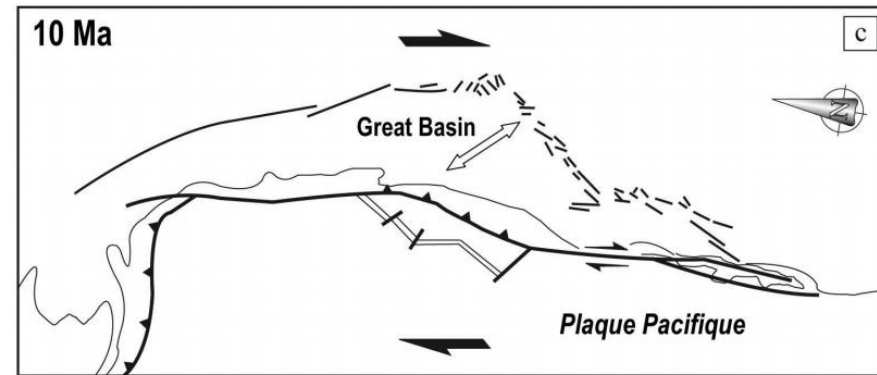
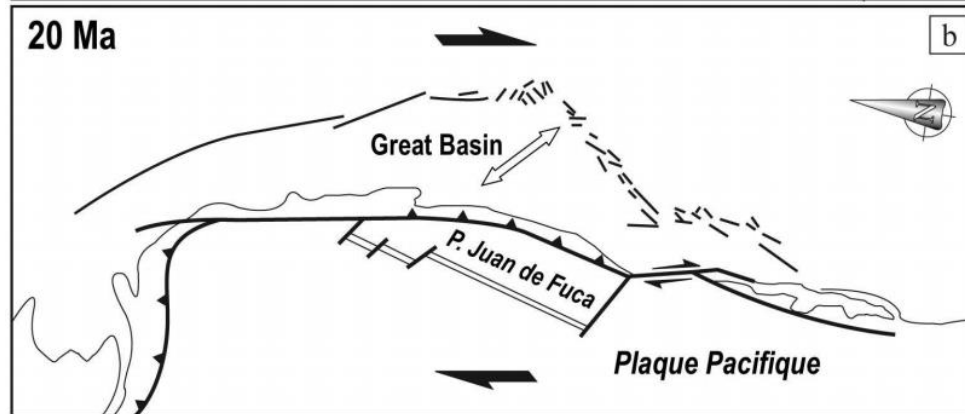
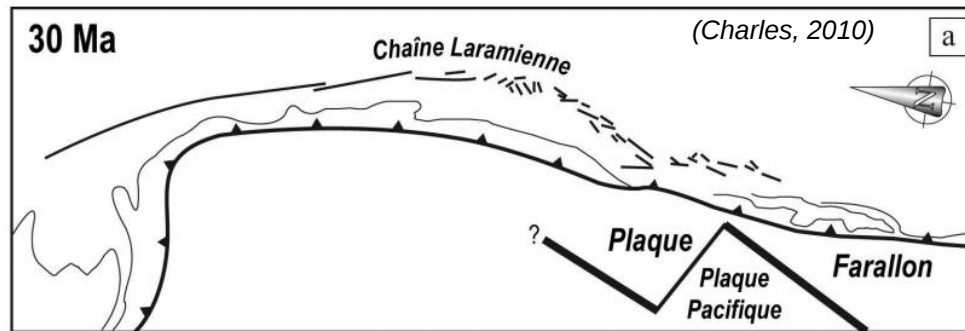


Great basin: succession de demi-graben (« basin ») et horsts (« range »): 2000-3000m) espacés tous les 50km

3. Rift large/MCC

⇒ Exemple des Basin and Range: amincissement de la lithosphère





Subduction de la plaque Farallon (aujourd'hui disparue) sous le continent nord-Américain => depuis le **Crétacé supérieur** (80-70 Ma) jusqu'à l'**Oligocène** (30 Ma): orogène Laramienne ou cordillère nord-américaine.

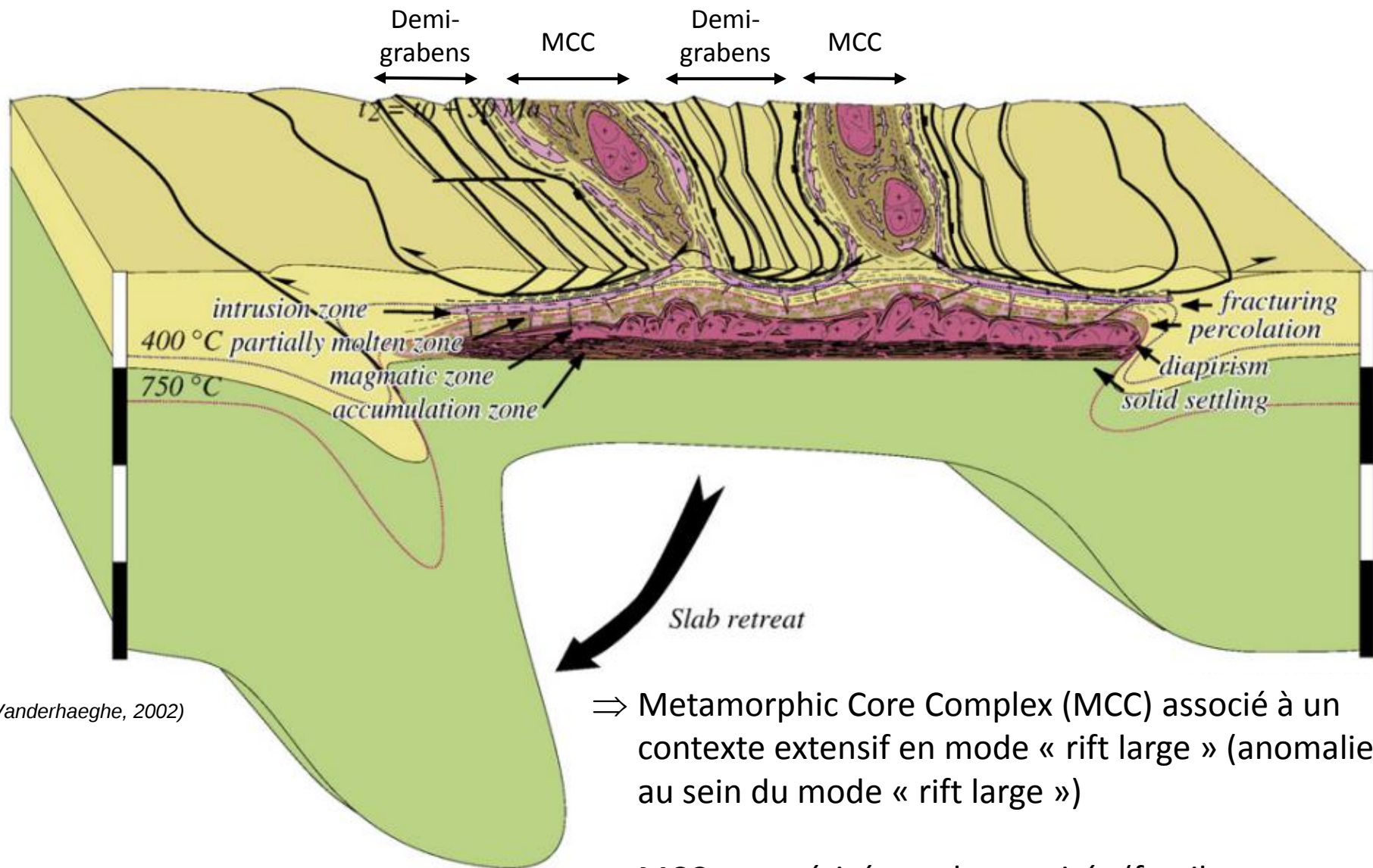
Initiation du **système de failles dextres** de San Andreas dès le **Miocène** (20 Ma).

Désépaississement post-orogénique de la chaîne Laramienne sous l'effet de la gravité => déformation extensive (bassins/horsts, Metamorphic Core Complex)

Géodynamique: Tectonique des plaques et cycle orogénique

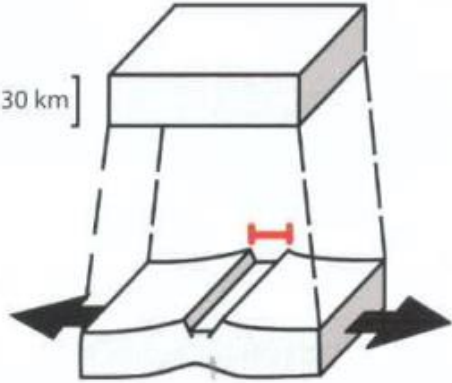
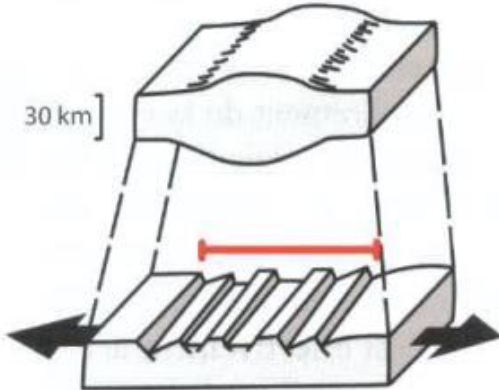
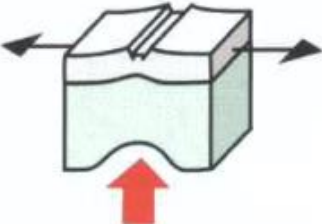
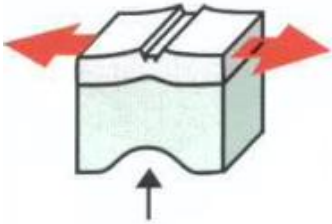
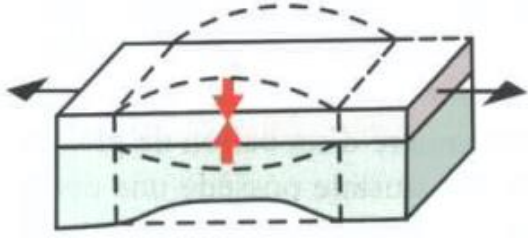
3. Rift large/MCC

⇒ Coupe géologique à l'échelle lithosphérique

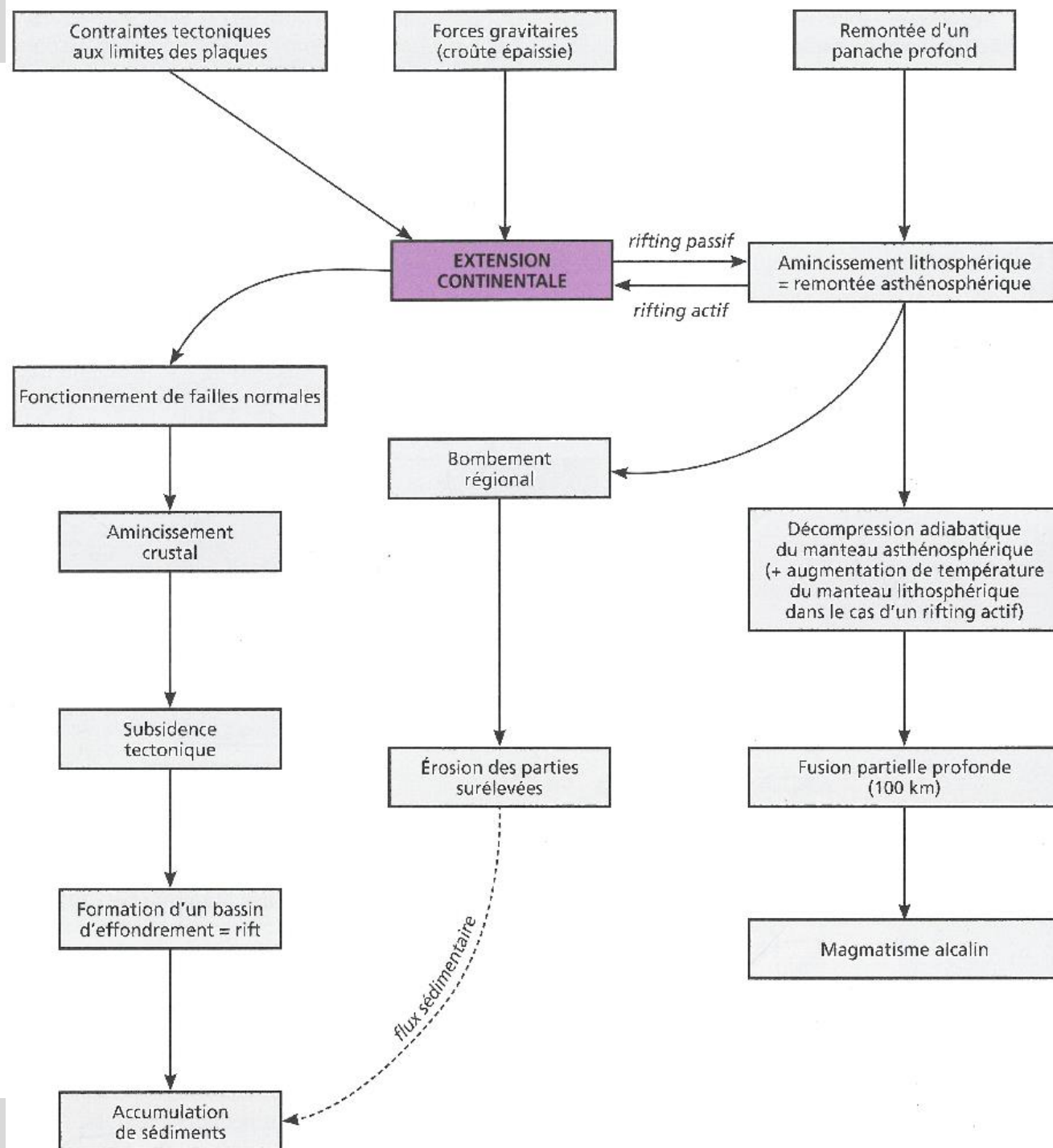


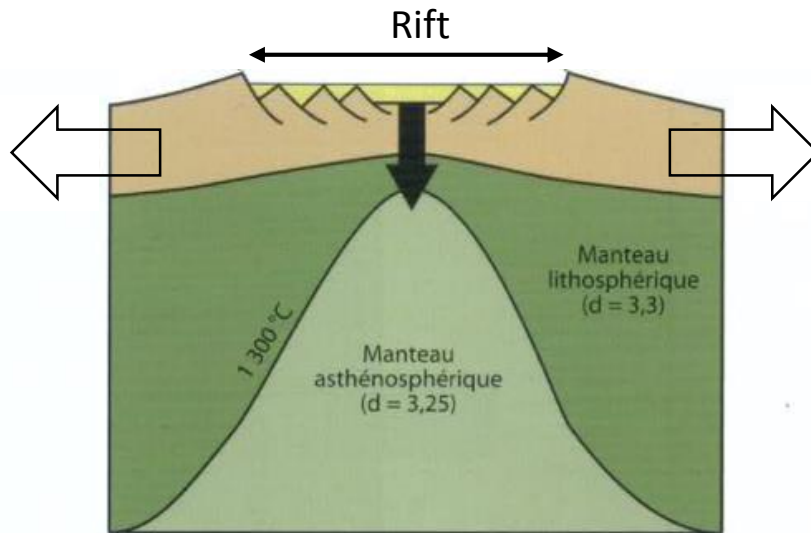
⇒ Metamorphic Core Complex (MCC) associé à un contexte extensif en mode « rift large » (anomalie au sein du mode « rift large »)

⇒ MCC caractérisé par deux unités (fragiles et ductiles) séparées par une zone de détachement)

Rifting étroit ⇒ Cisaillement pur		Rifting large ⇒ Cisaillement simple	(Jaujard, 2015)
 Extension d'une croûte d'épaisseur standard (amincissement)		 Extension d'une croûte épaissie (désépaississement)	Modalités
 Remontée d'un panache (rift actif)	 Contraintes aux limites (rift passif)	 Forces gravitaires (effondrement gravitaire)	Mécanismes
- Rift Est-Africain	- Rift du Baïkal - Graben du Rhin - Rifts chinois	- Basin and Range (USA) - Mer Egée	Exemples

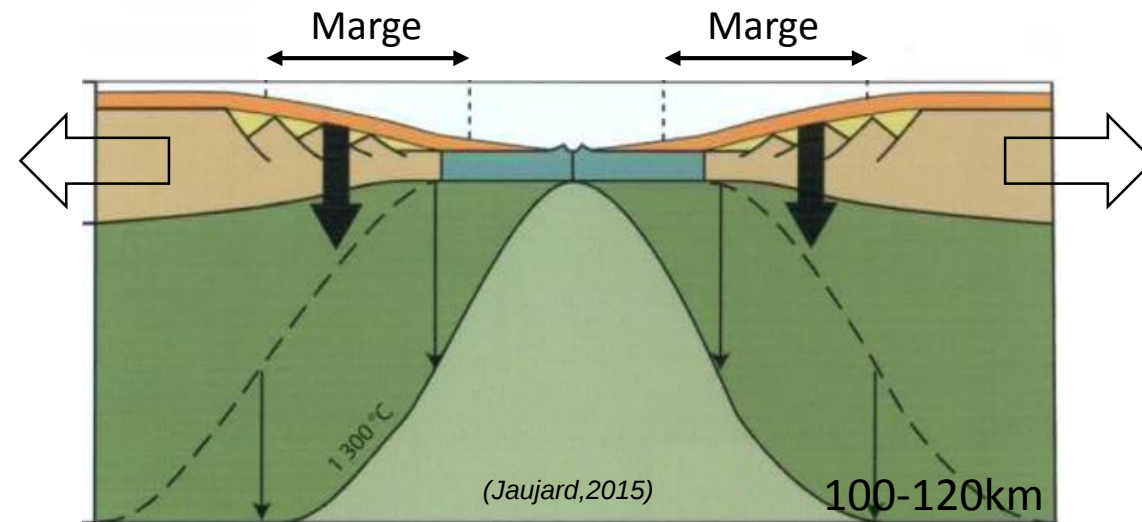
4. Synthèse





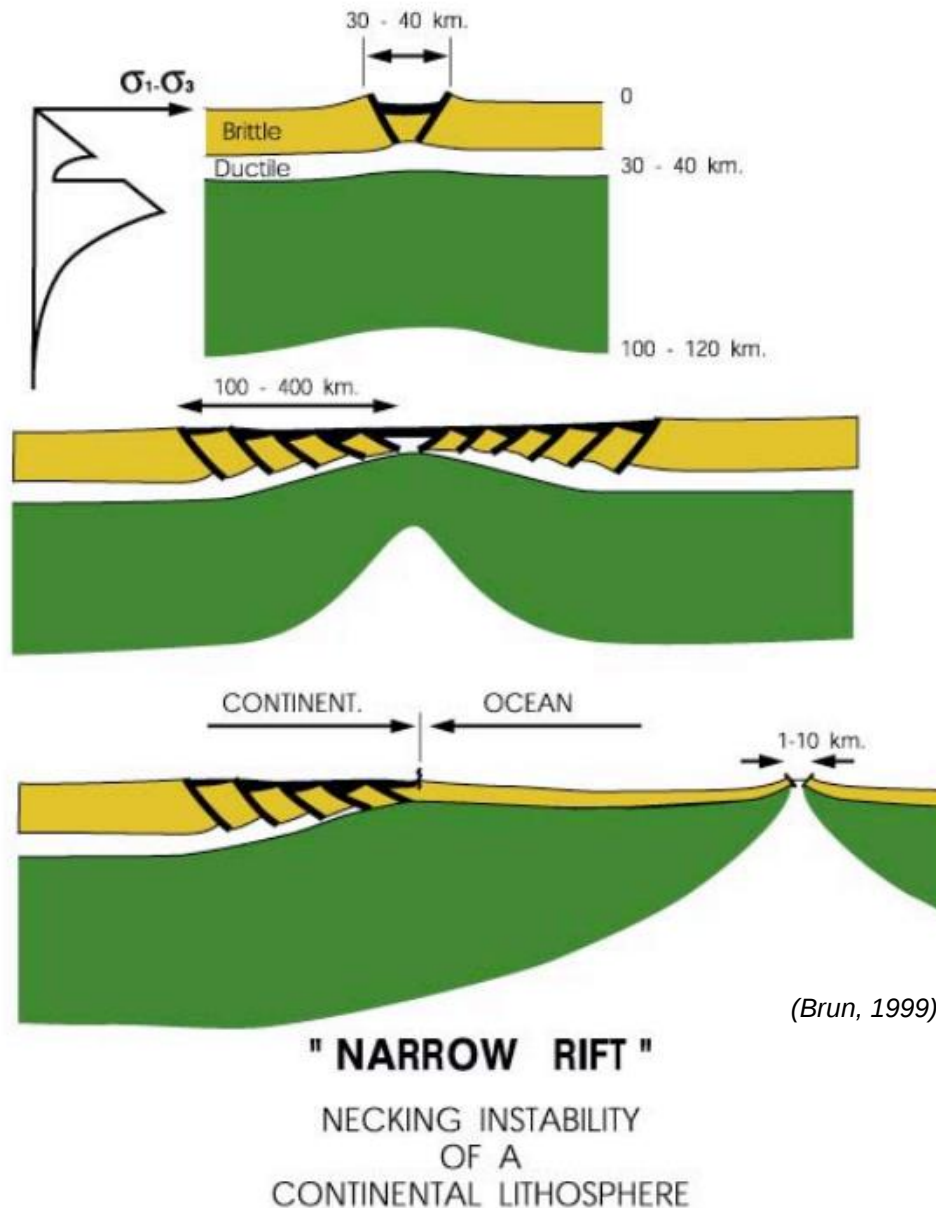
⇒ Ces **deux premières étapes** du cycle de **Wilson** se traduisent par un **amincissement** de la lithosphère continentale (extension)

Rifting: subsidence tectonique



⇒ **Densification** des marges car le manteau **asthénosphérique** peu dense ($d=3.25$) est remplacé par du manteau **lithosphérique** ($d=3.3$)

Océanisation: subsidence thermique



1. Rifting continental

- ✓ Magmatisme alcalin: fusion partielle du manteau à grande profondeur (100km) => taux de **fusion faible**

2. Marge passive

- ✓ Zone de transition entre CC (faible sismicité) et CO (forte sismicité)
- ✓ Blocs basculés recouverts de sédiments « post-rift »

3. Océanisation

- ✓ Magmatisme tholéiitique (fusion partielle du manteau à faible profondeur => taux de **fusion élevé**)