



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Τεκτονική Γεωλογία

Ενότητα 2: Οριζόντια Ολίσθηση - Διασυμπίεση
και Διεφελκυσμός

Στυλιανός Λόζιος

Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος

ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗ – ΔΙΑΣΥΜΠΙΕΣΗ & ΔΙΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ

Τα ρήγματα **οριζόντιας ολίσθησης (strike-slip faults)** αποτελούν μια πολύ σημαντική κατηγορία ρηγμάτων, τα οποία μελετώνται συστηματικά για περισσότερο από **100 χρόνια**. Απαντώνται σε πολλές περιοχές του πλανήτη, από τις **μεσο-ωκεάνιες ράχες (mid-ocean ridges)** μέχρι τις **οροσειρές (mountain ranges)**. Οι δομές αυτές κίνησαν την προσοχή των γεωλόγων αρχικά σε περιοχές όπως η **Καλιφόρνια**, η **Ιαπωνία** και η **Νέα Ζηλανδία**, όπου πολύ μεγάλου μήκους ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης, που χαρακτηρίζονται από πολύ μεγάλης κλίμακας μετακινήσεις, κόβουν την επιφάνεια της Γης. Είναι γνωστά για την πολύ στενή σχέση τους με πολύ **καταστροφικούς σεισμούς**, ιδιαίτερα σε περιοχές όπως η Καλιφόρνια, η Τουρκία και η Αϊτή.

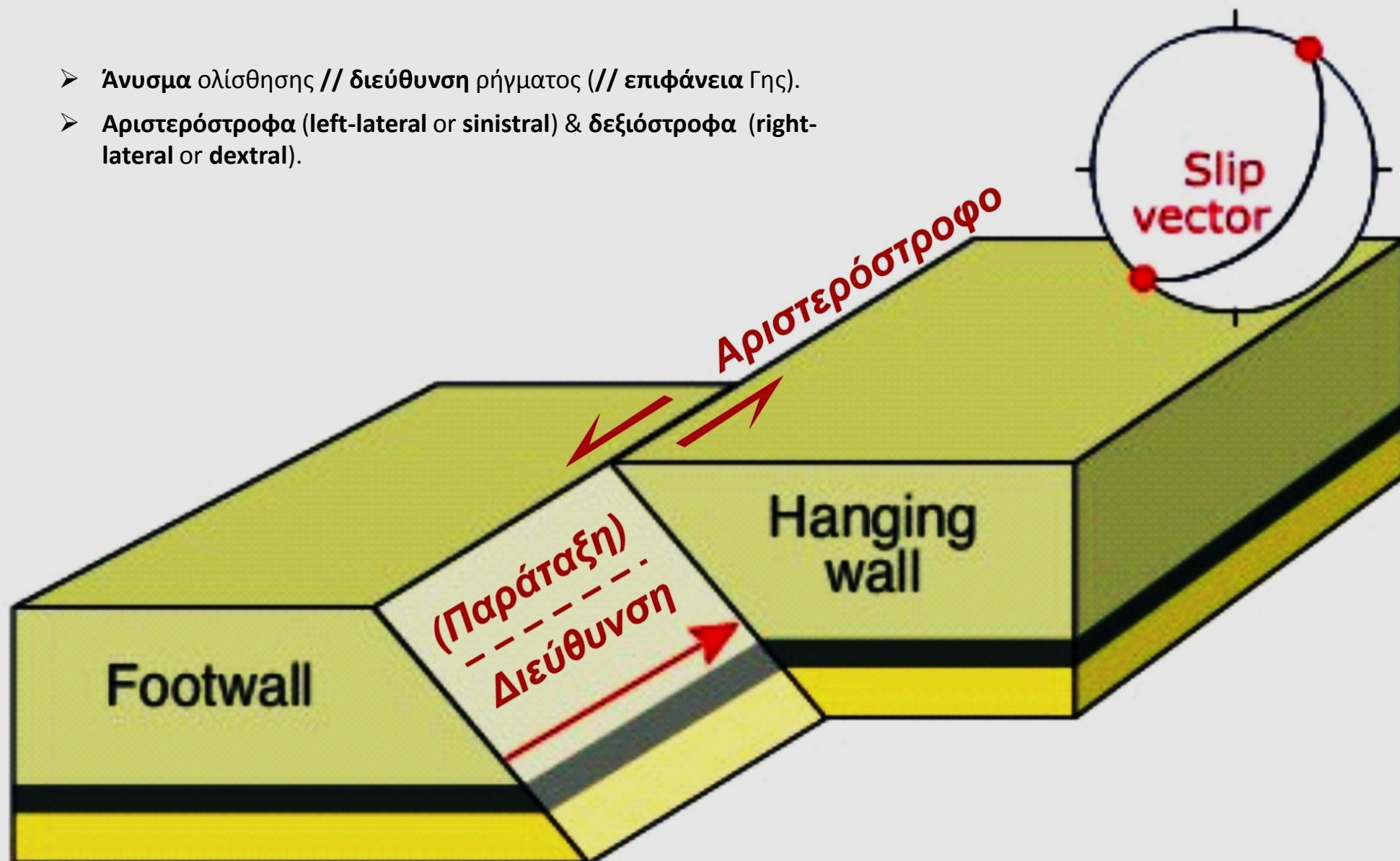
Το να κατανοήσει λοιπόν, κανείς τον τρόπο σχηματισμού και λειτουργίας αυτών των ρηγμάτων, αλλά και τα γεωτεκτονικά περιβάλλοντα με τα οποία συνδέονται, δεν έχει μόνο ακαδημαϊκό ενδιαφέρον, αλλά αποτελεί και μια κοινωνική αναγκαιότητα για την **πρόληψη** και **διαχείριση** των **καταστροφών** από σεισμούς και των επιπτώσεών τους.

Μαζί με τα ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης, θα αναλυθούν και τα τεκτονικά περιβάλλοντα της **διασυμπίεσης (transpression)** και του **διεφέλκυσμού (transtension)**, που αποτελούν τον συνδυαστικό κρίκο ανάμεσα στα καθεστώτα οριζόντιας ολίσθησης (strike-slip regimes) με τα καθεστώτα έκτασης (extensional regimes) και βράχυνσης (contractional regimes).

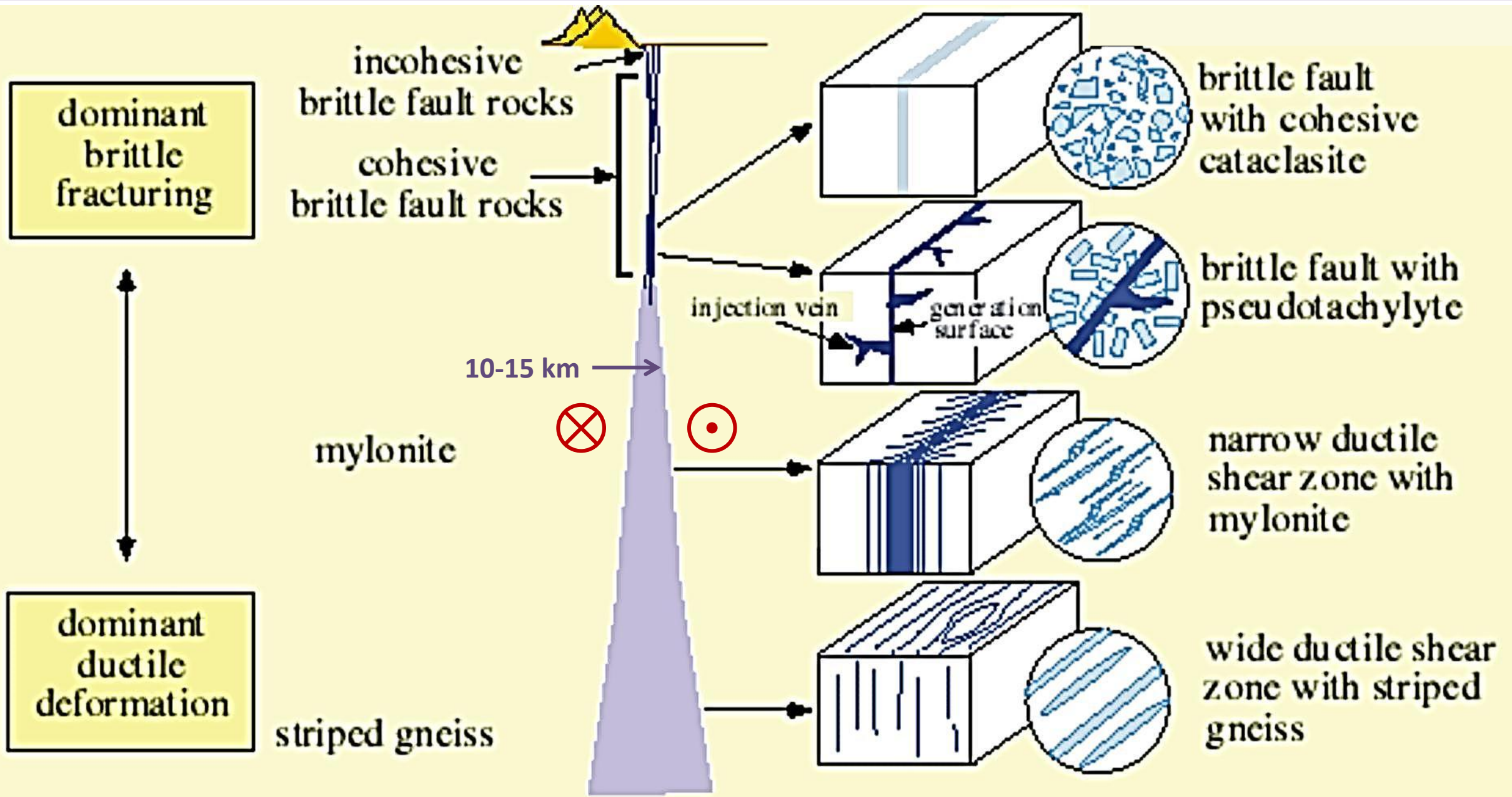


ΡΗΓΜΑΤΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

- Άνυσμα ολίσθησης // διεύθυνση ρήγματος (// επιφάνεια Γης).
- Αριστερόστροφα (left-lateral or sinistral) & δεξιόστροφα (right-lateral or dextral).



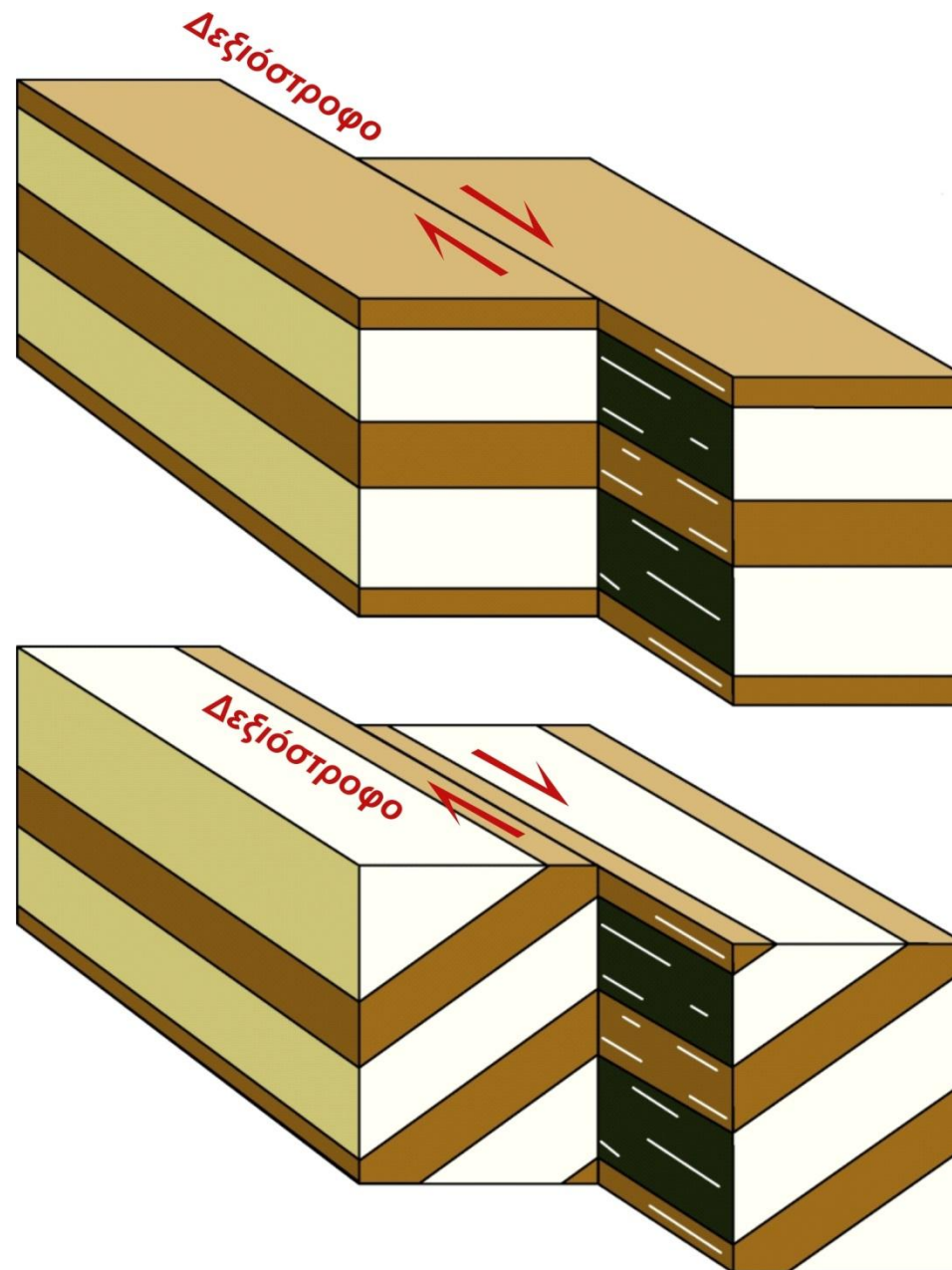
ΡΗΓΜΑΤΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ



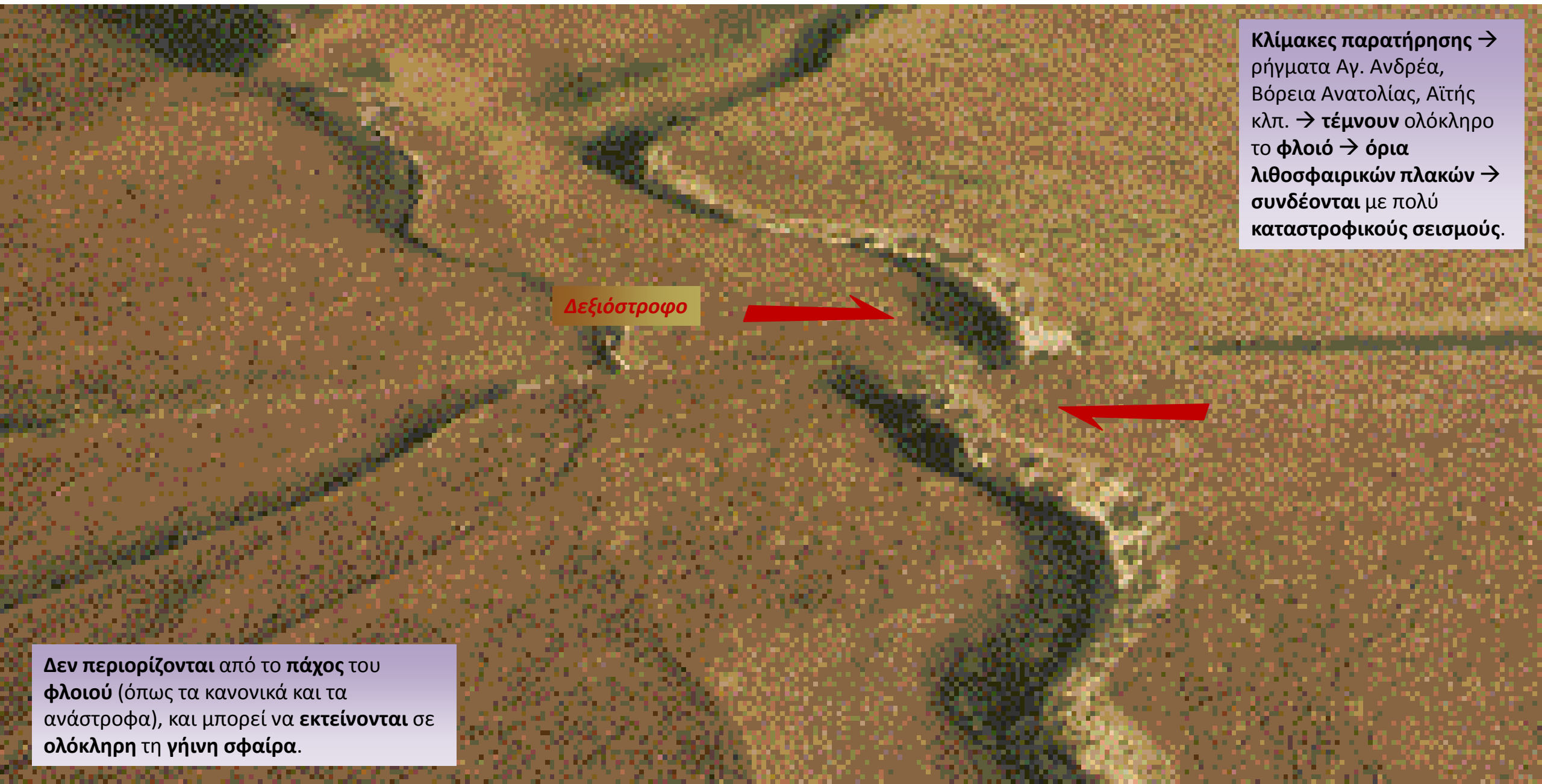
Σχεδόν κατακόρυφα → ευθύγραμμα ίχνη στους γεωλογικούς χάρτες.

Καμπυλώσεις { Συνήθως σε τομές κατακόρυφες (παράλληλα δηλαδή στην κίνηση του ρήγματος).
Σπανιότερα σε οριζόντιες τομές (όπως η επιφάνεια του εδάφους ή οι γεωλογικοί χάρτες) → ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ.

Σε τομή καμία μετάθεση όταν τα στρώματα είναι οριζόντια, κατακόρυφα ή έχουν διεύθυνση παράλληλη με το ρήγμα → Άρα δύσκολα εντοπίζονται από σεισμικές τομές.



ΡΗΓΜΑΤΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ



Δεξιόστροφο

Κλίμακες παρατήρησης →
ρήγματα Αγ. Ανδρέα,
Βόρεια Ανατολίας, Αϊτής
κλπ. → τέμνουν ολόκληρο
το φλοιό → όρια
λιθοσφαιρικών πλακών →
συνδέονται με πολύ
καταστροφικούς σεισμούς.

Δεν περιορίζονται από το πάχος του φλοιού (όπως τα κανονικά και τα ανάστροφα), και μπορεί να εκτείνονται σε ολόκληρη τη γήινη σφαίρα.

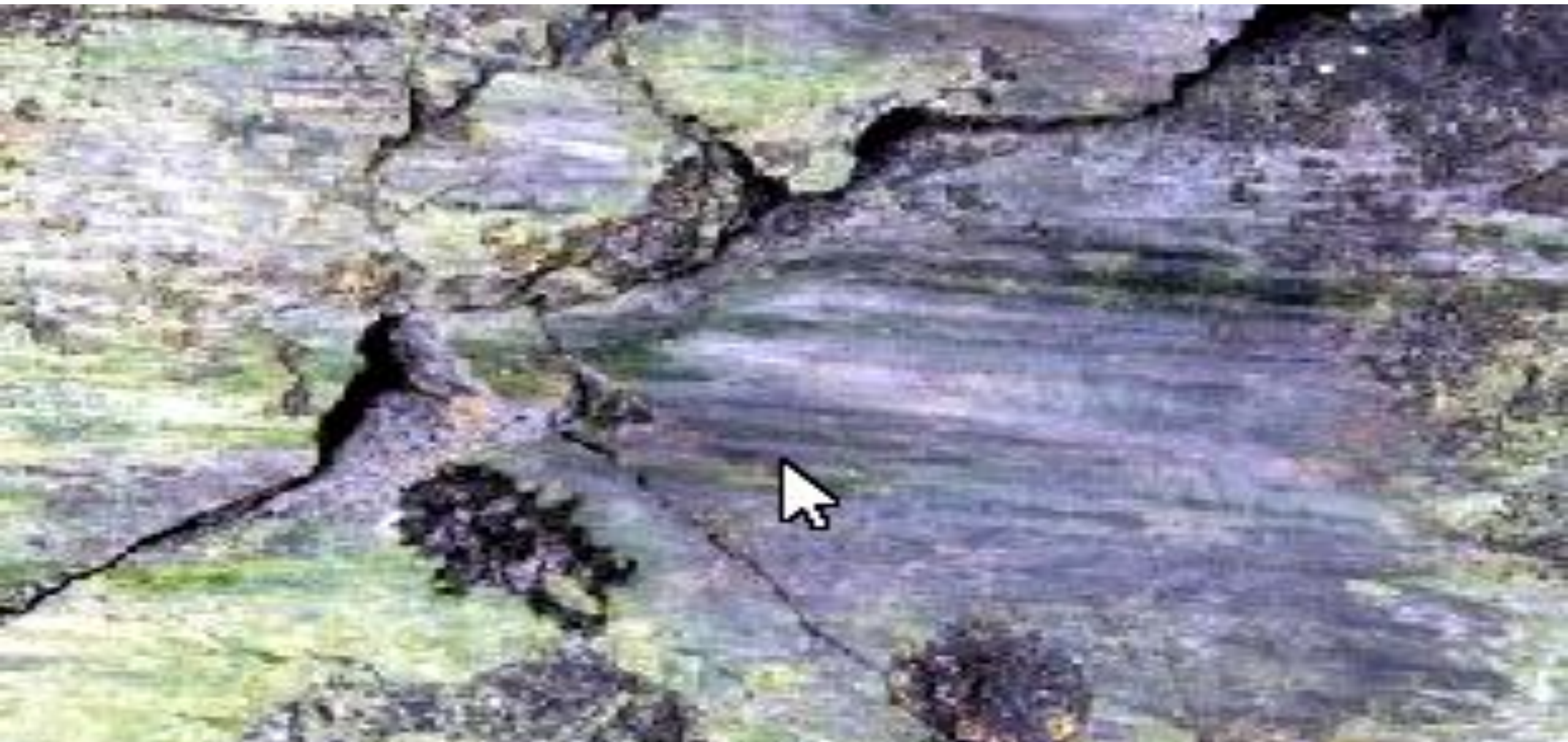
ΡΗΓΜΑΤΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

Εντυπωσιακές μετατοπίσεις σε γραμμικές δομές.
(Κανονικά ή ανάστροφα ρήγματα ?).



Δεξιόστροφο

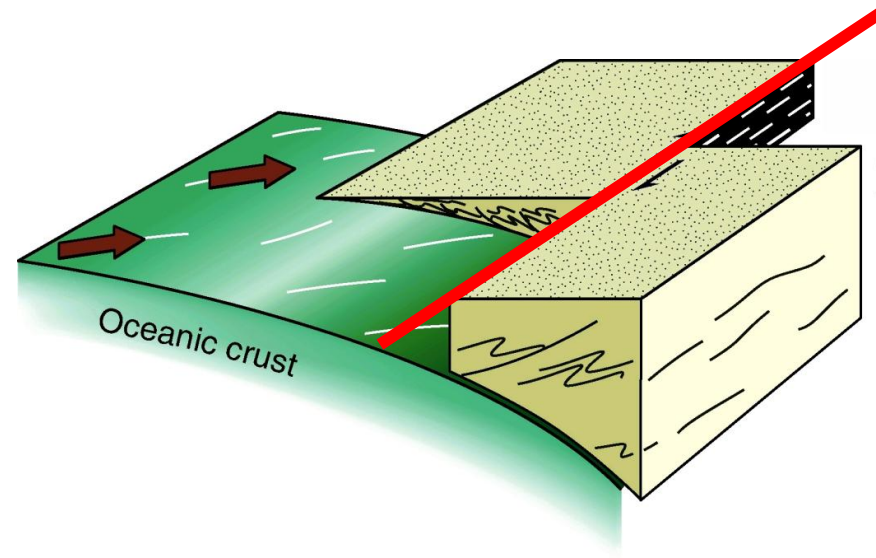
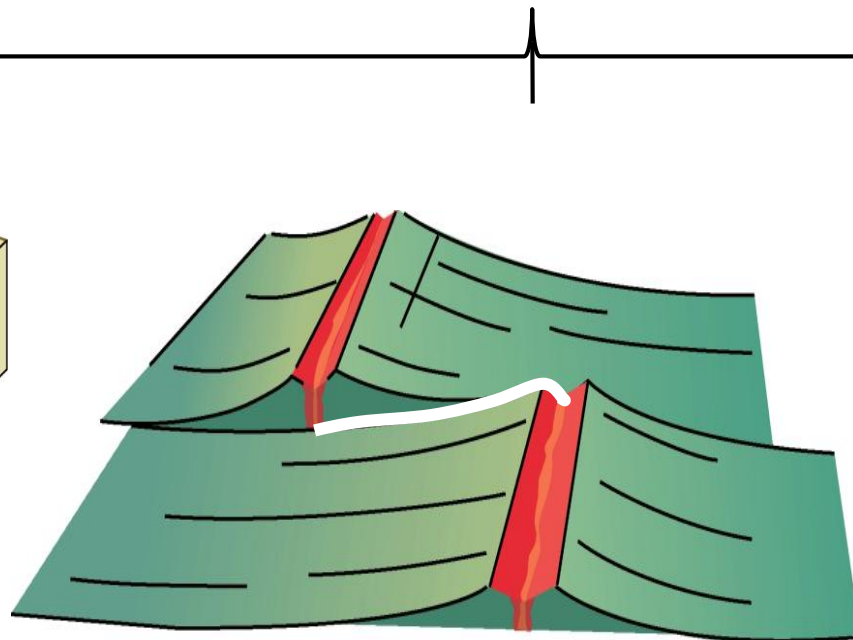
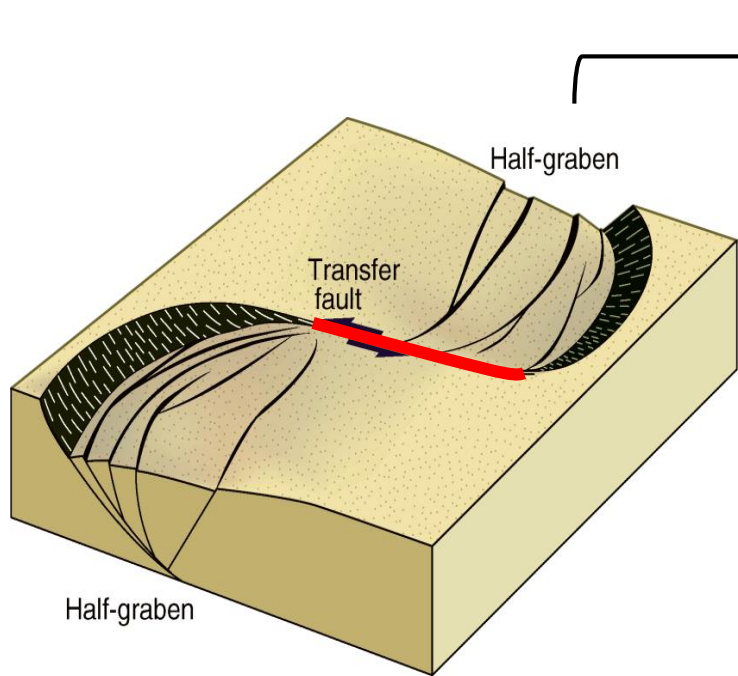
ΡΗΓΜΑΤΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ



Οι οριζόντιες γραμμές προστριβής, αποτελούν το πιο αξιόπιστο κριτήριο για το χαρακτηρισμό των ρηγμάτων οριζόντιας ολίσθησης.

ΤΥΠΟΙ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

ΤΥΠΟΙ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ
(κινηματικός χαρακτήρας και τεκτονικό περιβάλλον δημιουργίας)



(i) transfer faults
(ρήγματα μεταφοράς,
ή μεταγωγής, ή μεταβίβασης)

(ii) transform faults
(ρήγματα μετασχηματισμού)

(iii) transcurrent faults
(διατρέχοντα ? ρήγματα)

ΤΥΠΟΙ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

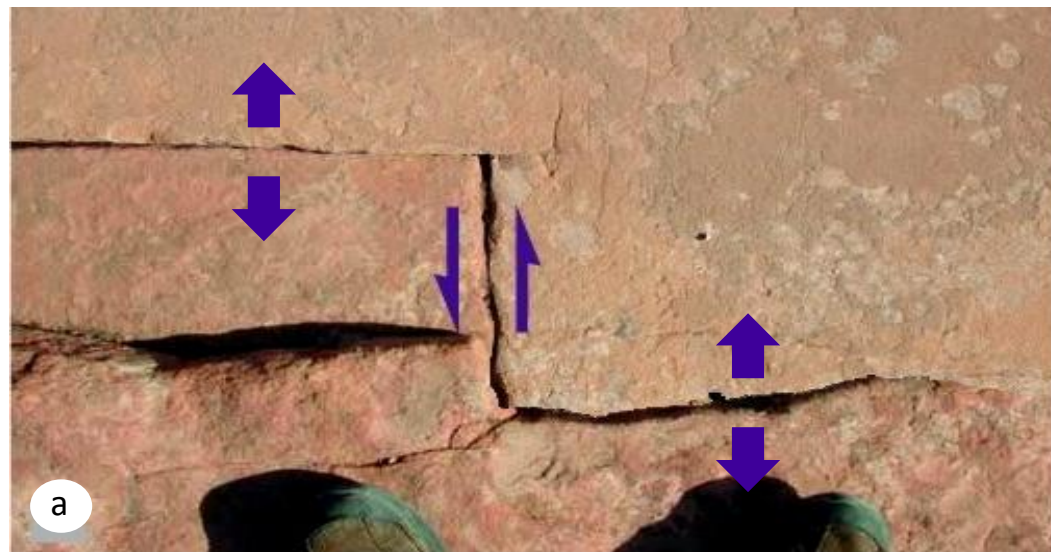
Ρήγματα μεταφοράς (transfer faults*)

* Ενίοτε χρησιμοποιείται και ο όρος *tear fault* (αποσχιστικό? ρήγμα).

- **Μεταφέρουν** (μετάγουν, μεταβιβάζουν) την κίνηση ανάμεσα σε δύο ρήγματα (κανονικά ή ανάστροφα).
- **Περιορίζονται** ανάμεσα σε δομές.
- Η διατομή τους με αυτές αποτελούν **περατωτικά όρια (termination line)**.
- **Δεν** μπορούν να **επεκτείνονται ελεύθερα** (→ σχέση μετατόπισης και μήκους).

Εμφανίζονται σε **όλες** τις **κλίμακες** και μπορούν να συνδέουν μια ποικιλία δομών, όπως:

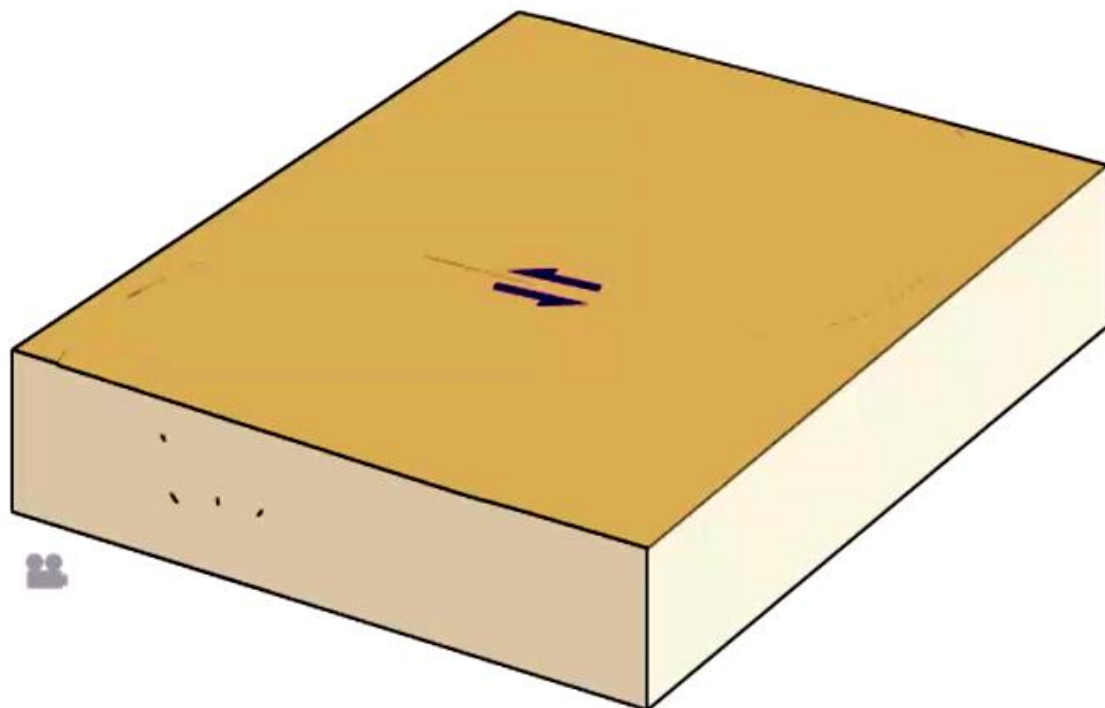
- ✓ **εκτατικές ρωγμές (extensional fractures),**
- ✓ **φλέβες (veins),**
- ✓ **κοίτες (dikes),**
- ✓ **κανονικά ρήγματα (normal faults)** με ίδια ή αντίθετη κλίση,
- ✓ **πλάγια ρήγματα (oblique faults),**
- ✓ **ανάστροφα ρήγματα (reverse faults),**
- ✓ ή ακόμα και **πτυχές.**



ΤΥΠΟΙ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ



ΤΥΠΟΙ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

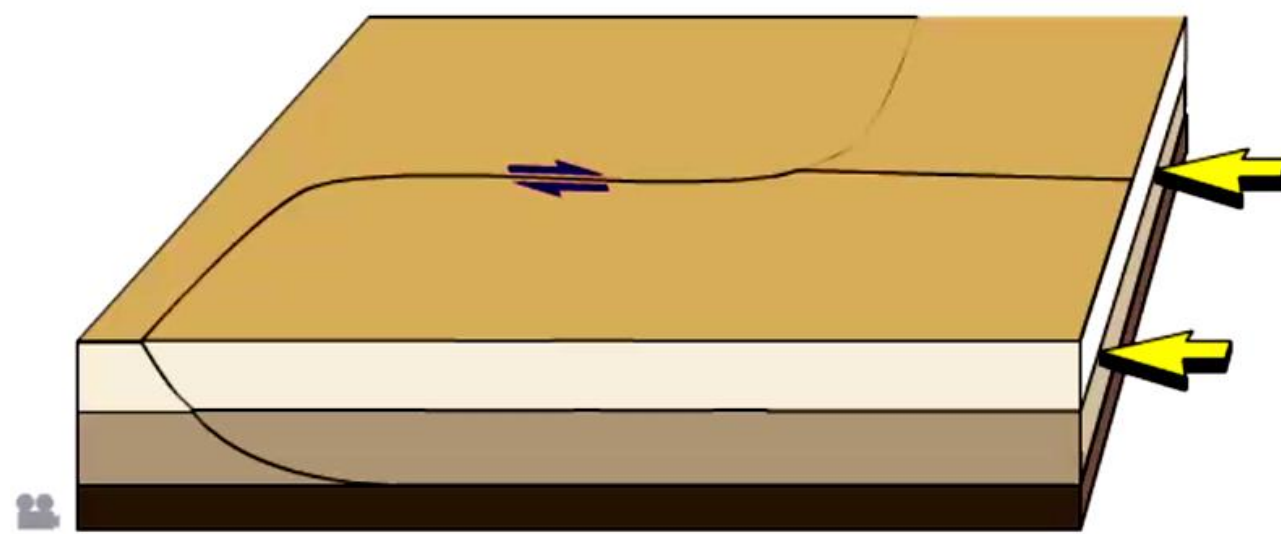


Εκτατικά καθεστώτα (extensional regimes) → ΣΥΝΔΕΟΥΝ → κανονικά ρήγματα (normal faults).

Καθεστώτα βράχυνσης (contractional regimes) → ΣΥΝΔΕΟΥΝ → ανάστροφα ρήγματα (reverse faults).

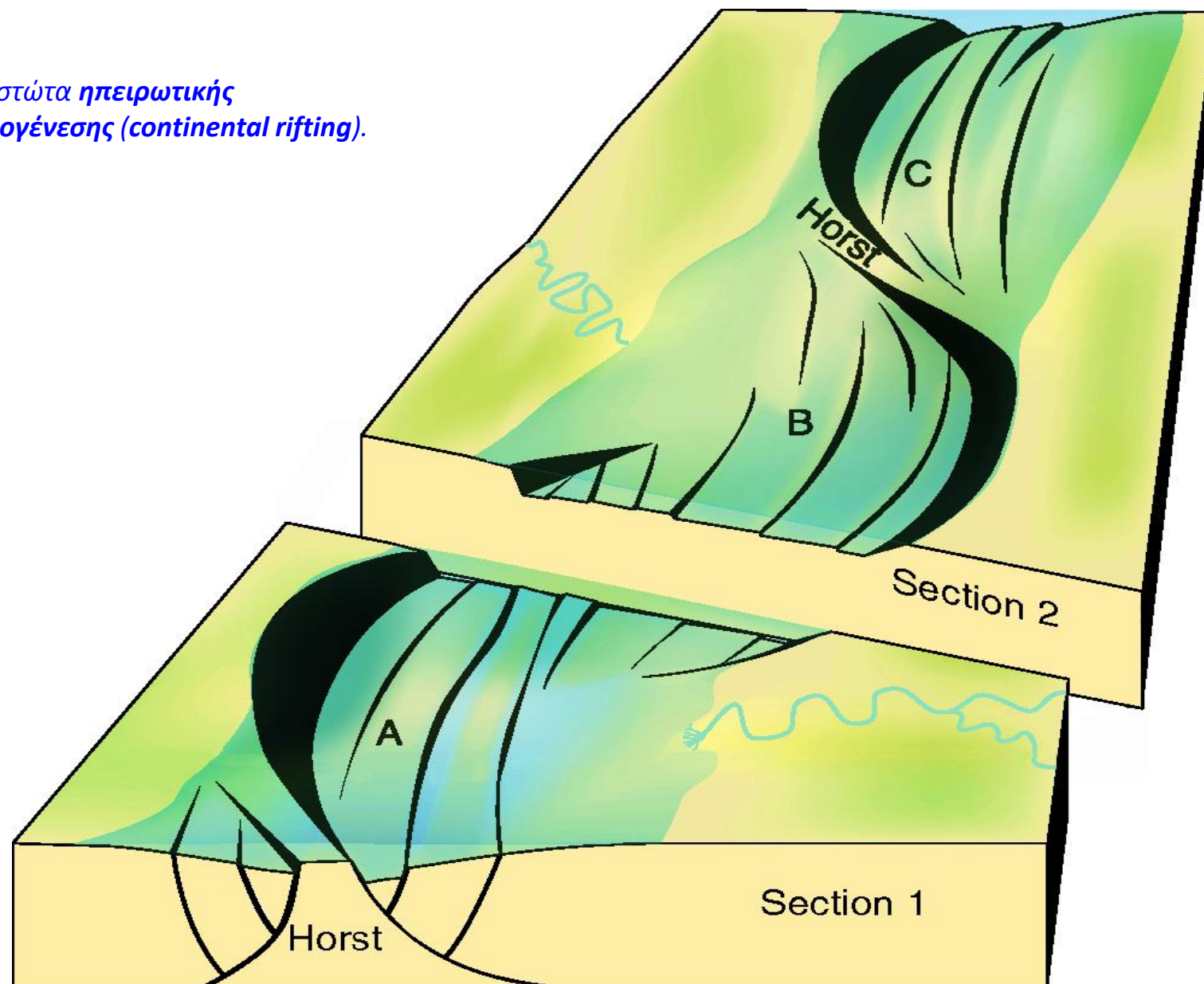
- Αντιπροσωπεύουν **πλευρικές ράμπες (lateral ramps)**.
- Μέγεθος μετατόπισης **σημαντικό** και **σταθερό** σε όλο το μήκος της διάρρηξης.

Καθεστώτα ηπειρωτικής ταφρογένεσης (continental rifting).



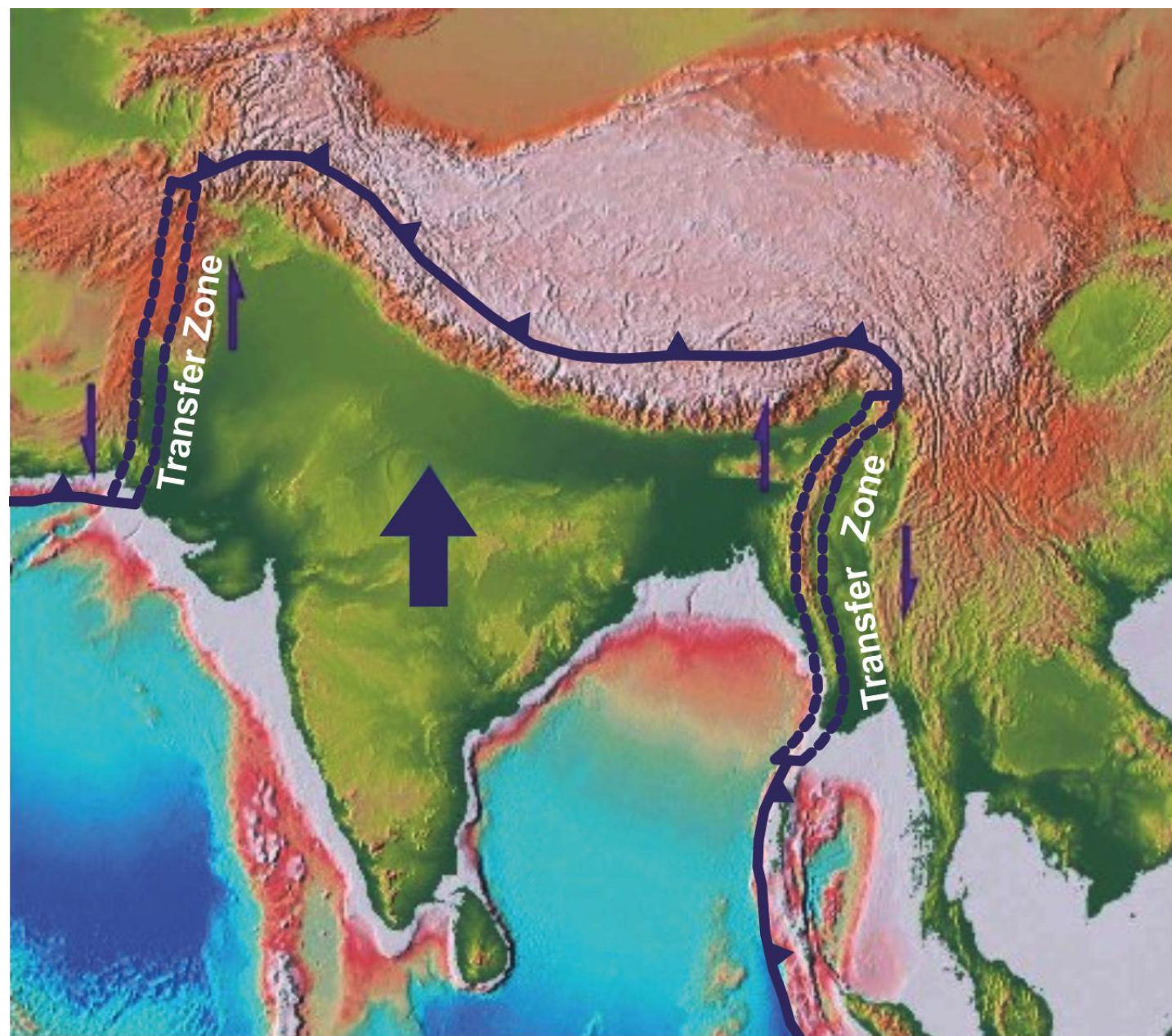
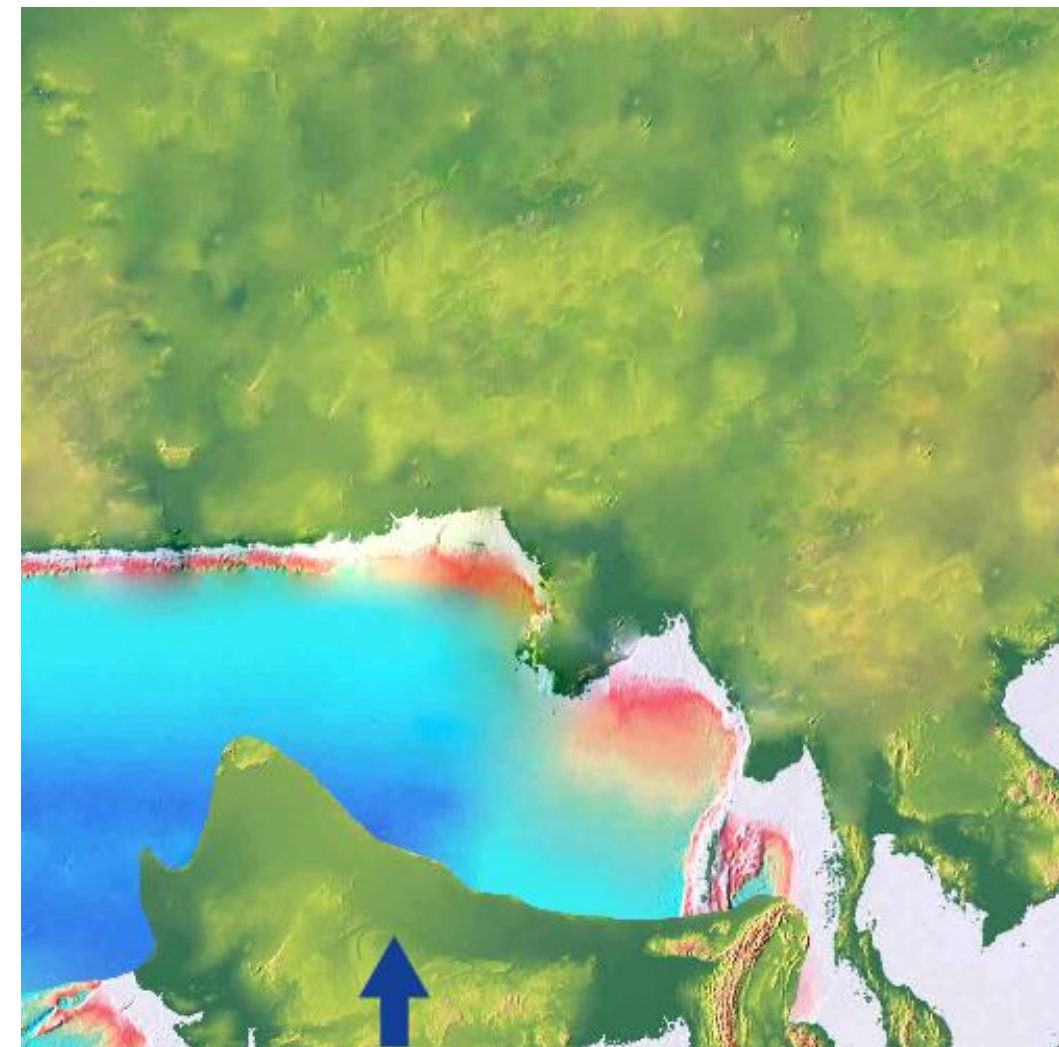
ΤΥΠΟΙ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

Καθεστώτα ηπειρωτικής
ταφρογένεσης (continental rifting).



ΤΥΠΟΙ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

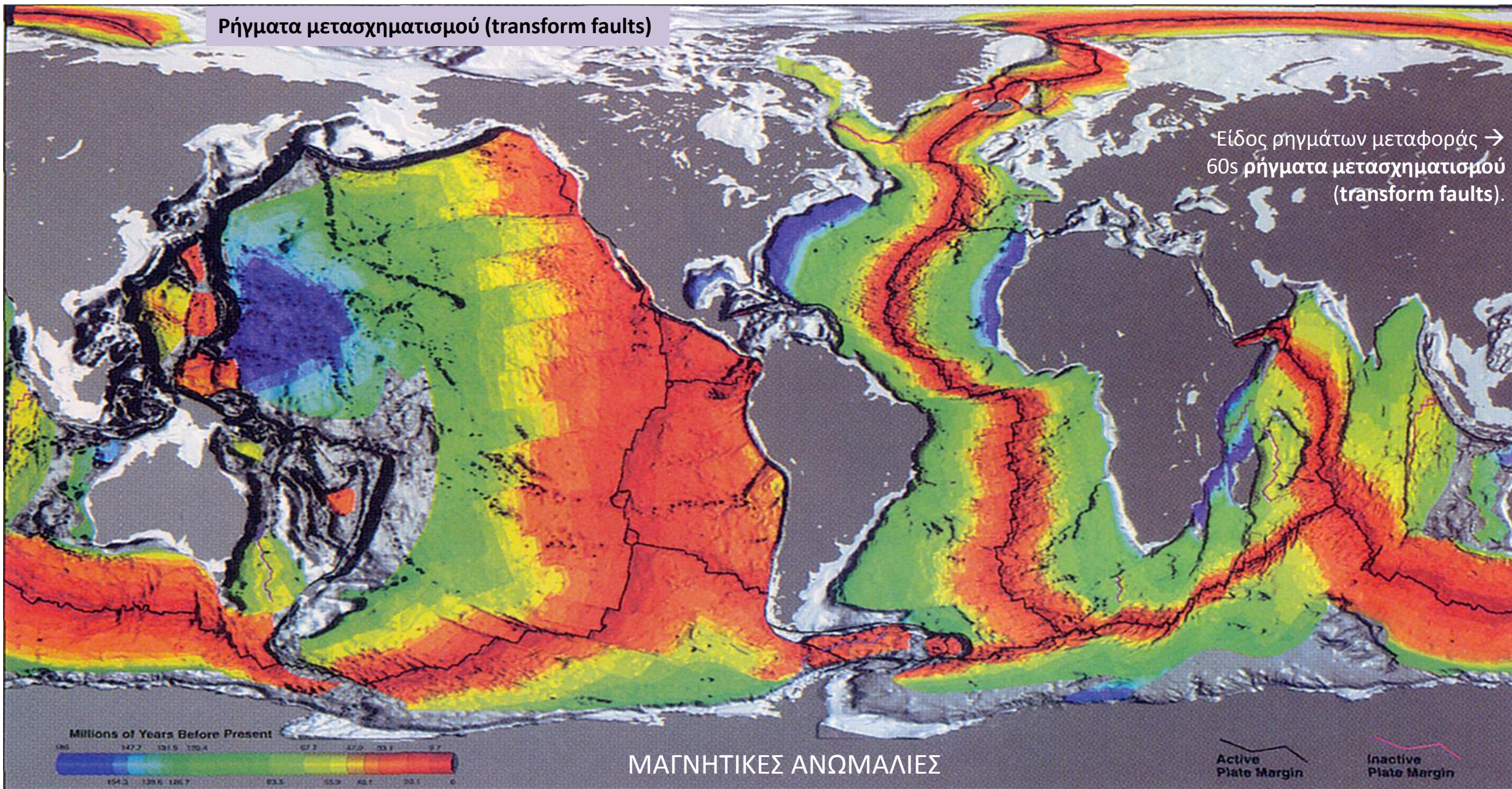
Στη μεγάλη κλίμακα εμφάνισης, σε επίπεδο φλοιού, τα **ρήγματα μεταφοράς (transfer faults)**, αντιπροσωπεύουν συνήθως μεγάλου πλάτους **ρηξιγενείς ζώνες (fault zones)** ή **ζώνες διάτμησης (shear zones)**, παρά συγκεκριμένα ευκρινή ρήγματα.



ΤΥΠΟΙ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

Ρήγματα μετασχηματισμού (transform faults)

Είδος ρηγμάτων μεταφοράς →
60s ρήγματα μετασχηματισμού
(transform faults).

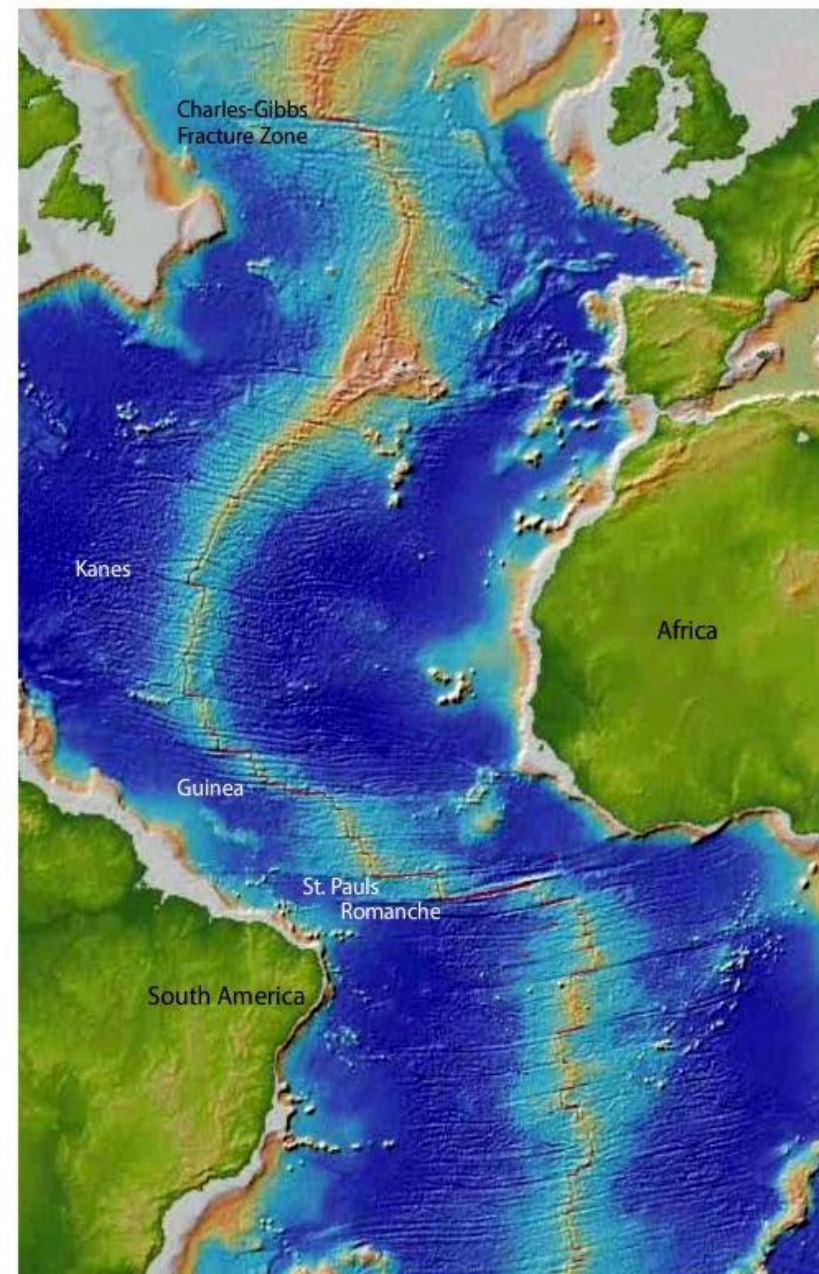
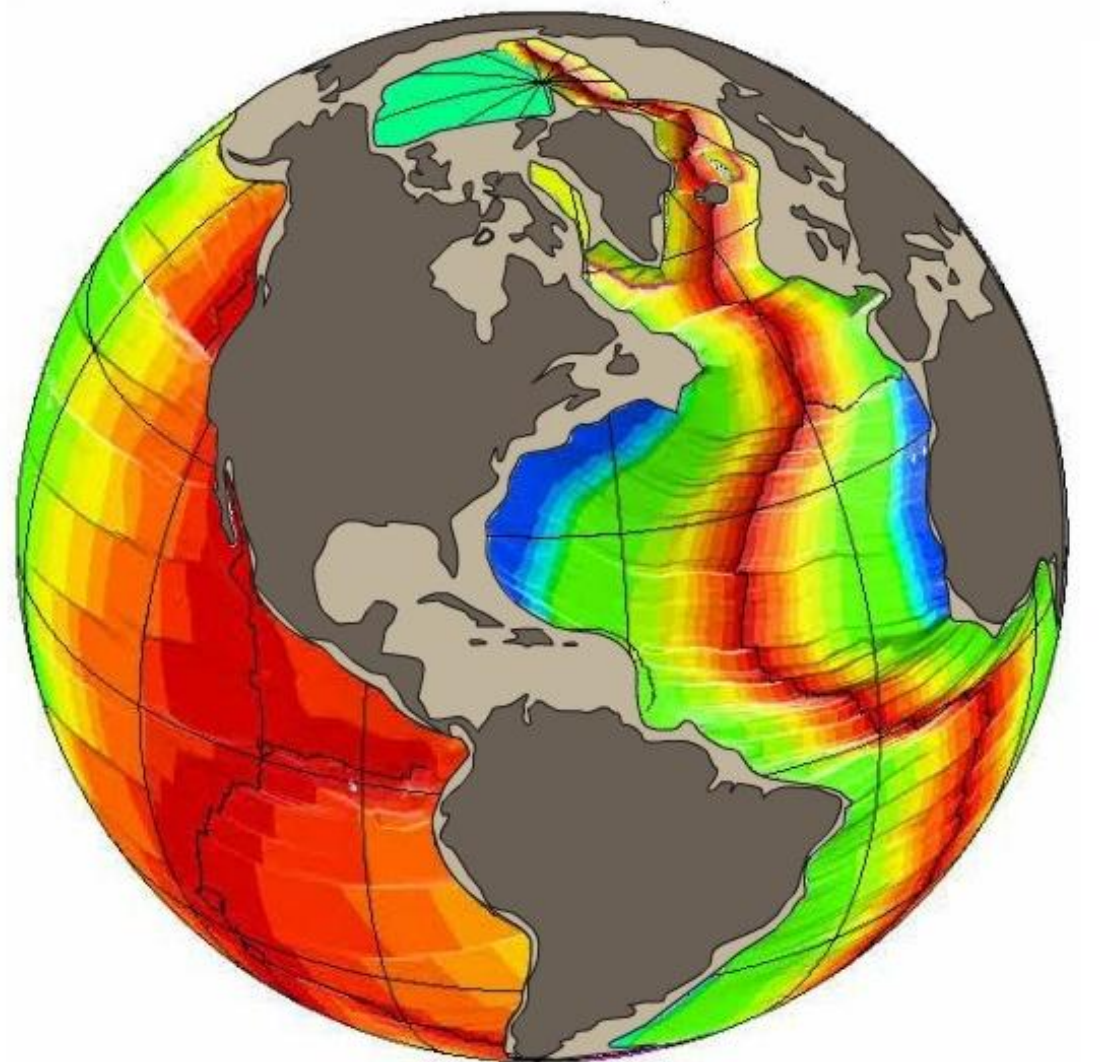


ΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ

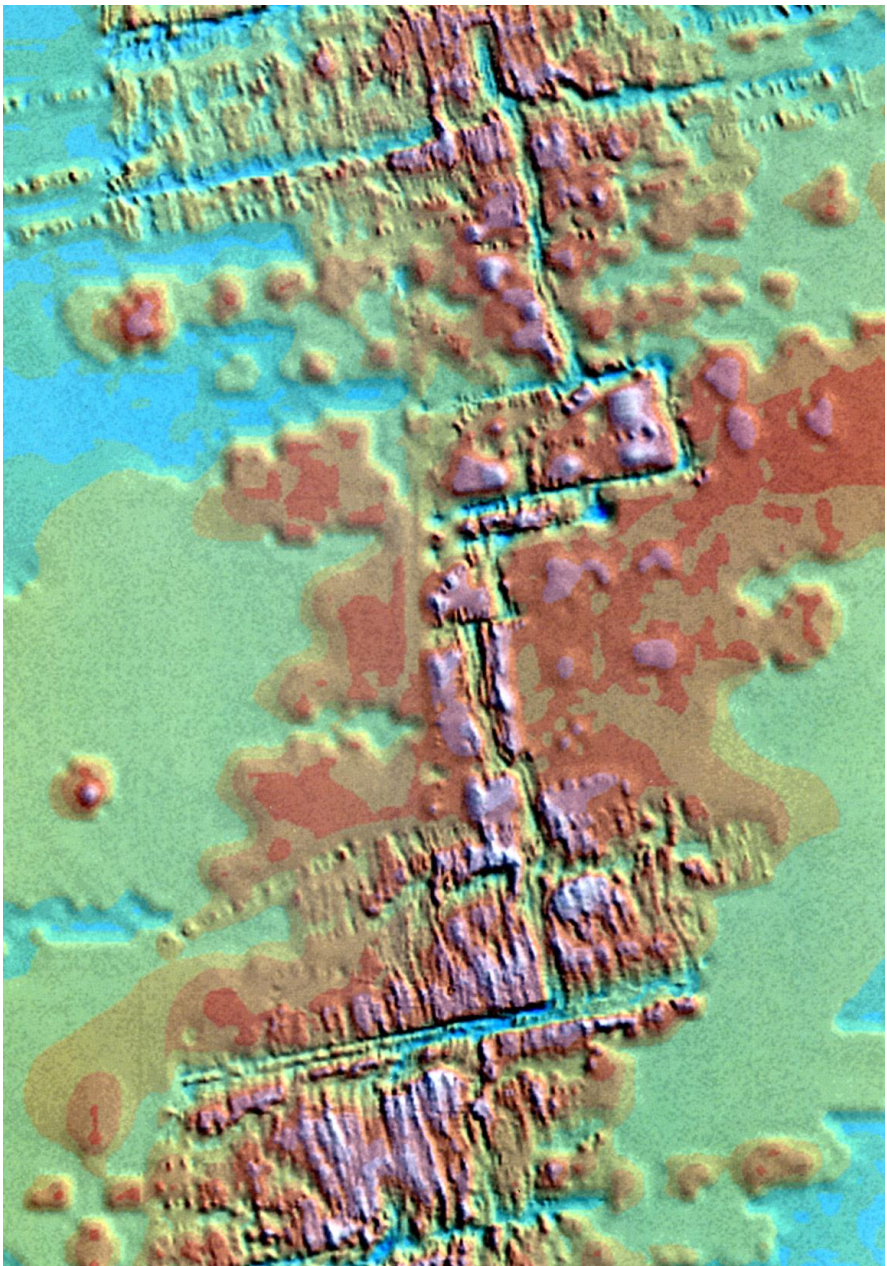
Active Plate Margin

Inactive Plate Margin

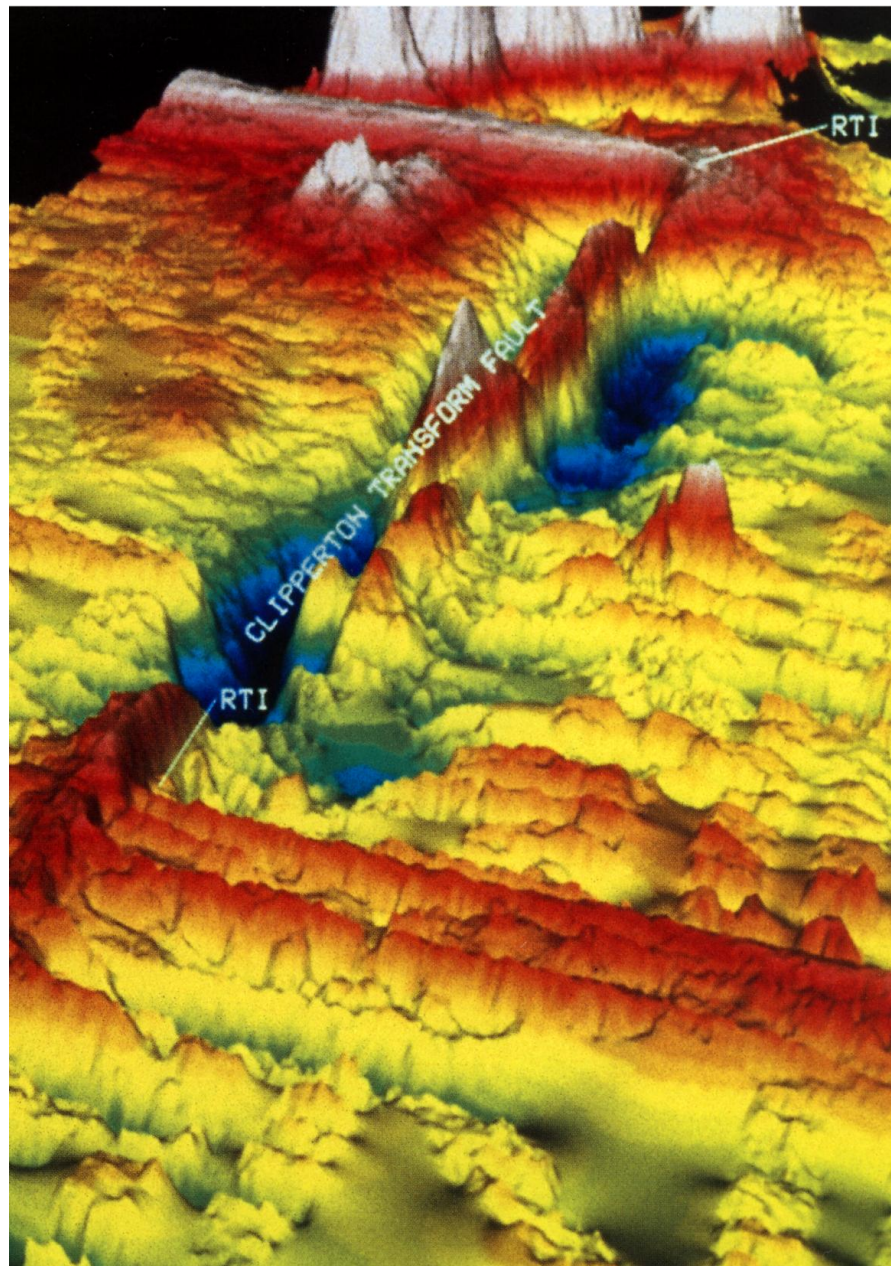
ΤΥΠΟΙ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ



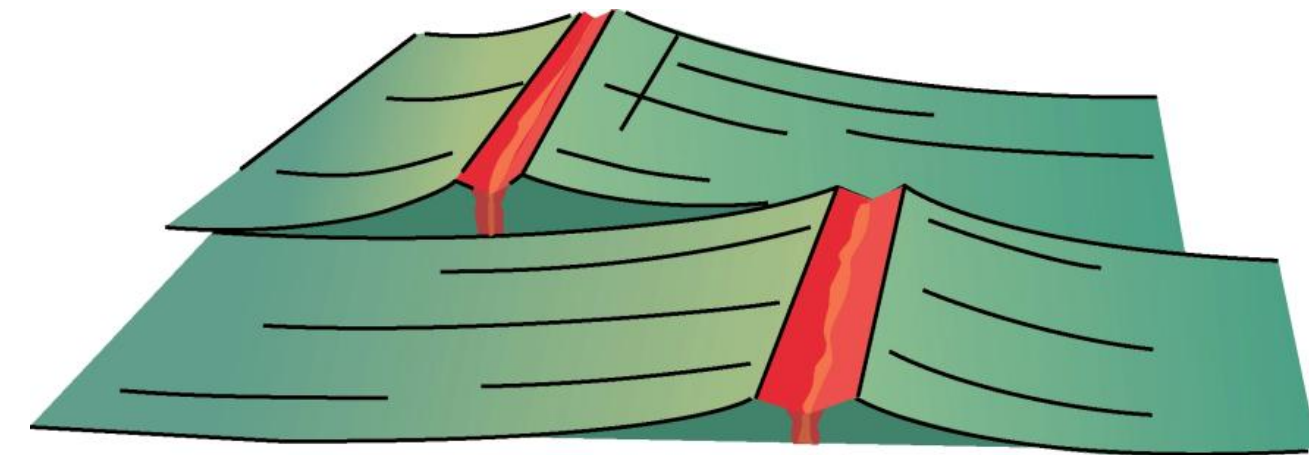
ΤΥΠΟΙ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ



DEM
ωκεάνιου
πυθμένα



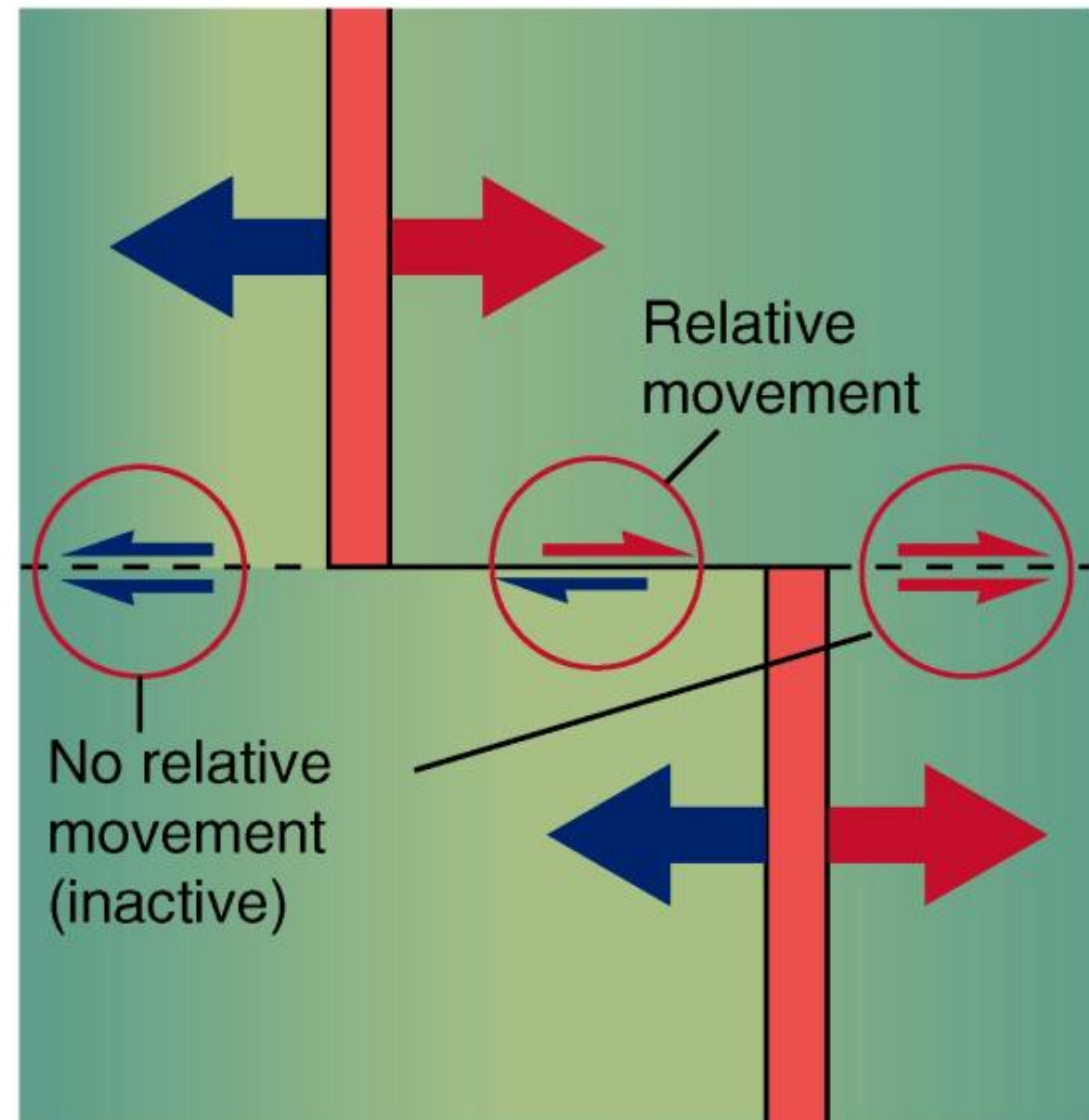
ΤΥΠΟΙ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ



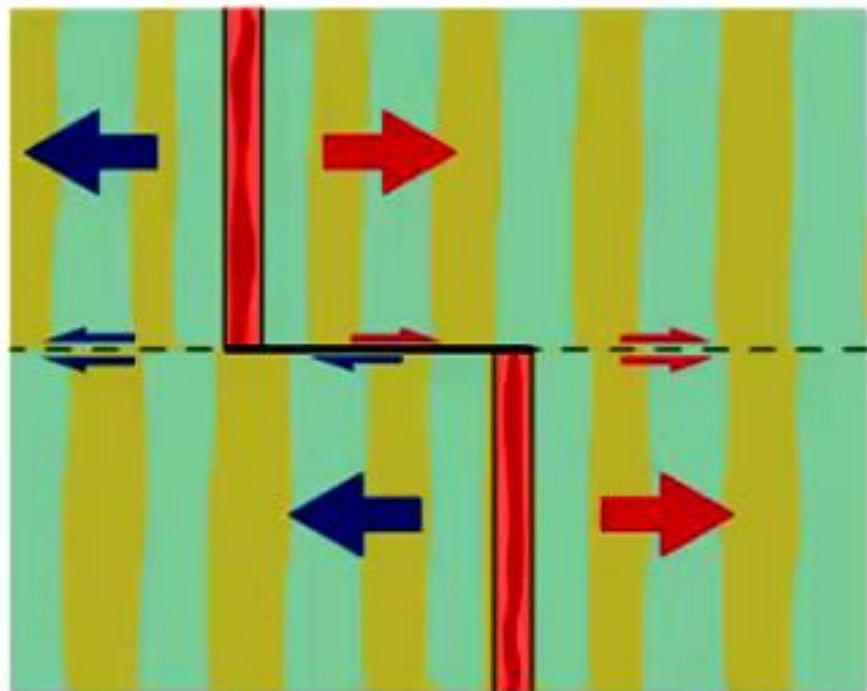
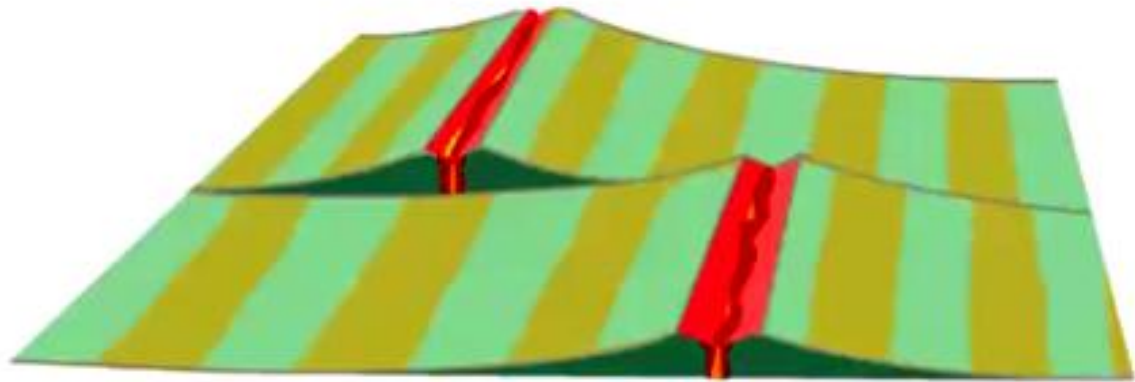
Συνδέουν μεσο-ωκεάνιες ράχες (mid-oceanic ridges)
→ μεγάλης κλίμακας (km – διάστασης) δομές.

Αντιπροσωπεύουν όρια τεκτονικών πλακών.

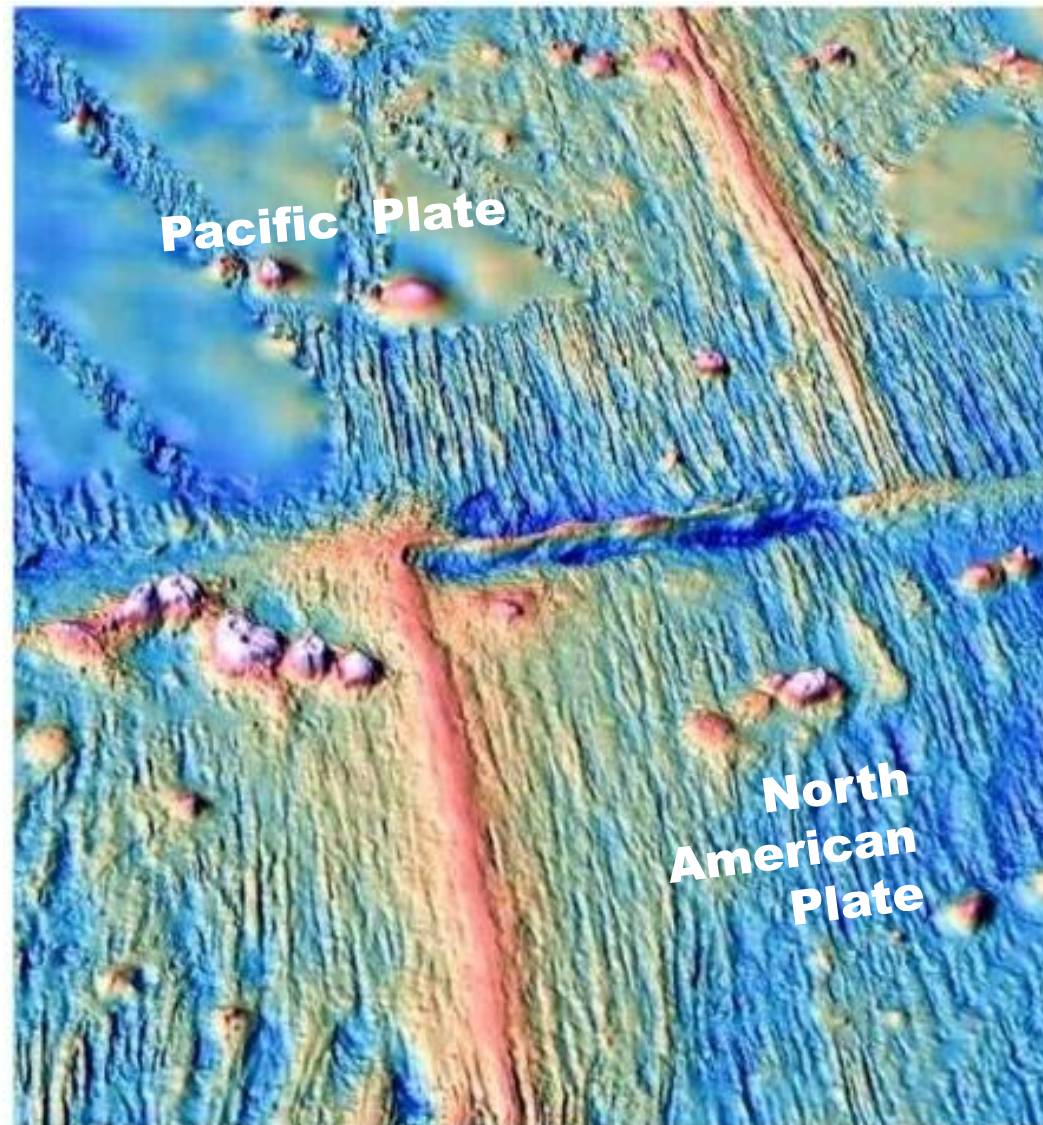
Είναι ενεργά μόνο στο τμήμα που συνδέει τις δύο ράχες → μετατόπιση σταθερή σε όλο το ενεργό τμήμα
→ ρυθμός αύξησης μεγέθους άμεσα συσχετίσιμος με ρυθμό διάνοιξης μεσο-ωκεάνιας ράχης.



ΤΥΠΟΙ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

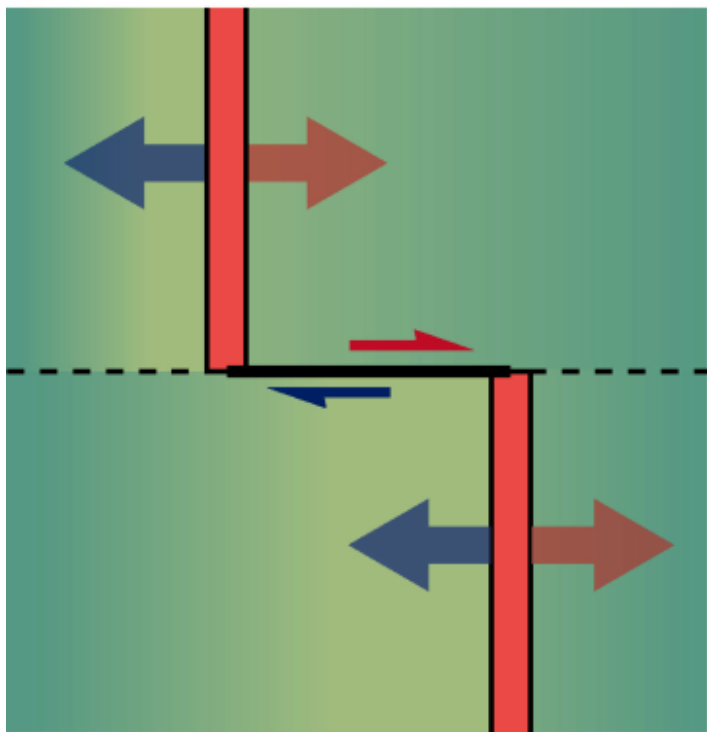


Transform Fault along the East Pacific Rise



ΤΥΠΟΙ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

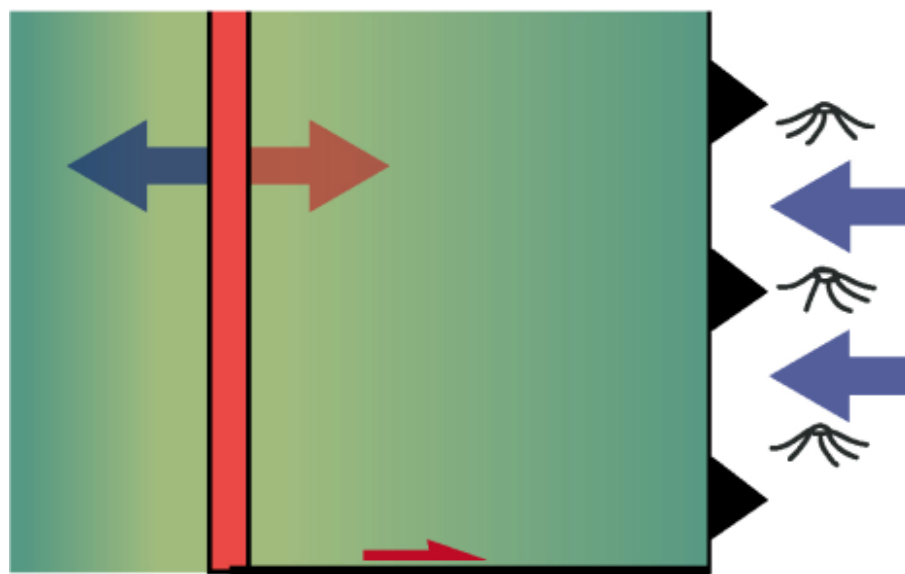
(a) Ridge–ridge



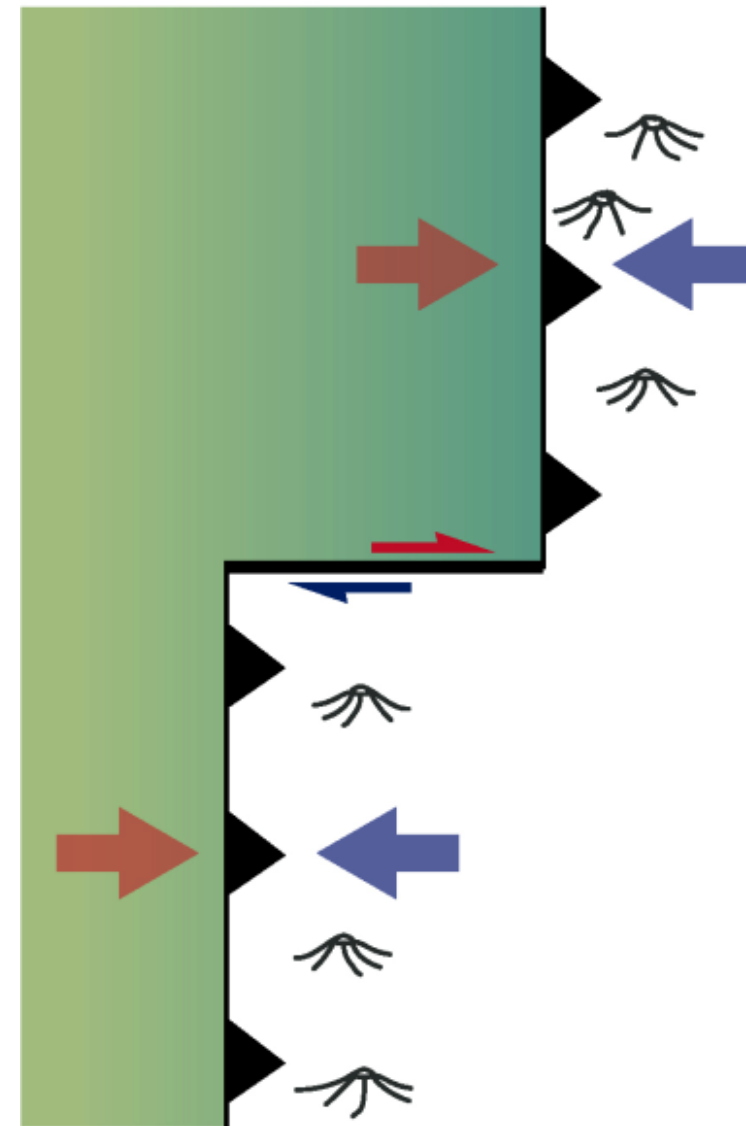
Μπορεί να συνδέουν:

- δύο μεσο-ωκεάνιες ράχες μεταξύ τους (a),
- μία μεσο-ωκεάνια ράχη με μία ζώνη σύγκλισης (b),
- ή δύο ζώνες σύγκλισης μεταξύ τους (c).

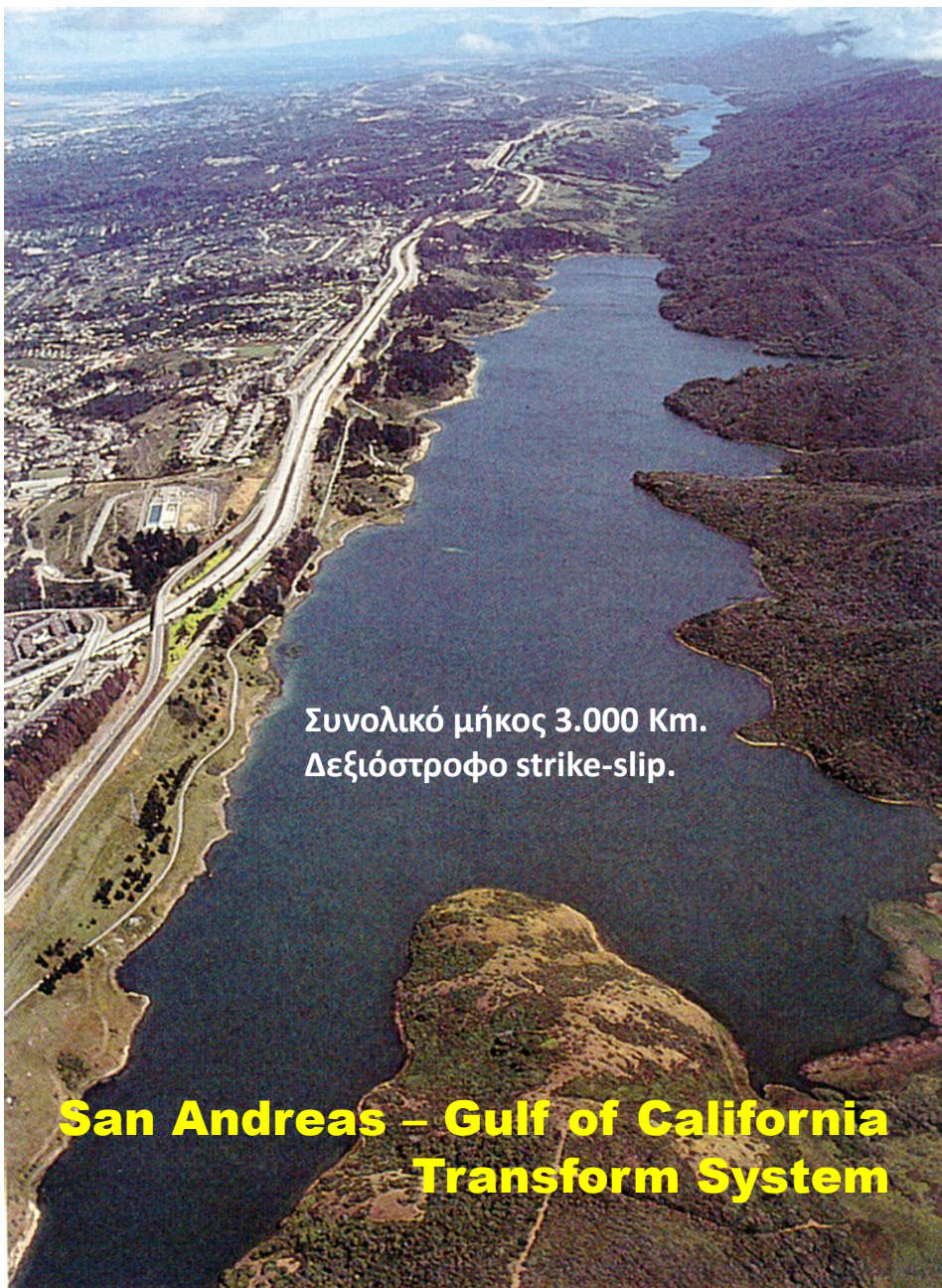
(b) Ridge–arc



(c) Arc–arc



ΤΥΠΟΙ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ



Συνολικό μήκος 3.000 Km.
Δεξιόστροφο strike-slip.

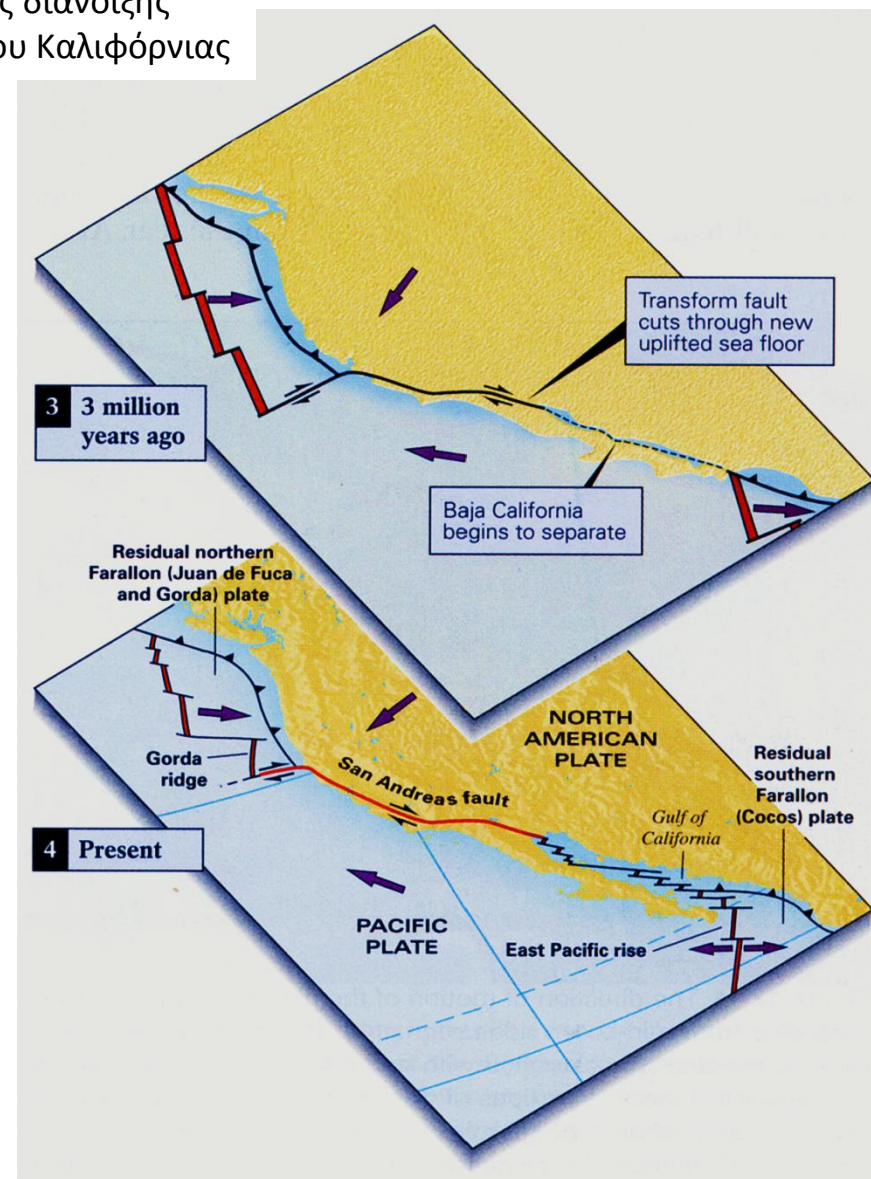
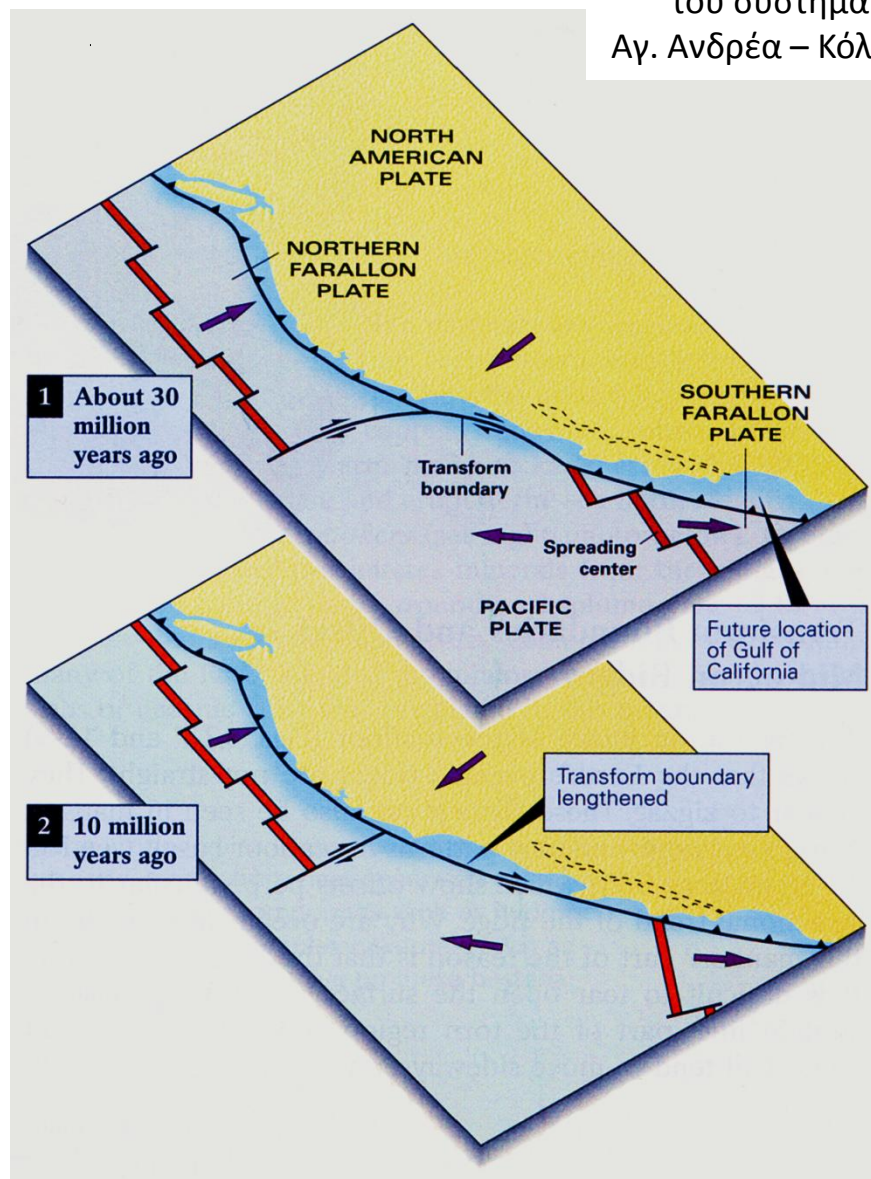
San Andreas – Gulf of California Transform System

Ηπειρωτικά
ρήγματα
μετασχηματισμού
(Αγ. Ανδρέα, Νέας
Ζηλανδίας, Νεκράς
θάλασσας κλπ.)

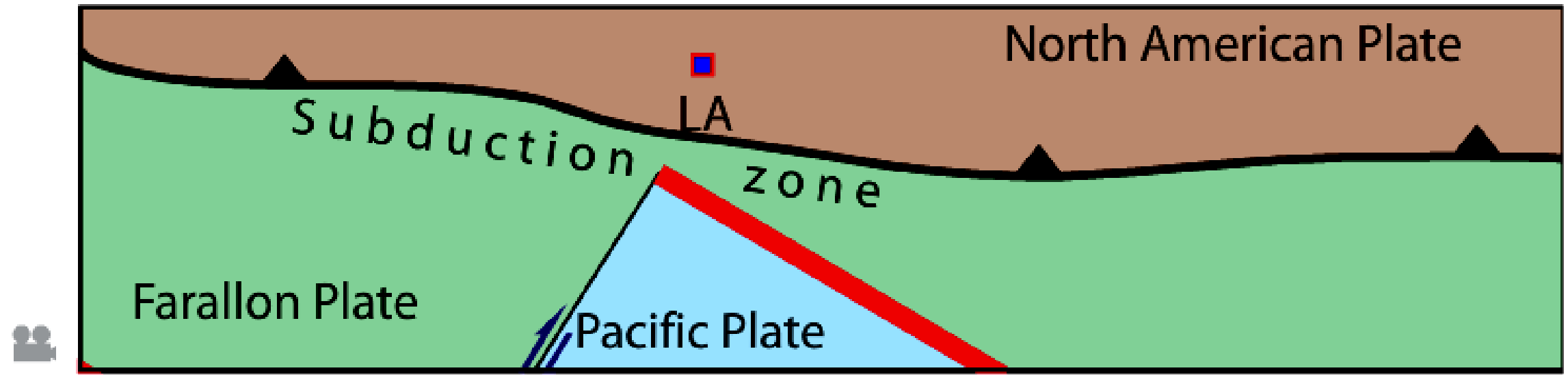


ΤΥΠΟΙ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ





Δημιουργία και εξέλιξη
του συστήματος διάνοιξης
Αγ. Ανδρέα – Κόλπου Καλιφόρνιας

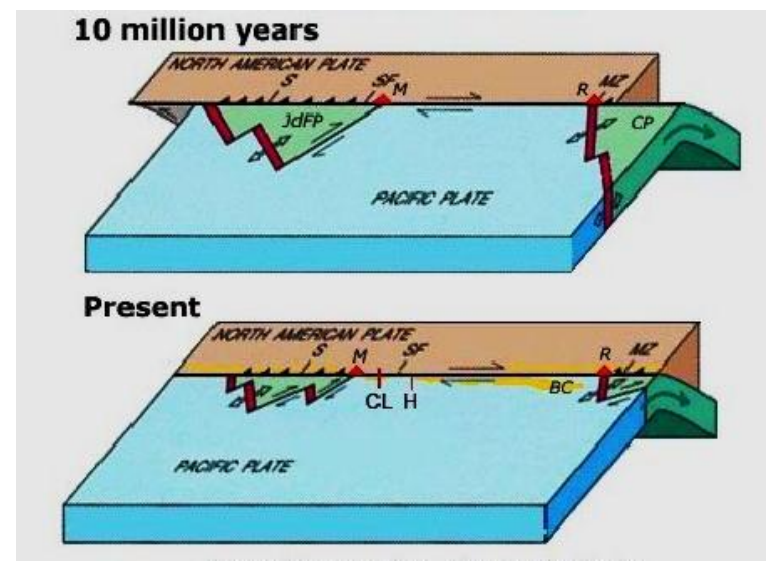
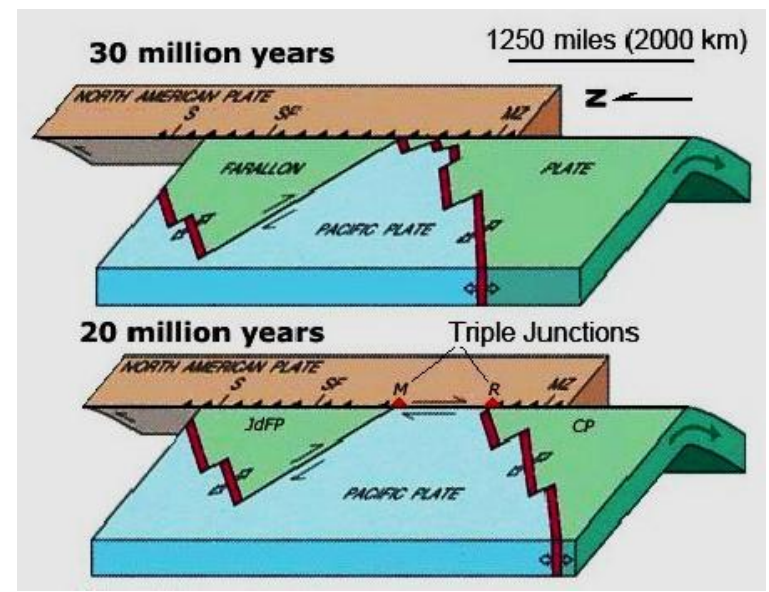


ΤΥΠΟΙ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

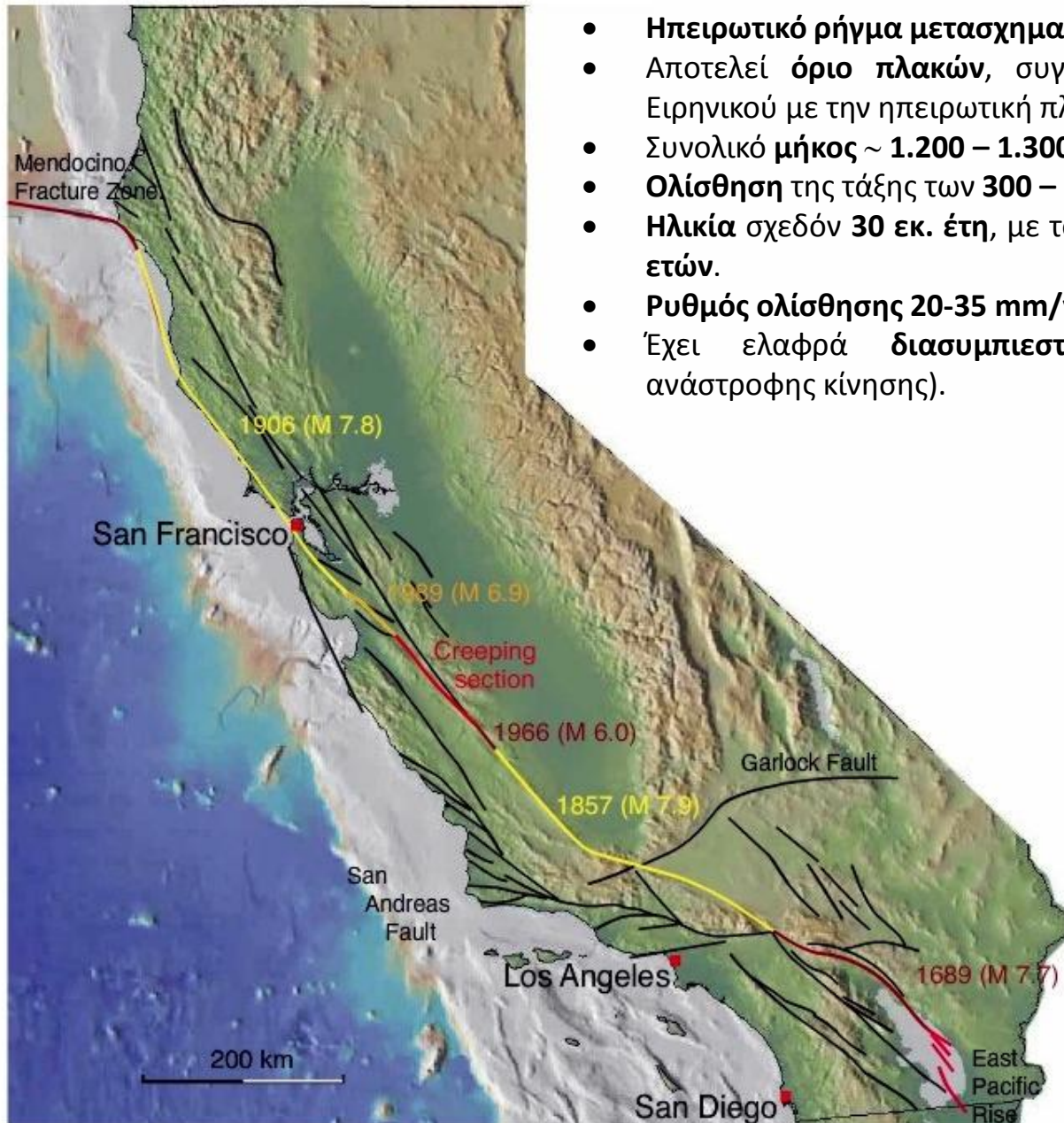


30 Ma

-  **Spreading center**—Arrows indicate direction of movement
-  **Subduction zone**—Sawtooth on upper plate
-  **Fault**—Arrows indicate direction of relative movement
-  **Triple Junction**



ΤΥΠΟΙ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ



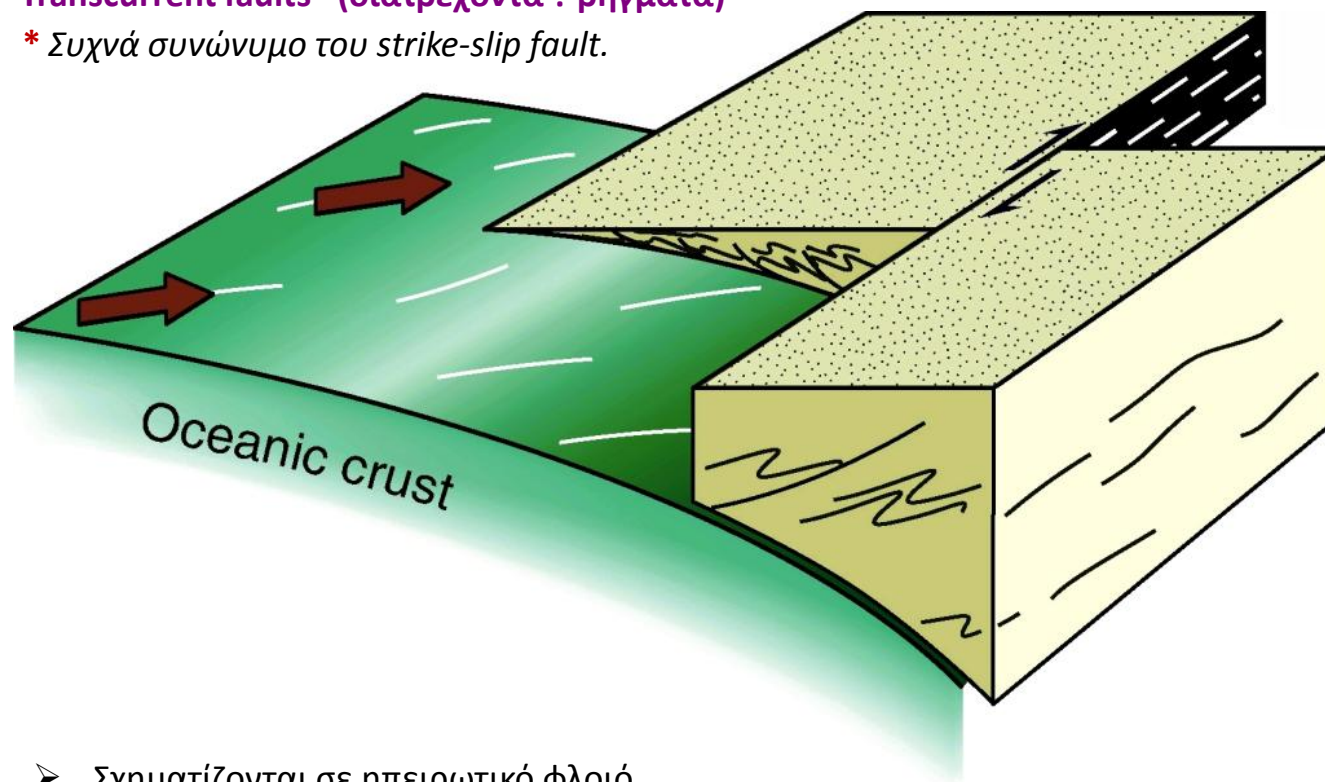
- **Ηπειρωτικό ρήγμα μετασχηματισμού.**
- Αποτελεί **όριο πλακών**, συγκεκριμένα της ωκεανικής πλάκας του Ειρηνικού με την ηπειρωτική πλάκα της Β. Αμερικής.
- Συνολικό **μήκος ~ 1.200 – 1.300 Km.**
- **Ολίσθηση** της τάξης των **300 – 500 Km.**
- **Ηλικία** σχεδόν **30 εκ. έτη**, με το πιο **σύγχρονο τμήμα** του να είναι **5 εκ. ετών.**
- **Ρυθμός ολίσθησης 20-35 mm/year.**
- Έχει ελαφρά **διασυμπιεστικό χαρακτήρα** (μικρή συμμετοχή ανάστροφης κίνησης).

- Σχετίζεται με **μεγάλους καταστροφικούς σεισμούς.**
- Περιλαμβάνει ένα κεντρικό τμήμα που χαρακτηρίζεται από **ασεισμική ολίσθηση (creep).**
- Ο πιο **διάσημος σεισμός** είναι αυτός του **San Francisco** το **1906**, με **M=8.7.**
- Οι μεγάλοι μεγέθους σεισμοί έχουν **περίοδο επανάληψης 150 χρόνια.**
- Ο **τελευταίος μεγάλος σεισμός** στο νότιο τμήμα έγινε το **1857.**
- Άρα το νότιο τμήμα του ρήγματος είναι χρονικά **"εκπρόθεσμο"** και **"ύποπτο"** για **γένεση μεγάλου σεισμού ?**

ΤΥΠΟΙ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

Transcurrent faults* (διατρέχοντα ? ρήγματα)

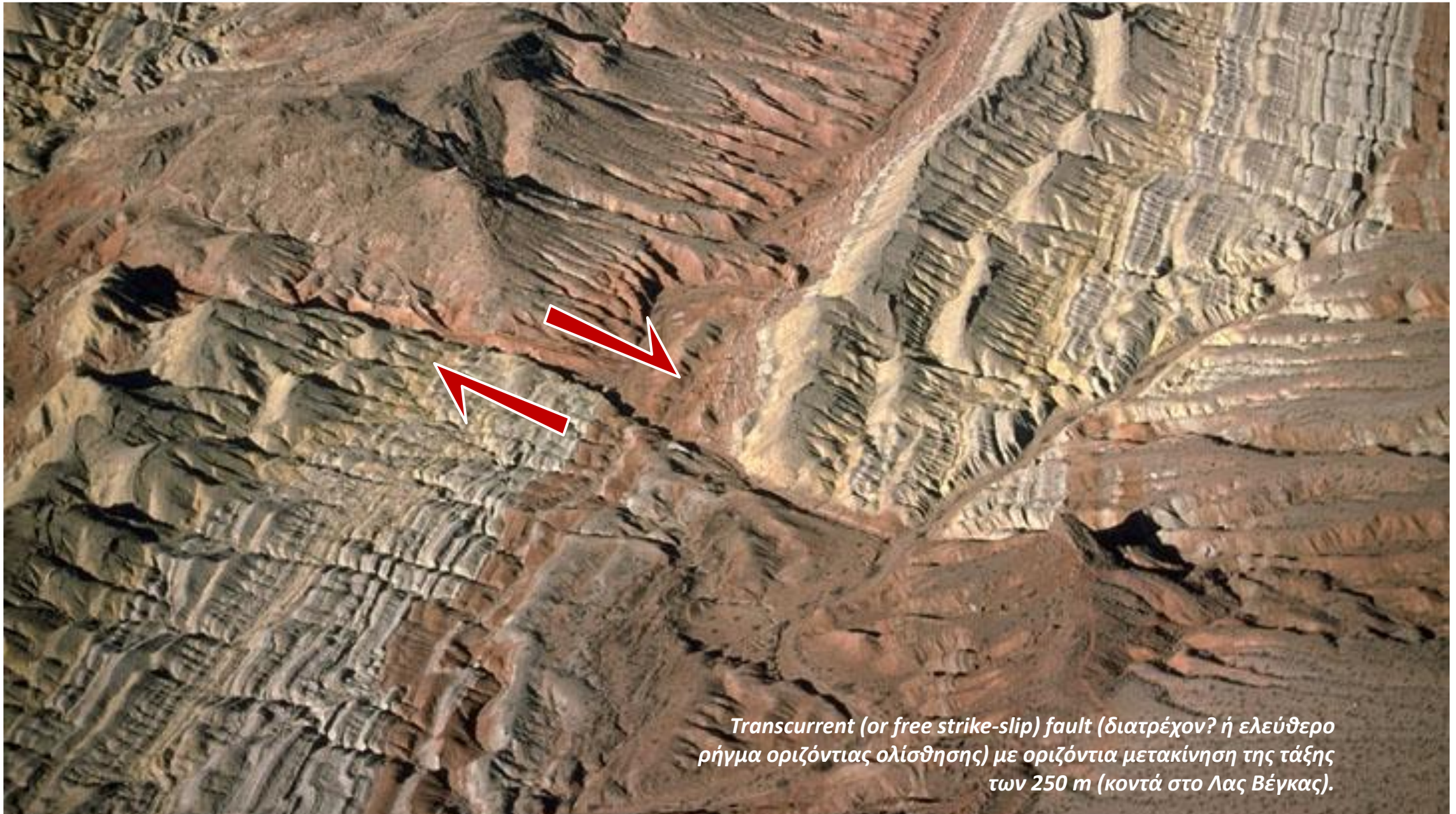
* Συχνά συνώνυμο του *strike-slip fault*.



Μεγάλου μήκους transcurrent faults διατρέχουν το φλοιό. Στο βάθος **τερματίζονται** σε **επωθητικά** ή **εκτατικά ρήγματα**, ή σε ζώνες **υποβύθισης (subduction zones)**, ή **διασχίζουν** ολόκληρο το **θραυσιγενές (brittle)** τμήμα του φλοιού και συνεχίζουν **βαθύτερα** ως κατακόρυφες **πλαστικού χαρακτήρα ζώνες διάτμησης (plastic shear zones)**.

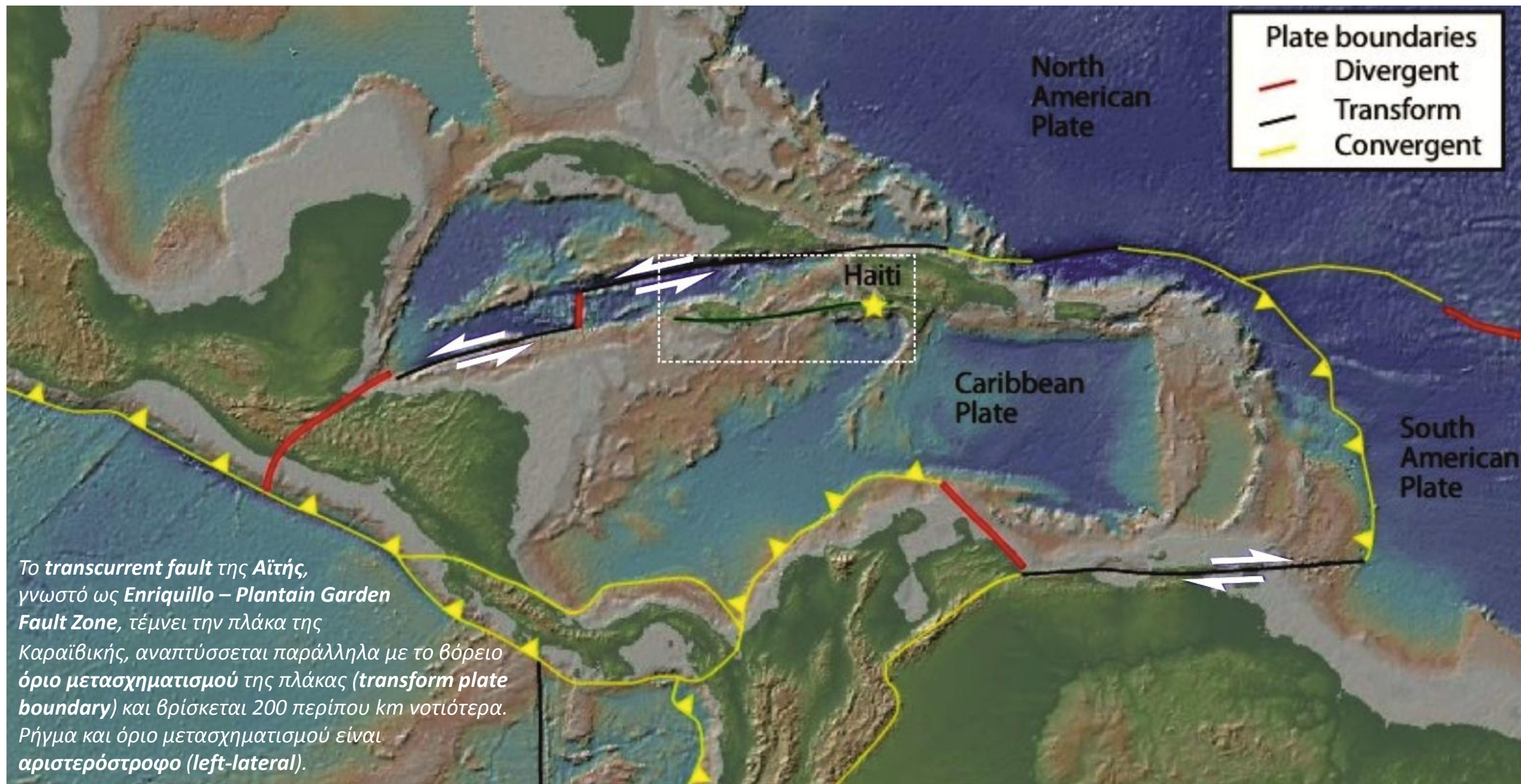
- Σχηματίζονται σε ηπειρωτικό φλοιό
- Έχουν **ελεύθερα όρια απόληξης (tip lines)**, δηλαδή **δεν περατώνονται (terminate)** σε άλλες δομές.
- Δημιουργούνται στο **εσωτερικό των πλακών** → **intraplate faults**.
- Κινηματικά διαφέρουν των **ρηγμάτων μετασχηματισμού (transform faults)** → **όρια πλακών** → **interplate faults**.
- Το **μήκος** του ρήγματος **αυξάνει** ανάλογα με τη μετατόπισή του.
- **Αλληλεπιδρούν (interact)** και **διασυνδέονται (link up)**.
- Οργανώνονται σε **ζώνες** → πλάτος <<< **ρήγματα έκτασης** στις ζώνες ηπειρωτικής **διάνοιξης** ή **ρήγματα βράχυνσης** στις ζώνες **πτυχών-επωθήσεων**.

ΤΥΠΟΙ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

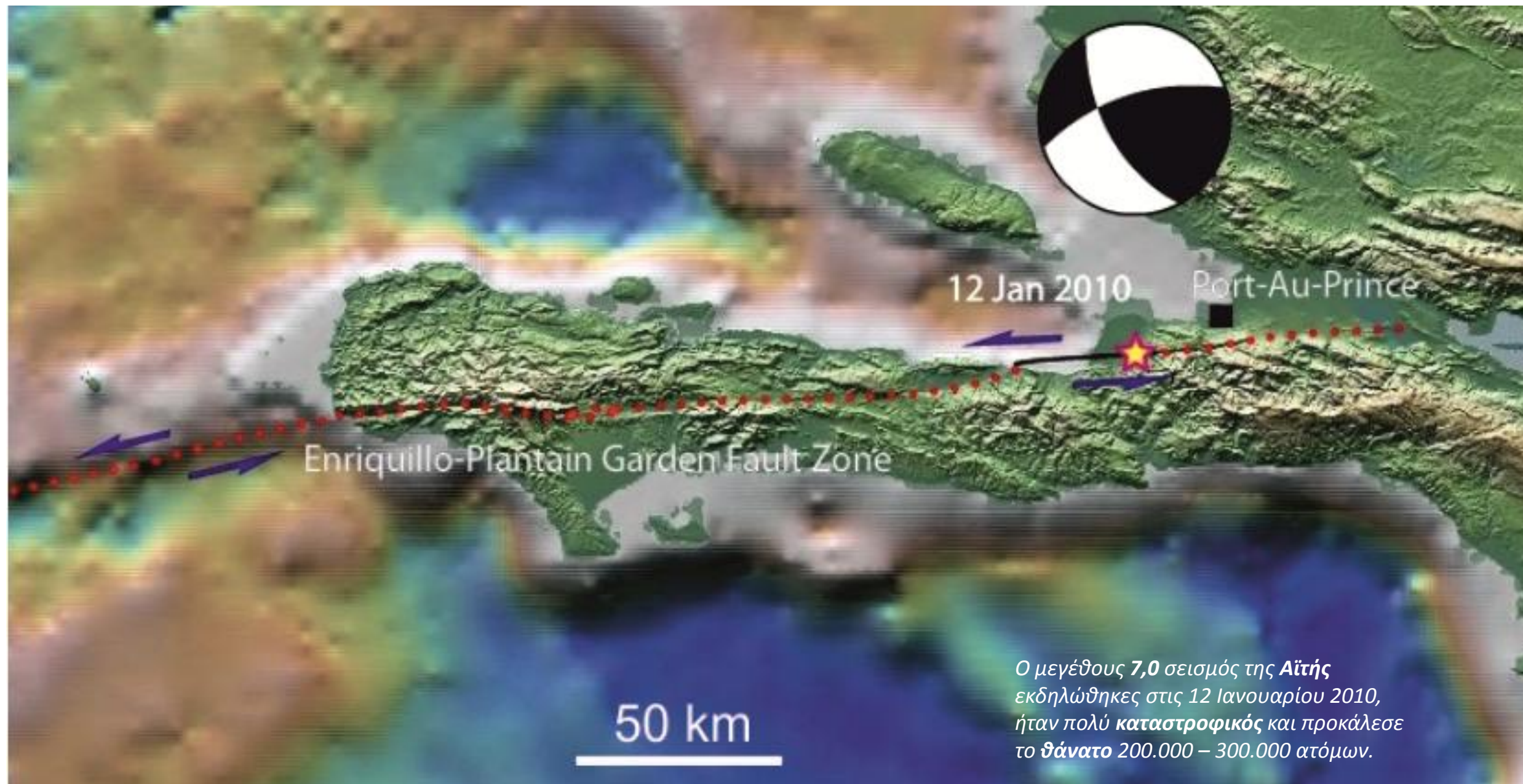


Transcurrent (or free strike-slip) fault (διατρέχον? ή ελεύθερο ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης) με οριζόντια μετακίνηση της τάξης των 250 m (κοντά στο Λας Βέγκας).

ΤΥΠΟΙ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

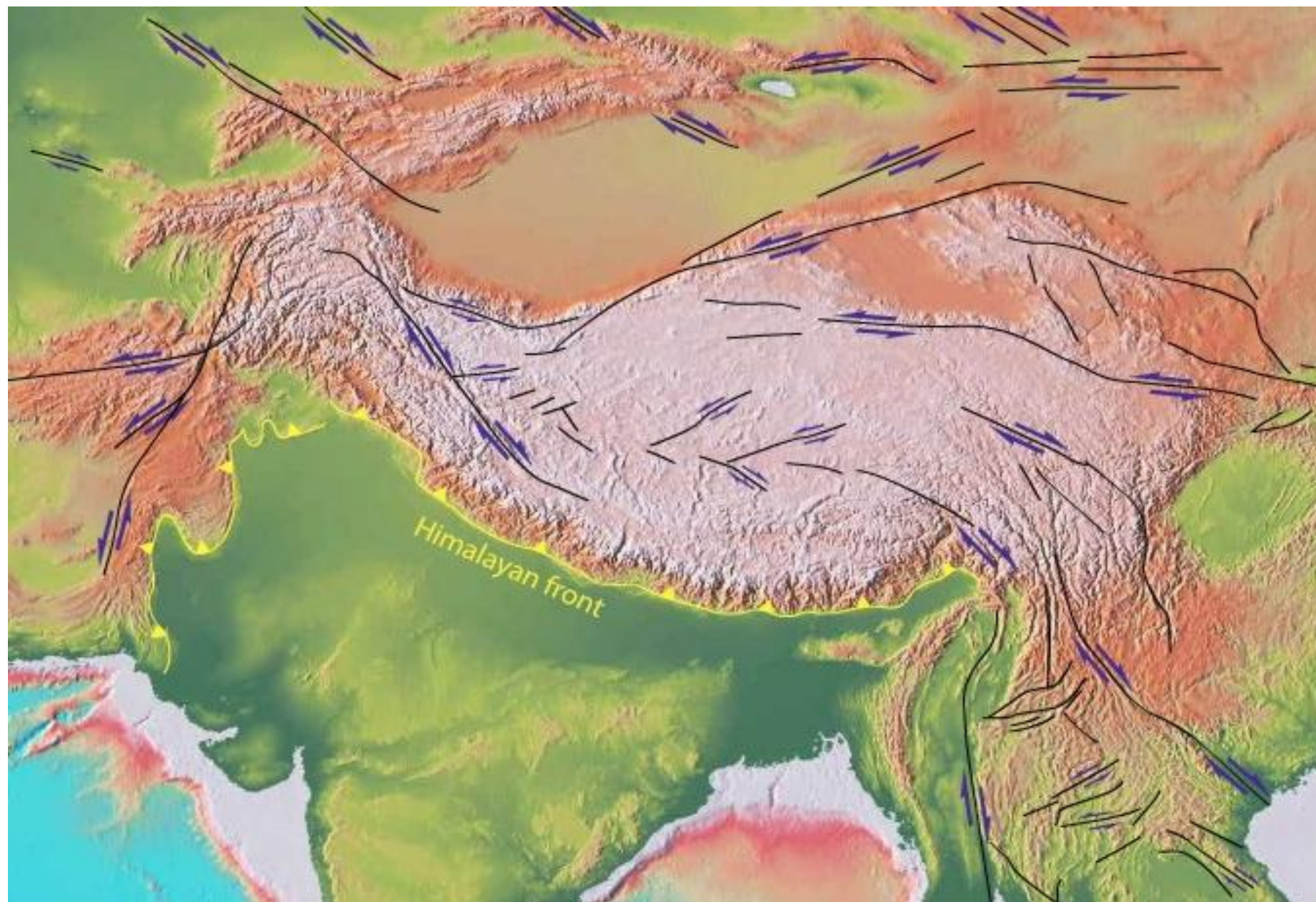


ΤΥΠΟΙ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ



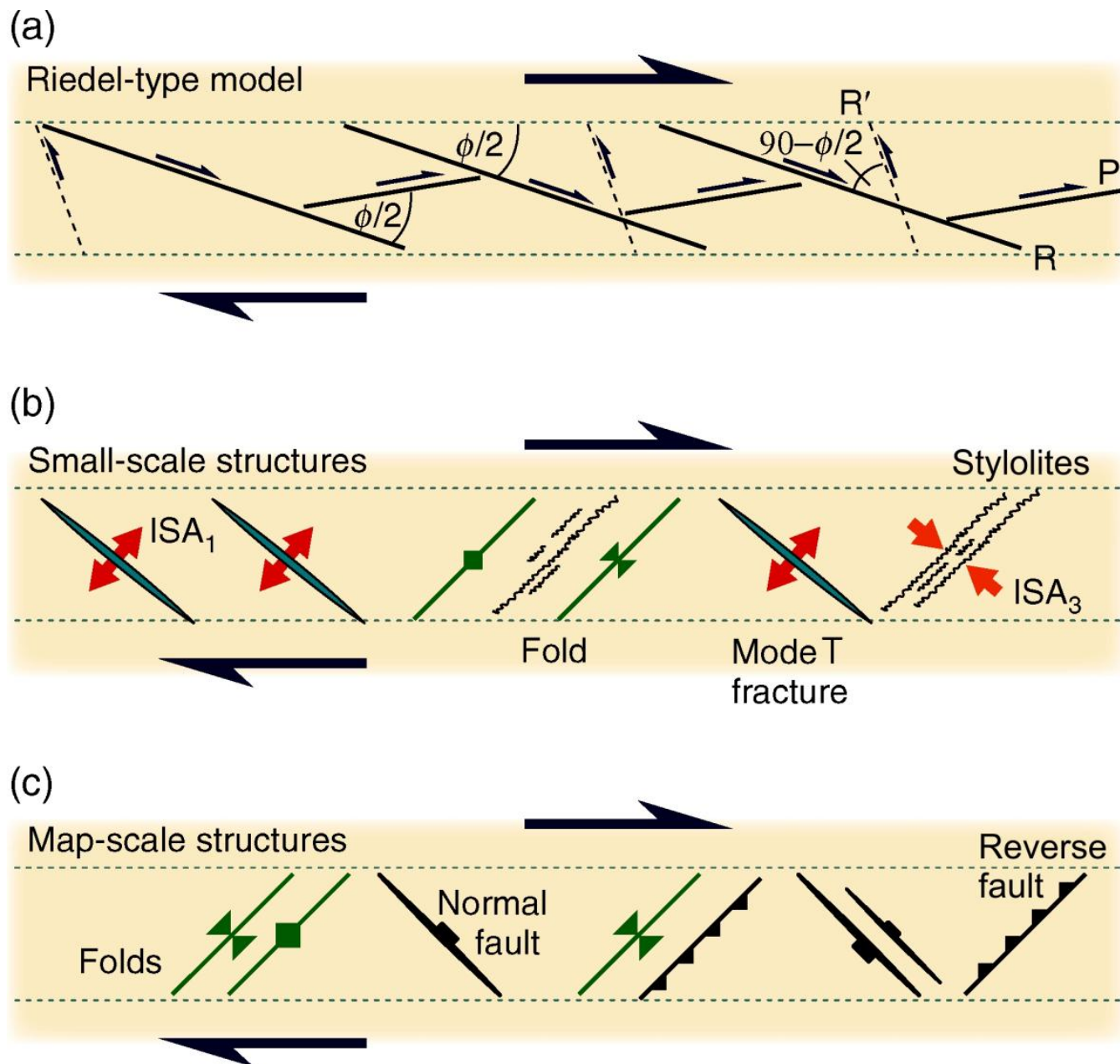
Ο μεγέθους **7,0** σεισμός της **Αϊτής** εκδηλώθηκε στις 12 Ιανουαρίου 2010, ήταν πολύ **καταστροφικός** και προκάλεσε το **θάνατο** 200.000 – 300.000 ατόμων.

ΤΥΠΟΙ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ



Transcurrent faults Θιβέτ
λόγω σύγκρουσης (*collision*)
της Ινδικής ηπείρου με την
Ασιατική πλάκα.

ΑΝΑΠΤΥΞΗ STRIKE-SLIP ΡΗΓΜΑΤΩΝ



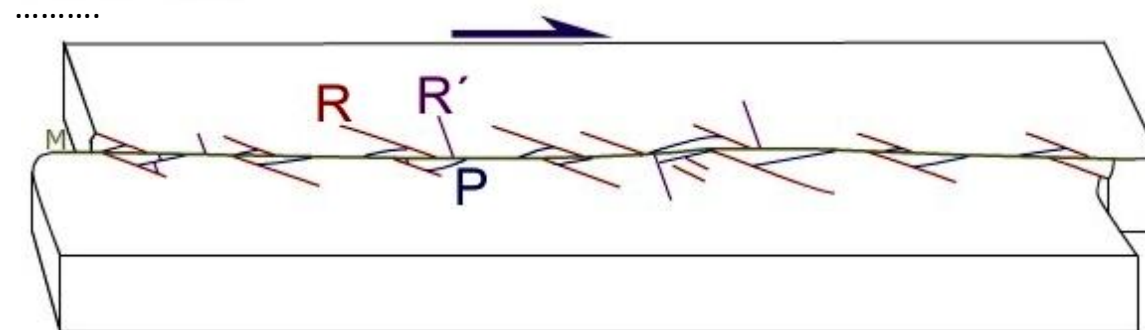
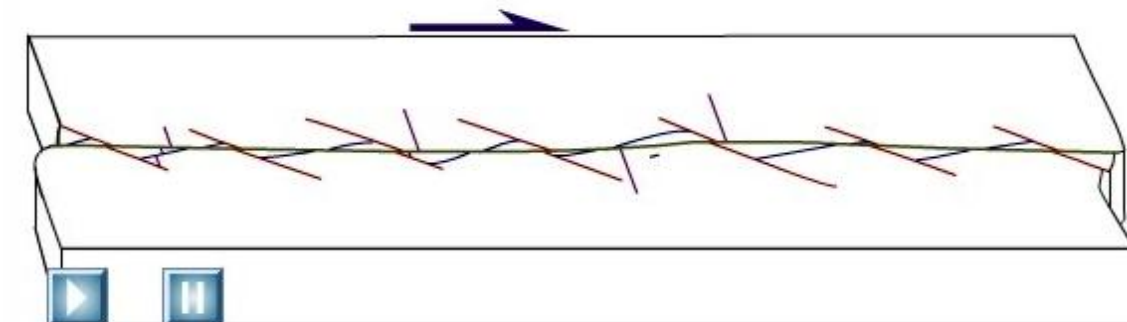
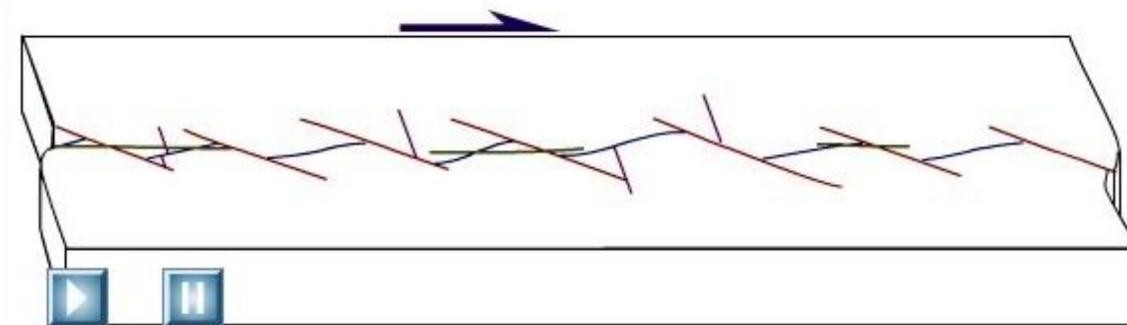
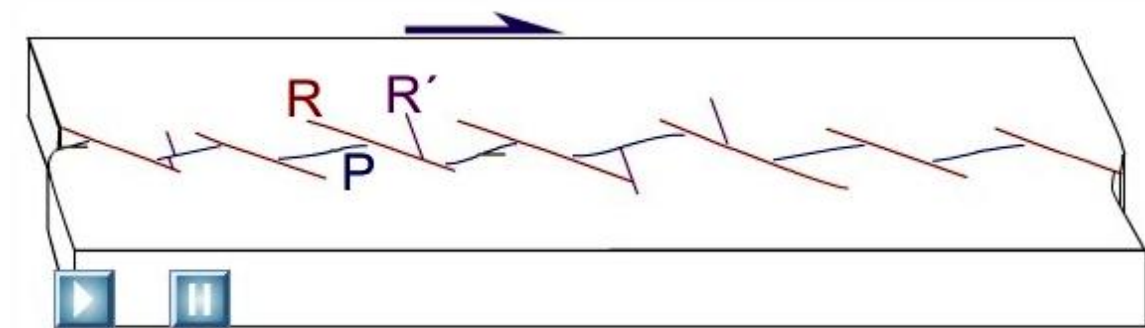
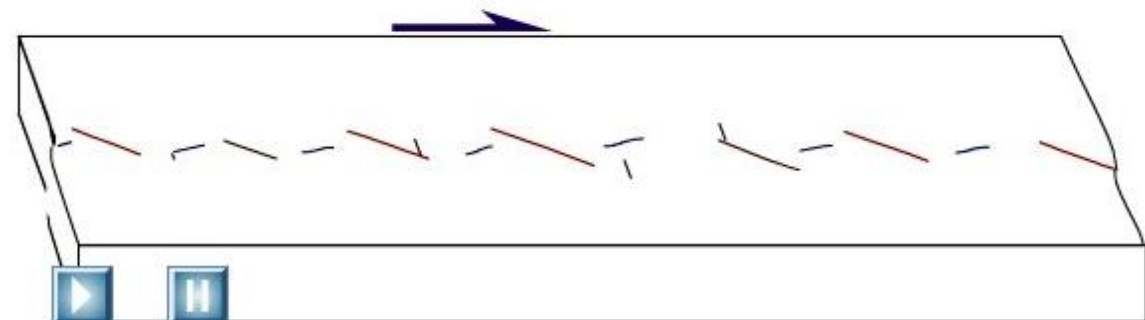
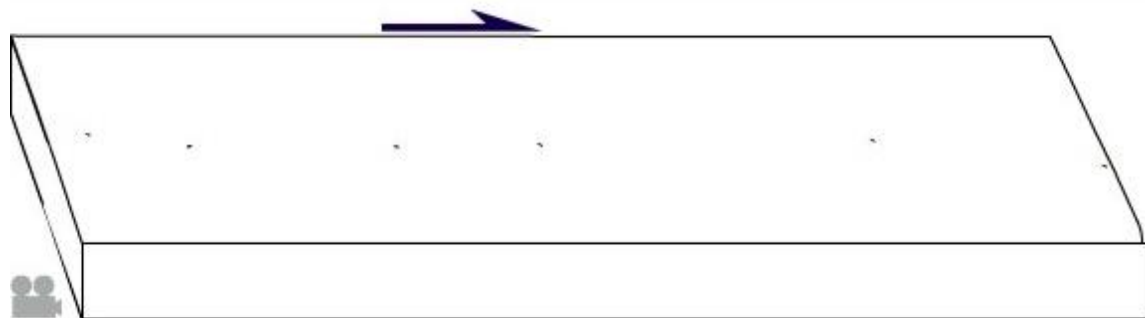
Ανάπτυξη μονών ρηγμάτων
(καθεστώσ απλής διάτμησης)

Ζώνες απλής διάτμησης → Riedel shears (πειράματα **Riedel** -αρχές περασμένου αιώνα) → **δεύτερης τάξης** δομές → ταξινομούνται ανάλογα με διεύθυνση και **φορά κίνησης (shear sense)**.

Αναπτύσσονται:

- τρία κύρια συστήματα **διατμητικών ρωγμών (shear fractures R, P και R' - Riedel's shears)**,
- **εκτατικές ρωγμές (extension fractures T)**,
- **κανονικά ρήγματα (normal faults)** → ίδιος προσανατολισμός με εκτατικές T-ρωγμές,
- **πτυχές** κυρίως στο **αρχικό στάδιο** (ανάλογα με κλίση στρωμάτων και κατανομή παραμόρφωσης),
- **στυλόλιθοι (stylolites)** και
- **ανάστροφα ρήγματα (reverse faults)** → προσανατολισμός ανάλογος με πτυχές.

ΑΝΑΠΤΥΞΗ STRIKE-SLIP ΡΗΓΜΑΤΩΝ

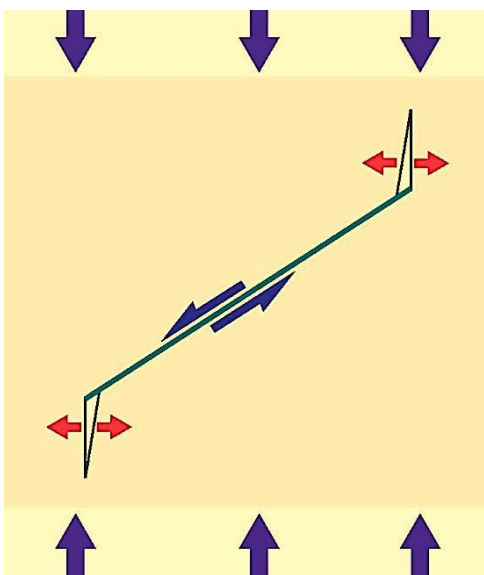


Η ανάπτυξη των δευτερευουσών αυτών διατμητικών και εκτατικών ρωγμών και η τελική **διασύνδεση** μεταξύ τους (**link up**), μπορεί να μας φανερώσει ένα τρόπο που τα ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης **δημιουργούνται, αναπτύσσονται και επεκτείνονται.**

ΑΝΑΠΤΥΞΗ STRIKE-SLIP ΡΗΓΜΑΤΩΝ



ΡΗΓΜΑΤΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ



- Διασύνδεση διαρρήξεων & ρωγμών
- Επαναδραστηριοποίηση διακλάσεων (+ επανασύνδεση διακλάσεων + 2 φάσεις)
- Μεγάλης κλίσης δομές (ζώνες με κατακόρυφη στρώση ή σχιστότητα, κοίτες κλπ.) με "ασθενή" μηχανικά χαρακτηριστικά.

ΠΩΣ ΣΧΗΜΑΤΙΖΟΝΤΑΙ ΤΑ ΡΗΓΜΑΤΑ
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ



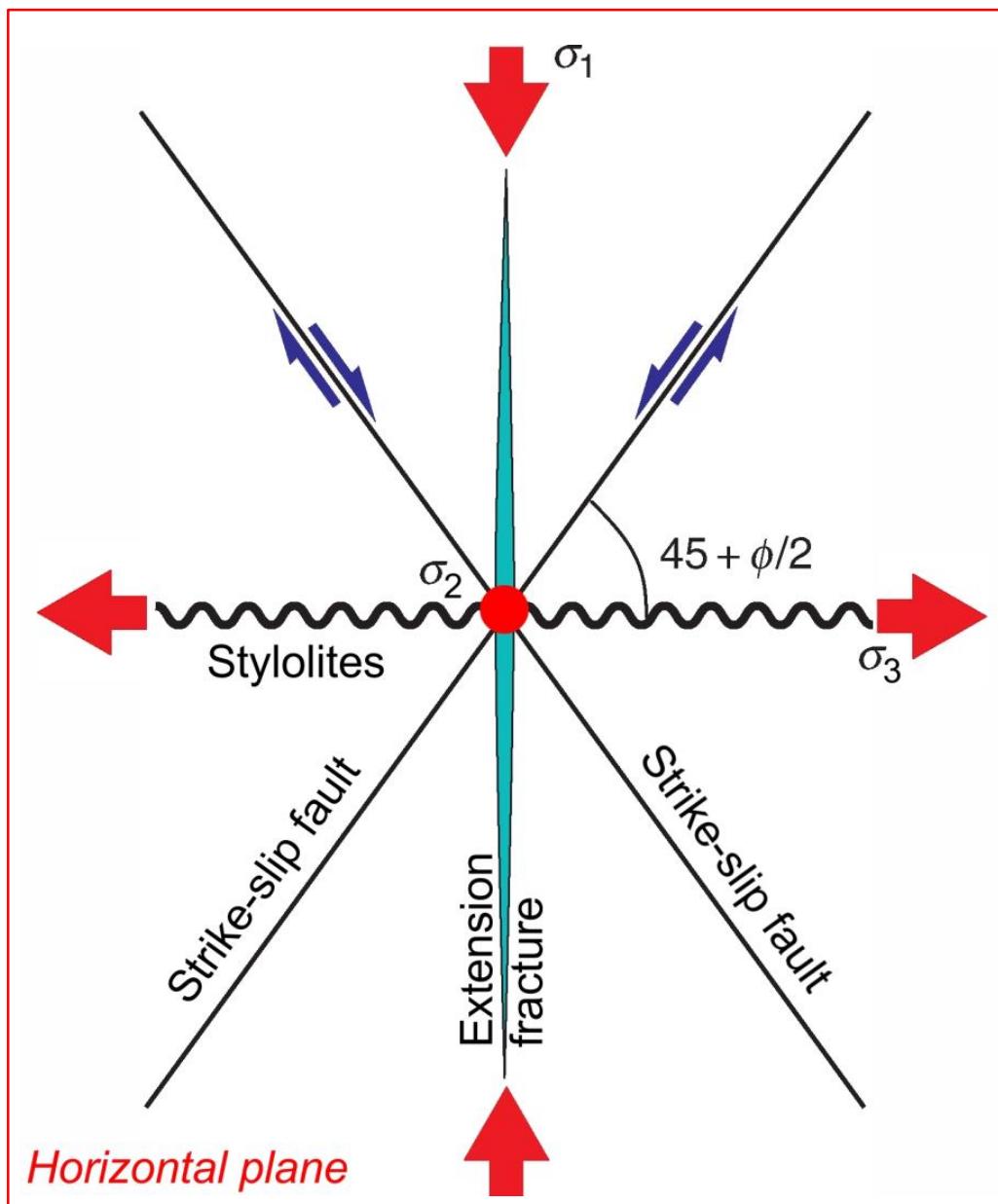
Offset stream channels at Wallace Creek

Pull-apart (releasing stepover)



San Andreas Fault on the Carrizo Plane. Offset stream channels agree with pull-apart basin and stepover geometry, indicating dextral offset. Image modified from Google Earth.

ΑΝΑΠΤΥΞΗ STRIKE-SLIP ΡΗΓΜΑΤΩΝ



Συζυγή οριζοντιολισθητικά ρήγματα
(καθεστώς καθαρής διάτμησης)

Συζυγή συστήματα (conjugate sets) → ρήγματα ενεργά ταυτόχρονα από ίδιο εντατικό πεδίο (stress field).

Συμβατά με κριτήριο Coulomb και θεωρία Anderson (σ_1 οριζόντιος, διχοτομεί την οξεία γωνία → γωνία εσωτερικής τριβής ϕ).

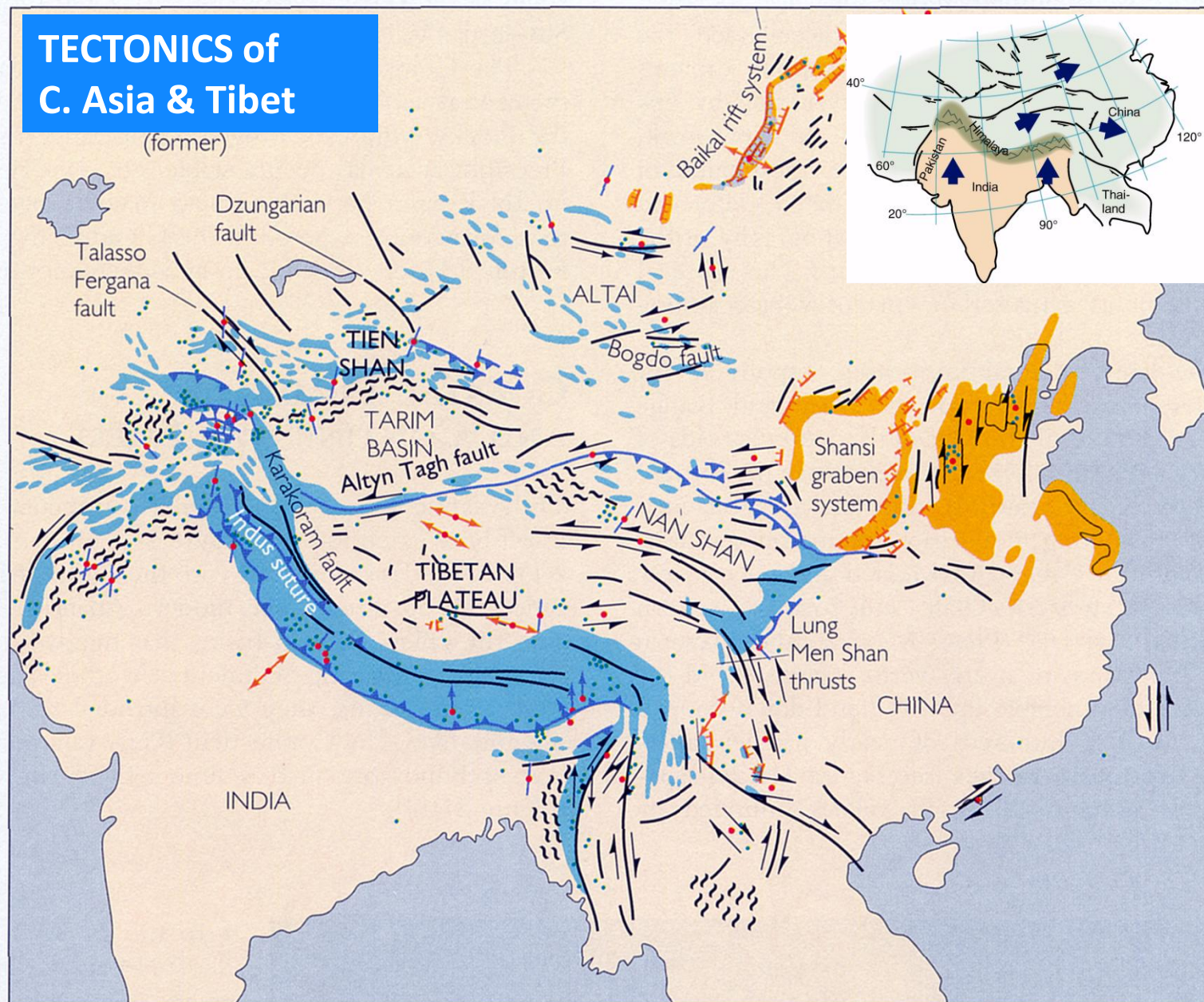
Εκτατικές ρωγμές (extension fractures) στη διεύθυνση έκτασης (extension) και στυλολίθοι (stylolites), στη διεύθυνση βράχυνσης (contraction).

Κινηματικά καθαρή διάτμηση (pure shear) στο οριζόντιο επίπεδο.

Η βράχυνση (shortening) στη μια διεύθυνση εξισορροπείται από έκταση (extension) στην εγκάρσια διεύθυνση.

Στον κατακόρυφο άξονα ούτε βράχυνση ούτε έκταση.

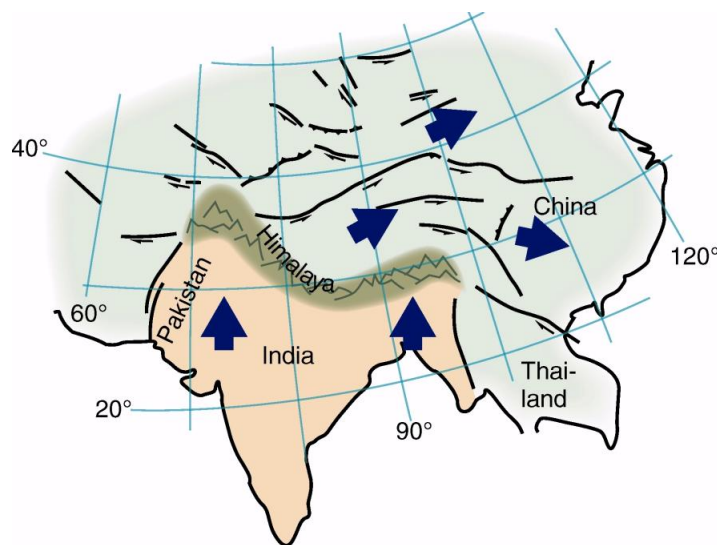
ΑΝΑΠΤΥΞΗ STRIKE-SLIP ΡΗΓΜΑΤΩΝ



Ένα ποσοστό της κίνησης, που χαρακτηρίζει τη βράχυνση του χώρου, **εκτονώνεται μέσω συζυγών ρηγμάτων → πλευρική εξώθηση (lateral extrusion) τεμαχών του (θερμασμένου) φλοιού → βράχυνση (shortening) εγκάρσια στη ζώνη σύγκρουσης (collision zone).**

Η περιοχή βόρεια από τη ζώνη σύγκρουσης των Ιμαλαΐων χαρακτηρίζεται από **πιο ασθενή μηχανικά χαρακτηριστικά** σε σχέση με την **άκαμπτη** Ινδική πλάκα.

ΑΝΑΠΤΥΞΗ STRIKE-SLIP ΡΗΓΜΑΤΩΝ



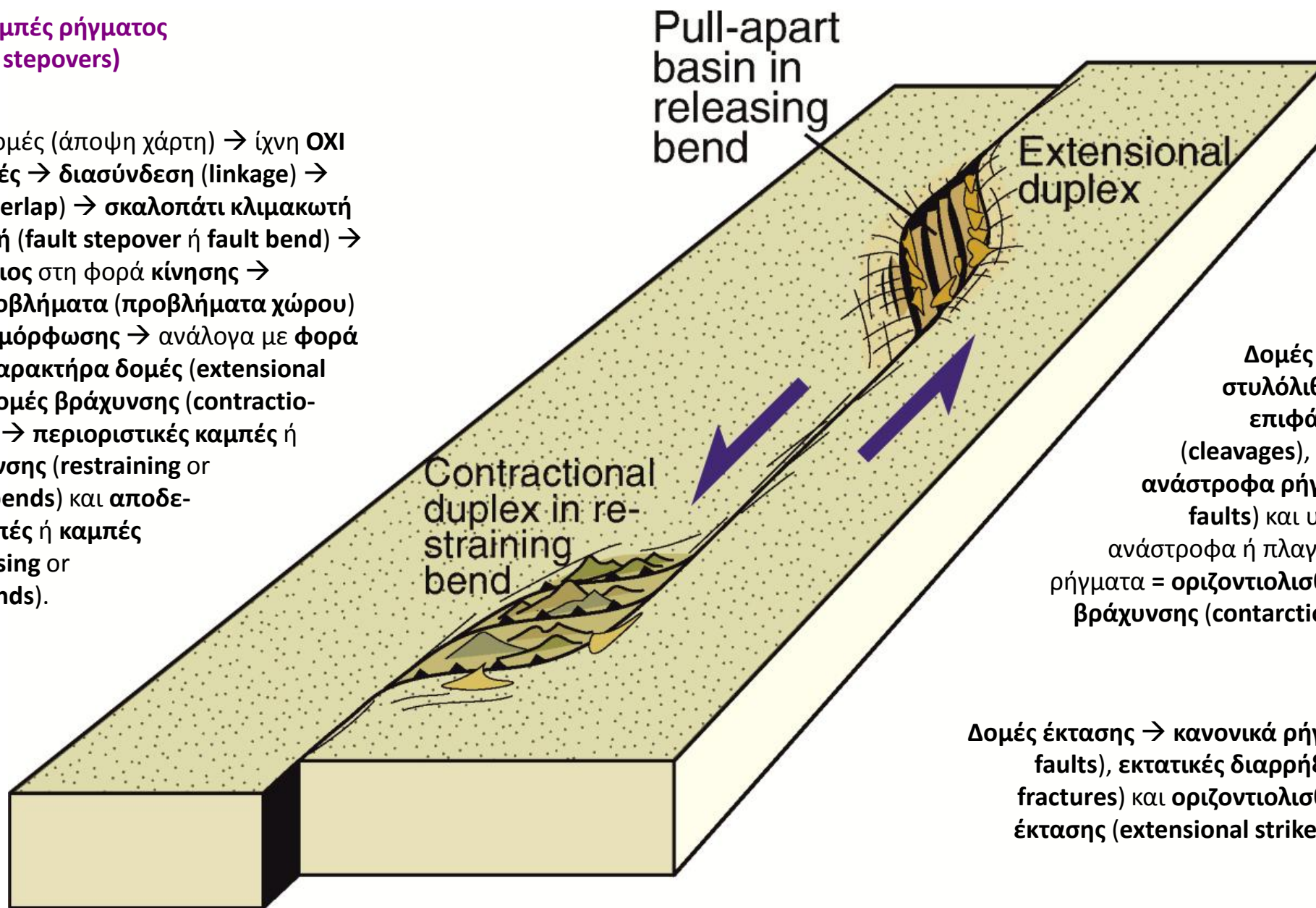
Οι *Tarponnier et al.* (1986) προσομοίωσαν με μεγάλη επιτυχία την κινηματική της ευρύτερης περιοχής βόρεια των Ιμαλαΐων, με ένα **διάσημο πείραμα** όπου ένα άκαμπτο έμβολο (η άκαμπτη Ινδική πλάκα) συγκρούεται με ένα σώμα από πλαστελίνη (η μικρότερης αντοχής Ευρασιατική πλάκα). Η **ομοιότητα** της γεωμετρίας των συζυγών strike-slip ρηγμάτων και η πλευρική διαφυγή των ρηξιτεμαχών είναι **εκπληκτική**.



ΑΝΑΠΤΥΞΗ STRIKE-SLIP ΡΗΓΜΑΤΩΝ

Κλιμακωτές καμπές ρήγματος (fault bends or stepovers)

Σε οριζόντιες τομές (άποψη χάρτη) → ίχνη **ΟΧΙ**
ευθείες γραμμές → διασύνδεση (linkage) →
επικάλυψη (overlap) → σκαλοπάτι κλιμακωτή
κάμψη ή καμπή (fault stepover ή fault bend) →
άξονας εγκάρσιος στη φορά κίνησης →
κινηματικά προβλήματα (προβλήματα χώρου)
→ ζώνες παραμόρφωσης → ανάλογα με φορά
→ εκτατικού χαρακτήρα δομές (extensional
structures) ή δομές βράχυνσης (contractio-
nal structures) → περιοριστικές καμπές ή
καμπές βράχυνσης (restraining or
contractional bends) και αποδε-
σμευτικές καμπές ή καμπές
έκτασης (releasing or
extentional bends).



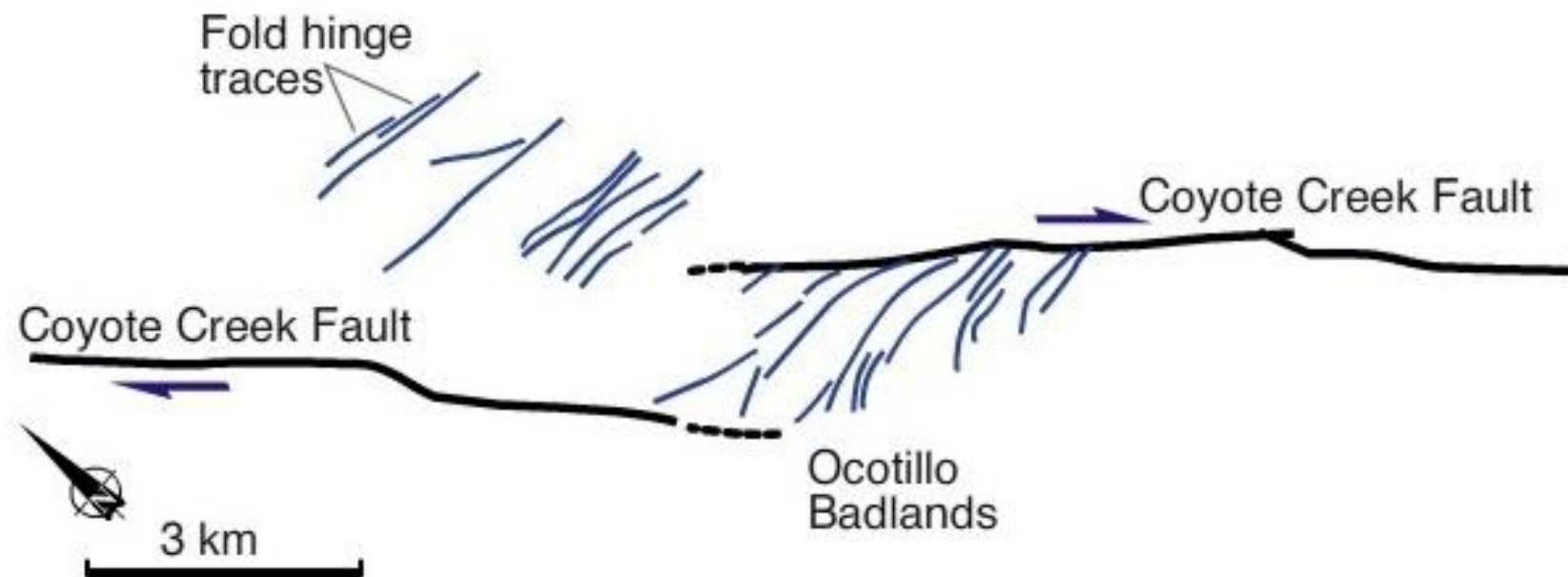
Δομές βράχυνσης →
στυλόλιθοι (stylolites),
επιφάνειες σχισμού
(cleavages), πτυχές (folds),
ανάστροφα ρήγματα (reverse
faults) και υποπαράλληλα
ανάστροφα ή πλαγιο-ανάστροφα
ρήγματα = οριζοντιολισθητικά δίδυμα
βράχυνσης (contractional strike-slip
duplexes).

Δομές έκτασης → κανονικά ρήγματα (normal
faults), εκτατικές διαρρήξεις (extension
fractures) και οριζοντιολισθητικά δίδυμα
έκτασης (extensional strike-slip duplexes).

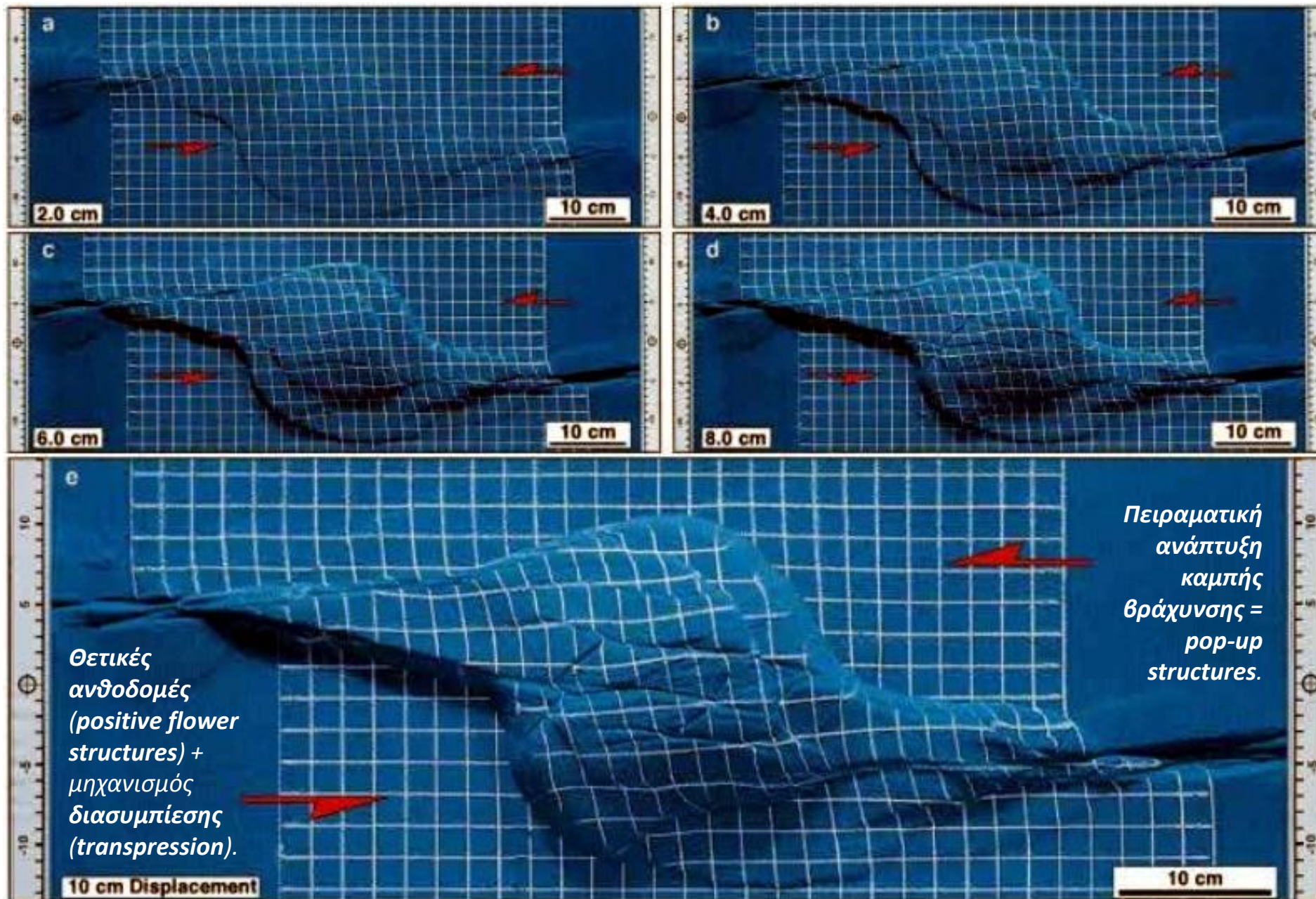
ΑΝΑΠΤΥΞΗ STRIKE-SLIP ΡΗΓΜΑΤΩΝ

Μεγάλης κλίμακας καμπές βράχυνσης
θετικό ανάγλυφο παραμόρφωση με πτυχές
και ανάστροφα ρήγματα μικρής κλίμακας
οροσειρές (small mountain ranges).

Τμήμα της ρηξιγενούς ζώνης του Αγ. Ανδρέα
(Νότια Καλιφόρνια, κοντά στο *Palmdale*).



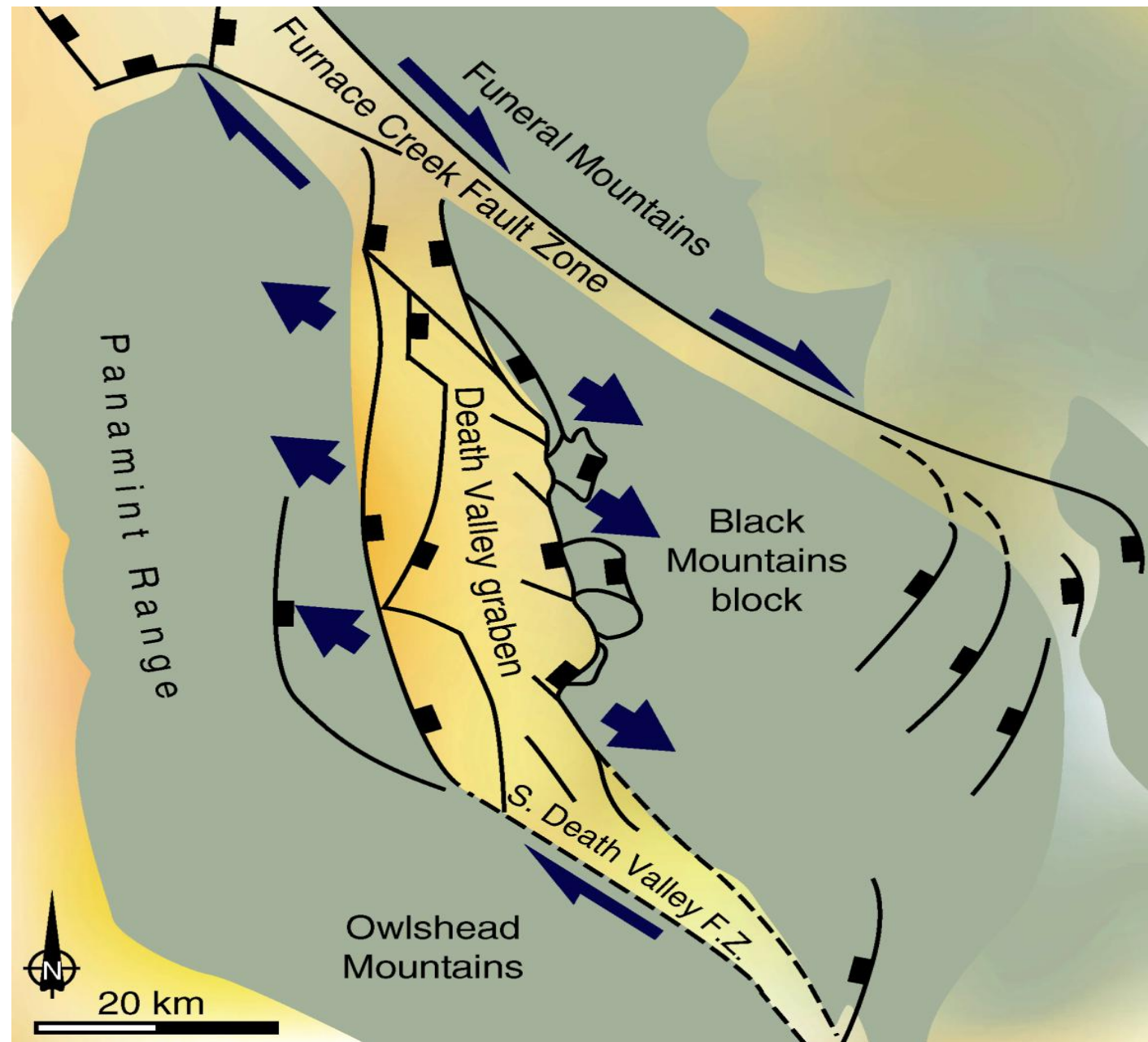
ΑΝΑΠΤΥΞΗ STRIKE-SLIP ΡΗΓΜΑΤΩΝ



ΑΝΑΠΤΥΞΗ STRIKE-SLIP ΡΗΓΜΑΤΩΝ

Καμπές έκτασης →
αρνητικό ανάγλυφο →
παραμόρφωση με
κανονικά ρήγματα →
τεκτονικές τάφροι
(graben) → λεκάνες
πλάγιας απομάκρυνσης
(pull-apart basins).

Αρνητικές ανθοδομές
(*negative flower structures*) + μηχανισμός
διεφελκυσμού
(*transtension*).



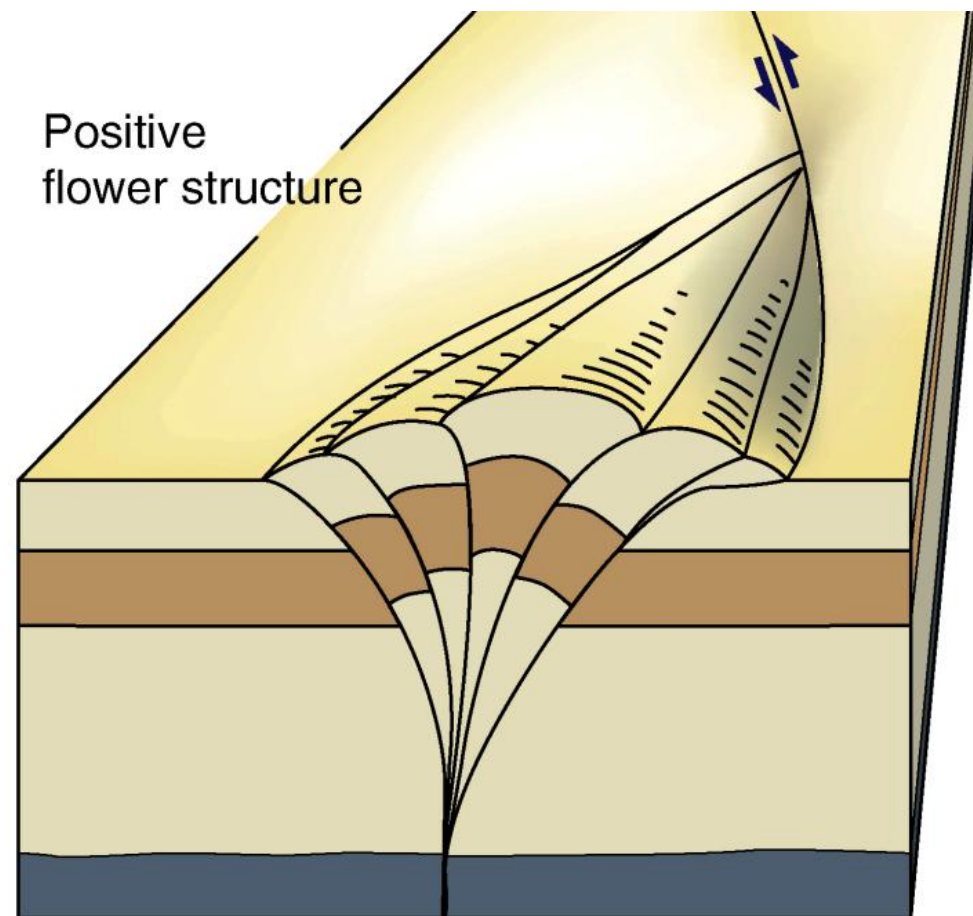
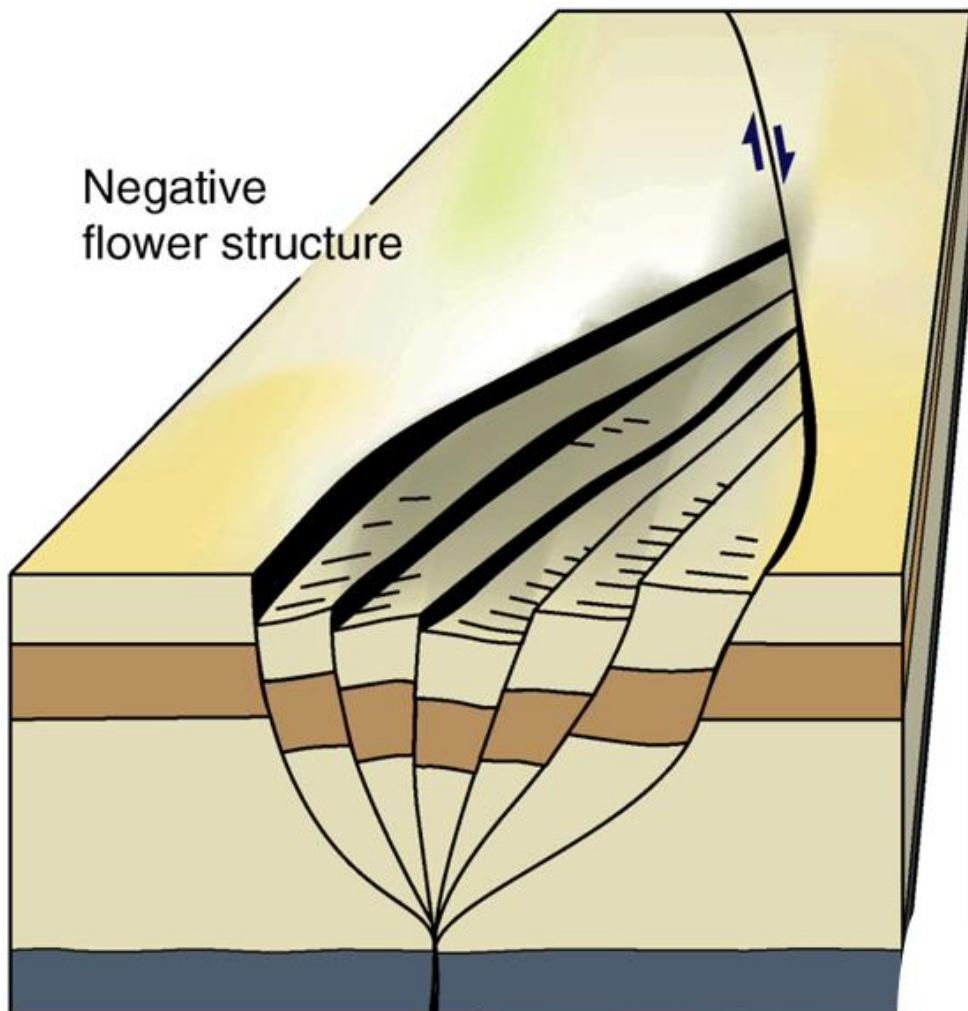
Η **Death Valley** αποτελεί την τυπική περιοχή που πρωτοπεριγράφησαν από τους **Barchfiel & Stewart** το 1966.

ΑΝΑΠΤΥΞΗ STRIKE-SLIP ΡΗΓΜΑΤΩΝ

Ανθοδομές (flower structures)

Στις καμπές βράχυνσης (restraining or contractional bends)
και καμπές έκτασης (releasing or extentional bends):

- + κατακόρυφη συνιστώσα κίνησης,
- πλαγιο-κανονικά ή πλαγιο-ανάστροφα ρήγματα,
- μηχανισμός παραμόρφωσης διασυμπίεση (transpression) και διεφελκυσμός (transtension) αντίστοιχα,
- τάση της κύριας επιφάνειας της strike-slip ρηξιγενούς ζώνης να διχάζεται (διακλαδίζεται),
- αλλαγή μηχανικών χαρακτηριστικών,
- αύξηση πλάτους ρηξιγενούς ζώνης προς τα πάνω,
- ΑΝΘΟΔΟΜΕΣ



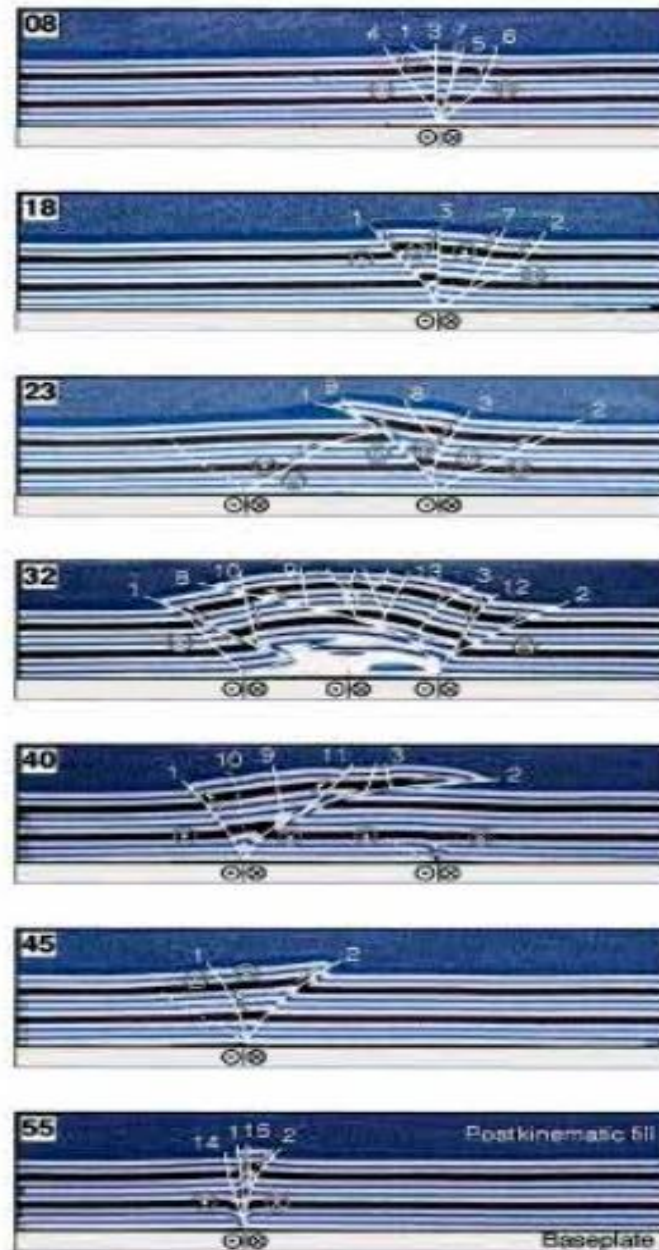
Τύποι ανθοδομών (flower structure):

- Καμπές βράχυνσης → θετικό ανάγλυφο → θετική ανθοδομή ή δομή φοίνικα (positive flower structure or palm structure).
- Καμπές έκτασης → βυθίσματα → αρνητική ανθοδομή ή δομή τουλίπας (negative flower structure or tulip structure).

ΑΝΑΠΤΥΞΗ STRIKE-SLIP ΡΗΓΜΑΤΩΝ

Πειραματική ανάπτυξη περιοριστικών καμπών ή καμπών βράχυνσης (*restraining or contractional bends*) με θετικό ανάγλυφο (βλπ. Διαφ. 162) και χαρακτηριστικές τομές όπου φαίνεται η ανάπτυξη **θετικών ανθοδομών** (*positive flower structures*) ή **δομών φοίνικα** (*palm structures*).

Ο τύπος της παραμόρφωσης που αναπτύσσεται σε **τοπικό επίπεδο** αποκαλείται **διασυμπίεση** (*transpression*).



Prekinematic layers

5 cm

Sections

08

18

23

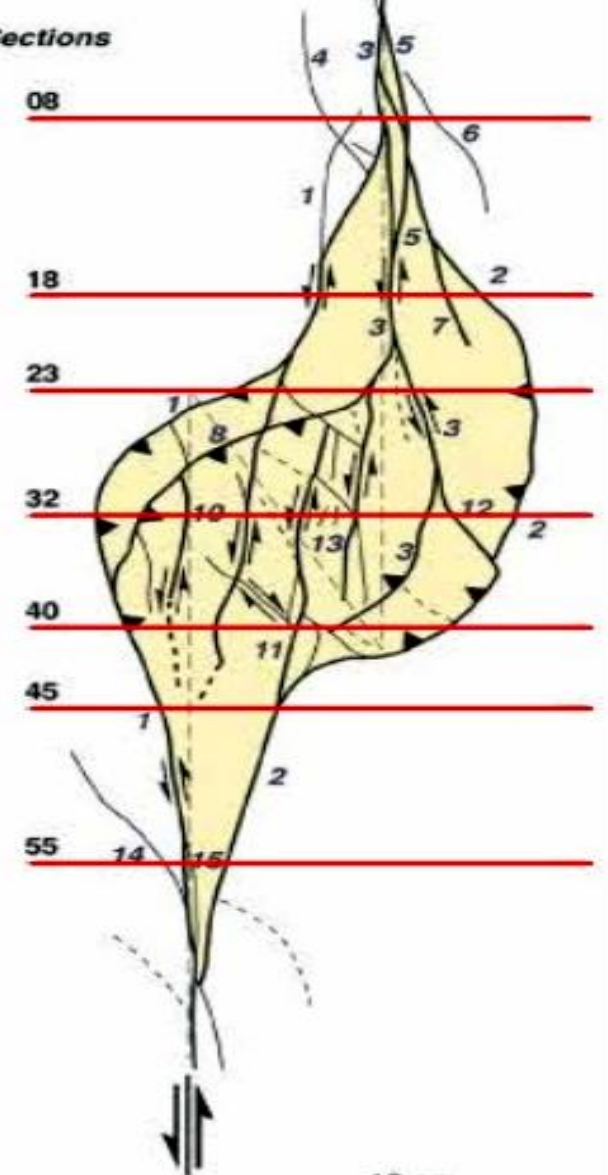
32

40

45

55

14 15



10 cm

ΔΙΑΣΥΜΠΤΙΕΣΗ & ΔΙΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ

Ορισμοί

Καμπές (bends) → σε τοπικό επίπεδο συμπιεστικού ή εφελκυστικού χαρακτήρα συνιστώσες κίνησης → τύπος παραμόρφωσης **διασυμπίεση (transpression)** και **διεφελκυσμός (transtension)**.

Όταν ο μηχανισμός κυριαρχεί σε ολόκληρο το μήκος της ρηξιγενούς ζώνης → απόκλιση από την απλή διάτμηση (simple shear) → + συνιστώσα βράχυνσης (shortening) ή έκτασης (extension), κάθετη στην επιφάνεια του ρήγματος → άρα συνδυασμός **οριζόντιας ολίσθησης** (μη ομοαξονική παραμόρφωση) και **ομοαξονικής παραμόρφωσης (coaxial strain)** που προϋποθέτει **βράχυνση (shortening)** ή **έκταση (extension)** κάθετα στη ζώνη του ρήγματος.

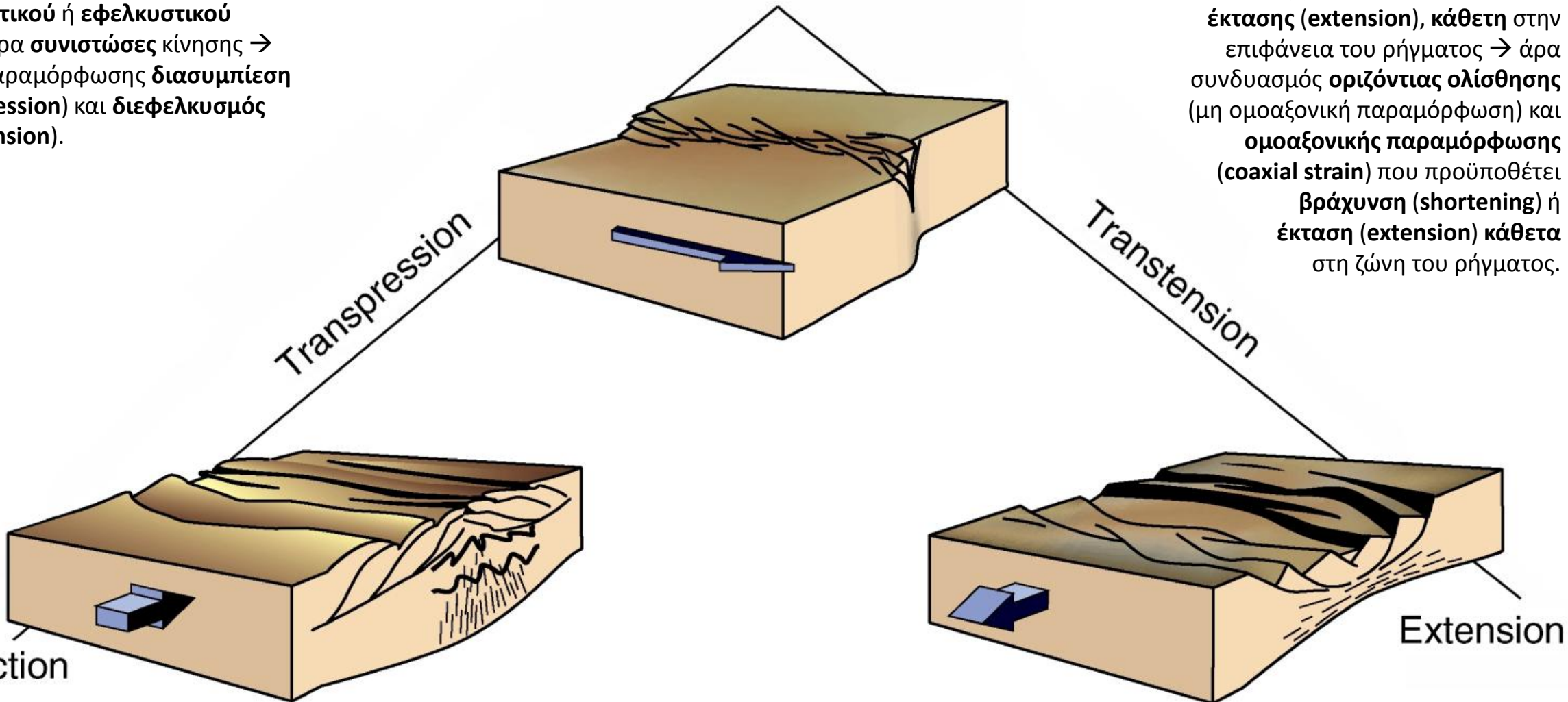
Strike-slip
(Simple shear)

Transpression

Transtension

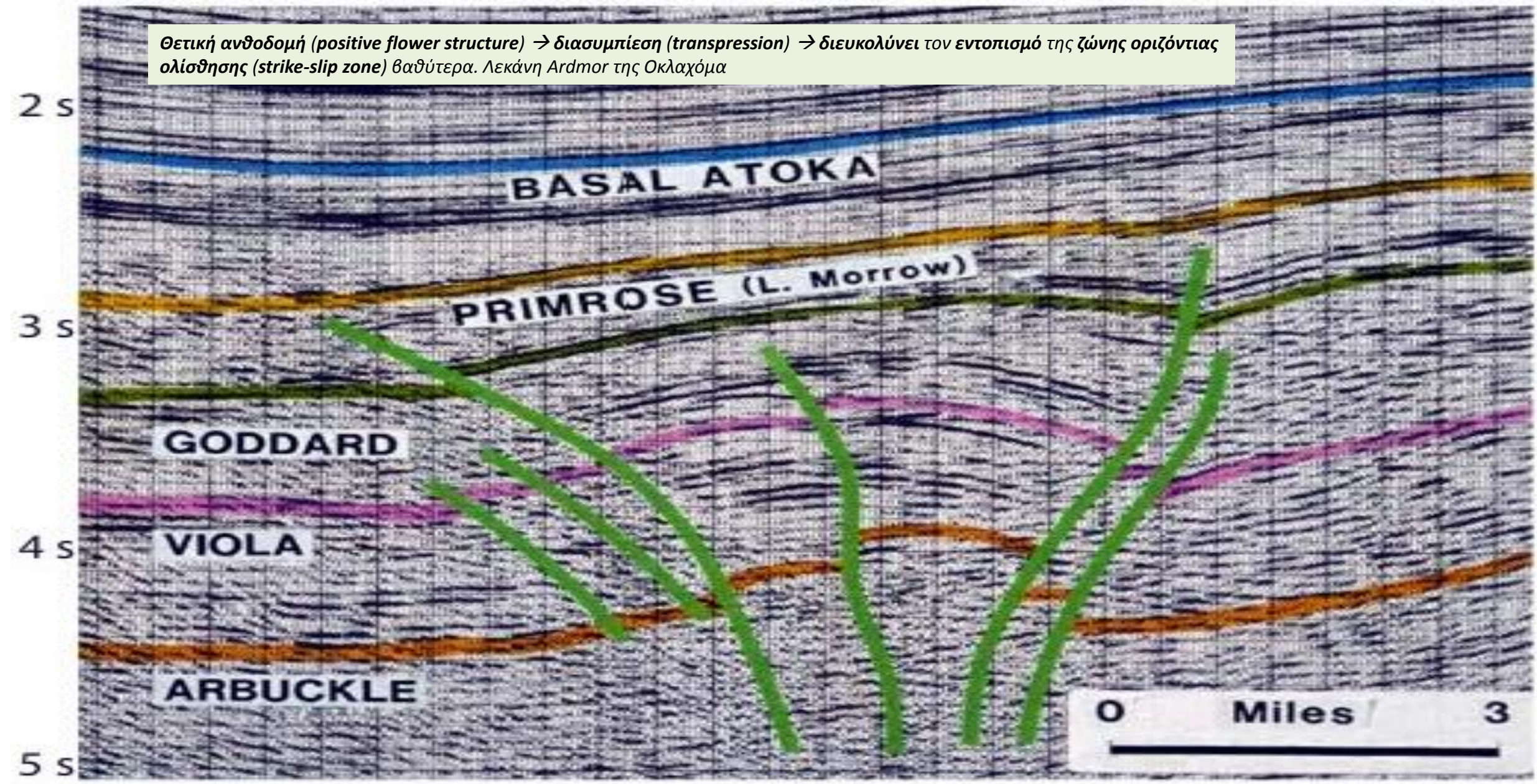
Extension

Contraction

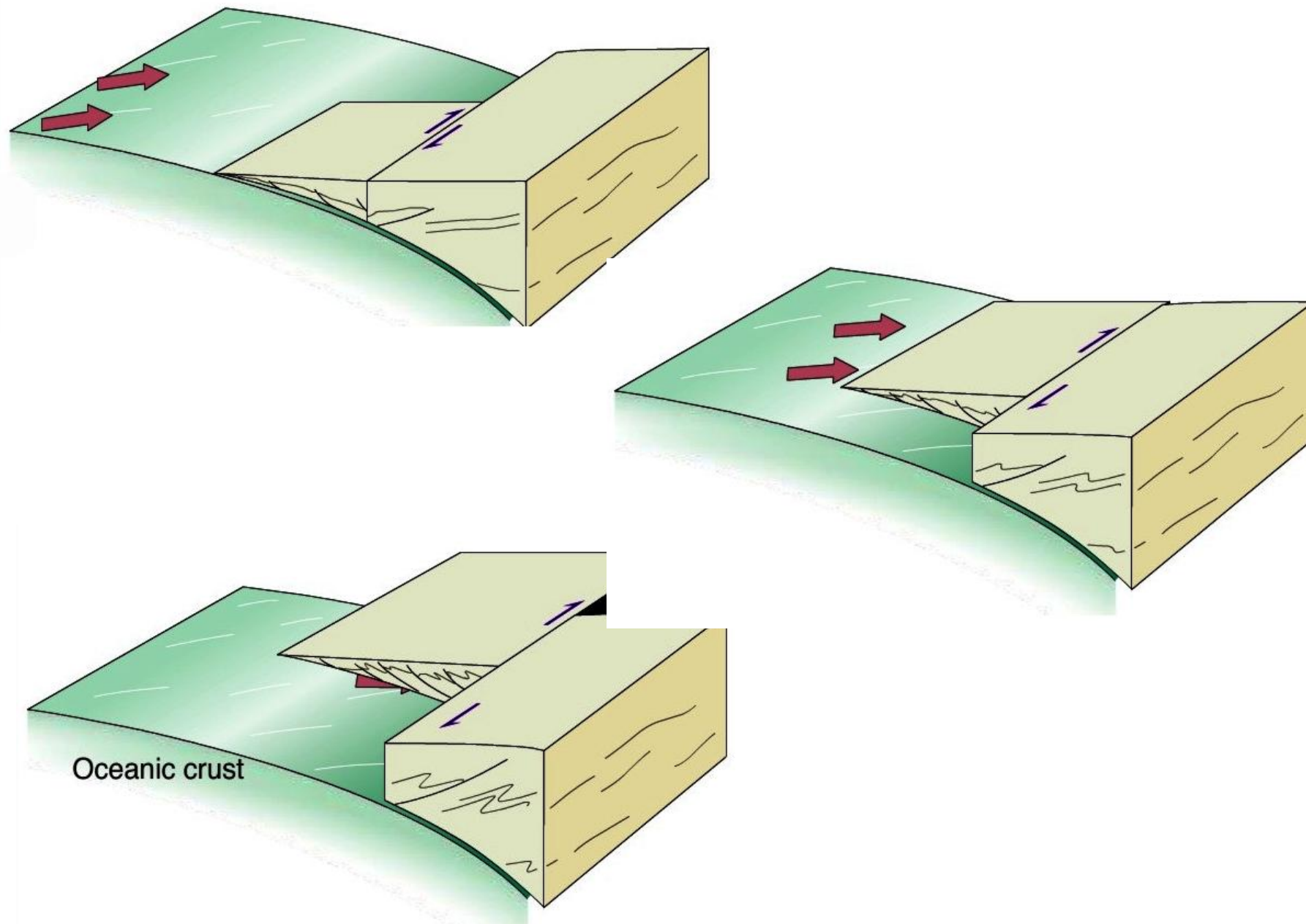


ΔΙΑΣΥΜΠΙΕΣΗ & ΔΙΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ

Θετική ανθοδομή (positive flower structure) → διασυμπίεση (transpression) → διευκολύνει τον εντοπισμό της ζώνης οριζόντιας ολίσθησης (strike-slip zone) βαθύτερα. Λεκάνη Ardmore της Οκλαχόμα



ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ



Καταμερισμός παραμόρφωσης (strain partitioning) στις ζώνες σύγκρουσης (collision zones) → συνιστώσα οριζόντιας κίνησης (ρήγμα, ή ρήγματα, οριζόντιας ολίσθησης) + συνιστώσα εγκάρσια βράχυνσης (πτυχές, ανάστροφα ρήγματα, επωθήσεις).

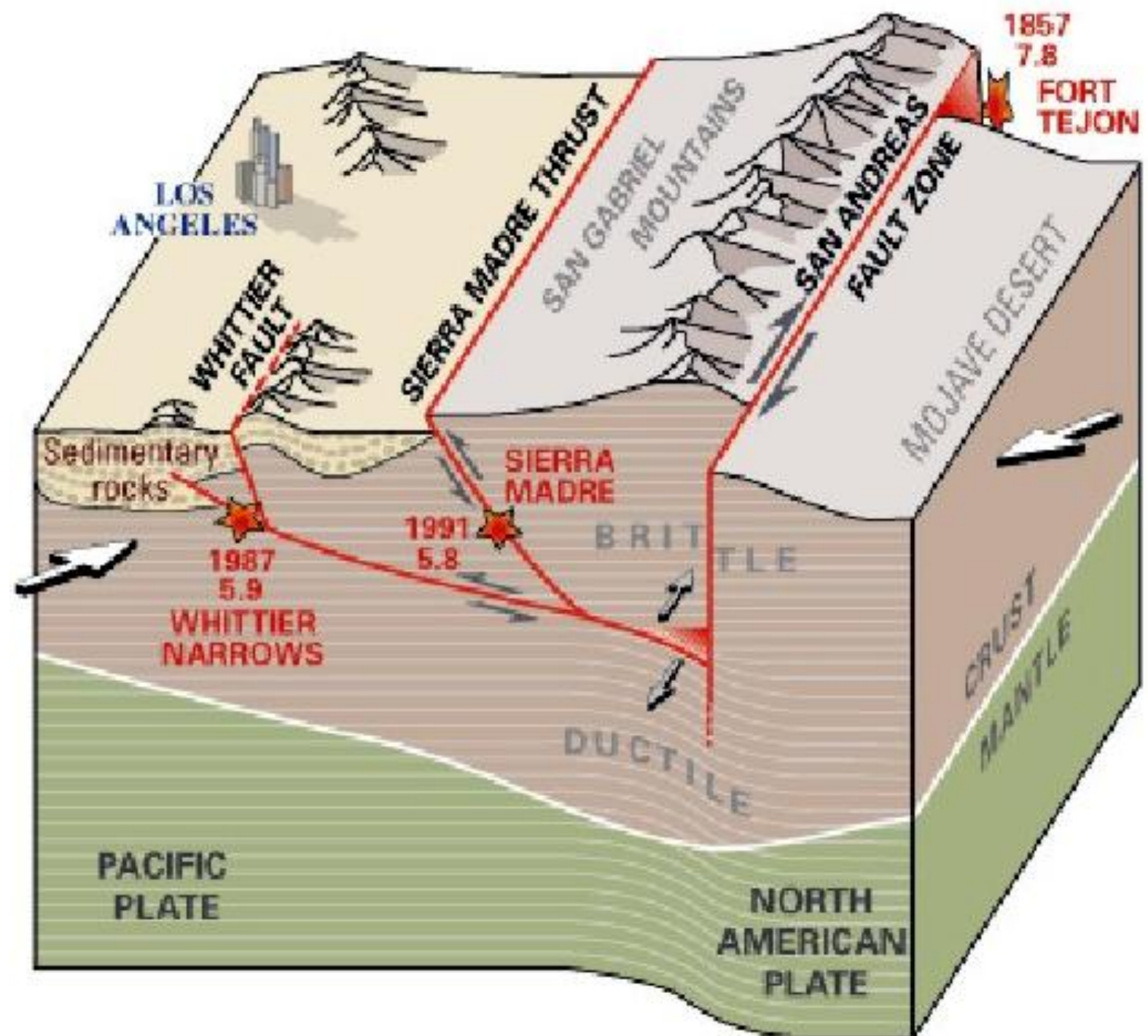
Αυτό συμβαίνει συχνά κατά μήκος των αναλίσκόμενων ορίων των πλακών (consuming plate boundaries), όπου η παραμόρφωση (strain) καταμερίζεται στο εσωτερικό των **πρισμάτων συσσώρευσης (accretionary wedges)**.

Σε γενικές γραμμές η απλής διάτμησης (simple shear) οριζόντια συνιστώσα τείνει να εντοπίζεται σε **ρήγματα**, ενώ η εγκάρσια καθαής διάτμησης (pure shear) συνιστώσα κατανέμεται **ανάμεσα ή γύρω από τα ρήγματα**. Αυτό σημαίνει ότι από άποψη παραμόρφωσης (strain), στα πεδία (domain) που αναπτύσσονται **ανάμεσα στα ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης** (παραμόρφωση simple shear) **κυριαρχεί η καθαρή διάτμηση** (pure shear).

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Το **βάθος** και η **γεωμετρία** του ρήγματος του Αγίου Ανδρέα δεν είναι απολύτως ξεκαθαρισμένα, πιστεύεται, όμως, ότι **συνδέεται** με **ανάστροφα ρήγματα** (*reverse faults*) και **επωθήσεις** (*thrusts*) με κίνηση προς τα δυτικά και **όλκιμη/πλαστική παραμόρφωση** (*ductile/plastic deformation*) στα βαθύτερα τμήματά της, που εκτείνονται μέχρι το **μανδύα**.

Η εικόνα παρουσιάζει ένα **μοντέλο** για την περιοχή του **Los Angeles**. Επισημαίνεται ο **καταμερισμός** της **παραμόρφωσης** (*strain partitioning*) ανάμεσα στην **οριζόντια ολίσθηση** (*strike-slip*) του ρήγματος του Αγ. Ανδρέα και τη **βράχυνση** (*contraction*) εγκάρσια στην επώθηση της *Sierra Madre*.



Τέλος

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.

Έχουν προηγηθεί οι κάτωθι εκδόσεις:

- Έκδοση διαθέσιμη εδώ <http://eclass.uoa.gr/courses/GEOL135/>



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Δημήτριος Παπανικολάου, Στυλιανός Λόζιος 2015. Δημήτριος Παπανικολάου, Στυλιανός Λόζιος. «Τεκτονική Γεωλογία. Ενότητα 2: Οριζόντια Ολίσθηση - Διασυμπίεση και Διεφελκυσμός». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://opencourses.uoa.gr/courses/GEOL4>.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/9)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 1, Διαφάνεια 2: Copyrighted.

Εικόνες 2-3-4, Διαφάνειες 3-4-5: Χαρακτηριστικά ρηγμάτων οριζόντιας ολίσθησης. Copyrighted.

Εικόνα 5, Διαφάνεια 6: Copyrighted.

Εικόνα 6, Διαφάνεια 7: Railroad workers in Turkey inspect the effect of the 17 August 1999 earthquake on a strike-slip fault with right-lateral offset. Photo: A. Barka. Copyrighted. http://www.superaktif.net/wp-content/uploads/2011/12/deprem_izmit_demiryolu1.jpg



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/9)

Εικόνα 7, Διαφάνεια 8: Horizontal lineation on mineralized (epidot-covered) fault slip surface. Fossen, H., 2010, Structural Geology (e-modules). Copyrighted.
<http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2018/18%20Strike-slip.swf>

Εικόνα 8, Διαφάνεια 9: Τύποι ρηγμάτων οριζόντιας ολίσθησης. Copyrighted.

Εικόνες 9-10-11, Διαφάνειες 10-11: Example of transfer fault on the bedding plane of the Entrada Sandstone, Utah. Graphics and animation by Fossen, H., 2010, Structural Geology (e-modules). Copyrighted. <http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2018/18%20Strike-slip.swf>

Εικόνες 12-13, Διαφάνεια 12: Extensional regimes and contractional regimes by Fossen, H., 2010, Structural Geology (e-modules). Copyrighted.
<http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2018/18%20Strike-slip.swf>

Εικόνα 14, Διαφάνεια 13: Καθεστώτα ηπειρωτικής ταφρογένεσης (continental rifting). Copyrighted.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/9)

Εικόνα 15, Διαφάνεια 14: A crustal-scale example with the flanking shear zones of the Indian continent, each of which represent strike-slip transfer structures.

Fossen, H., 2010, Structural Geology (e-modules). Copyrighted.

<http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2018/18%20Strike-slip.swf>

Εικόνα 16, Διαφάνεια 14: Transcurrent faults in the Himalayas and to the north. Copyrighted.

Εικόνα 17, Διαφάνεια 15: Age of oceanic crust. Public domain.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Earth_seafloor_crust_age_1996_-_2.png

Εικόνα 18, Διαφάνεια 16: Age of sea bottom in million years. Fossen, H., 2010, Structural Geology (e-modules). Copyrighted. <http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2018/18%20Strike-slip.swf>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (4/9)

Εικόνα 19, Διαφάνεια 16: Transform faults occur along the oceanic ridges as seen here for the mid-Atlantic spreading ridge. Fossen, H., 2010, Structural Geology (e-modules). Copyrighted. <http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2018/18%20Strike-slip.swf>

Εικόνες 20-21, Διαφάνεια 17: DEM ωκεάνιου πυθμένα. Copyrighted.

Εικόνες 22-23-24, Διαφάνειες 18-19: Graphics and animations which illustrate the kinematics involved. Fossen, H., 2010, Structural Geology (e-modules). Copyrighted. <http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2018/18%20Strike-slip.swf>

Εικόνα 25, Διαφάνεια 19: Transform fault along the East Pacific Rise. Marine Geoscience Data System. Copyrighted.

Εικόνες 26-27-28, Διαφάνεια 20: Οι συνδέσεις των ρηγμάτων οριζόντιας ολίσθησης. Copyrighted.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (5/9)

Εικόνες 29-30, Διαφάνεια 21: San Andreas fault - Gulf of California. Copyrighted.

Εικόνες 31-32, Διαφάνεια 22: Δημιουργία και εξέλιξη του συστήματος διάνοιξης Αγ. Ανδρέα - Κόλπου Καλιφόρνιας. Copyrighted.

Εικόνες 33-34-35, Διαφάνειες 23-24: San Andreas Fault, genesis and history. Fossen, H., 2010, Structural Geology (e-modules). Copyrighted.

<http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2018/18%20Strike-slip.swf>

Εικόνα 36, Διαφάνεια 25: Transcurrent faults. Fossen, H., 2010, Structural Geology (e-modules). Copyrighted. <http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2018/18%20Strike-slip.swf>

Εικόνα 37, Διαφάνεια 26: Aerial view of right-lateral fault. Near Las Vegas, Nevada. Copyrighted. <http://marlimillerphoto.com/images/SrF-38.jpg>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (6/9)

Εικόνες 38-39, Διαφάνειες 27-28: Το transcurrent fault της Αϊτής, γνωστό ως Enriquillo - Plantain Garden Fault Zone. Fossen, H., 2010, Structural Geology (e-modules). Copyrighted. <http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2018/18%20Strike-slip.swf>

Εικόνα 40, Διαφάνεια 29: Transcurrent faults Θιβέτ λόγω σύγκρουσης (collision) της Ινδικής ηπείρου με την Ασιατική πλάκα. Fossen, H., 2010, Structural Geology (e-modules). Copyrighted. <http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2018/18%20Strike-slip.swf>

Εικόνα 41, Διαφάνεια 30: Ανάπτυξη μονών ρηγμάτων (καθεστώσ απλής διάτμησης). Copyrighted.

Εικόνες 42-43-44, Διαφάνειες 31-32: Ανάπτυξη strike-slip ρηγμάτων. Fossen, H., 2010, Structural Geology (e-modules). Copyrighted. <http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2018/18%20Strike-slip.swf>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (7/9)

Εικόνα 45, Διαφάνεια 33: Copyrighted.

Εικόνα 46, Διαφάνεια 33: San Andreas Fault on the Carrioz Plane. Fossen, H., 2010, Structural Geology (e-modules). Copyrighted. <http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2018/18%20Strike-slip.swf>

Εικόνα 47, Διαφάνεια 34: Συζυγή οριζοντιολισθητικά ρήγματα (καθεστώς καθαρής διάτμησης), Copyrighted.

Εικόνες 48-49, Διαφάνεια 35: Tectonics of C. Asia & Tibet. Copyrighted.

Εικόνες 50-51-52, Διαφάνεια 36: Προσομοίωση της κινηματικής της ευρύτερης περιοχής βόρεια των Ιμαλαΐων. Tapponnier et al. (1986). Animation and photo from Fossen, H., 2010, Structural Geology (e-modules). Copyrighted. <http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2018/18%20Strike-slip.swf>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (8/9)

Εικόνα 53, Διαφάνεια 37: Κλιμακωτές καμπές ρήγματος (fault bends or stepovers).

Fossen, H., 2010, Structural Geology (e-modules). Copyrighted.

<http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2018/18%20Strike-slip.swf>

Εικόνες 54-55, Διαφάνεια 38: Restraining bends. Fossen, H., 2010, Structural

Geology (e-modules). Copyrighted. [http://folk.uib.no/nglhe/e-](http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2018/18%20Strike-slip.swf)

[modules/Chapter%2018/18%20Strike-slip.swf](http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2018/18%20Strike-slip.swf)

Εικόνα 56, Διαφάνεια 39: Stepmover structure modeled by McClay and Bonora (2001). Copyrighted.

Εικόνα 57, Διαφάνεια 40: Η Death Valley αποτελεί την τυπική περιοχή που πρωτοπεριγράφησαν από τους Barchfiel & Stewart το 1966. Copyrighted.

Εικόνες 58-59, Διαφάνεια 41: Negative and Positive flower structure. Copyrighted.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (9/9)

Εικόνα 60, Διαφάνεια 42: Flower structures. Sections through restraining bend produced in sandbox experiment. From McClay and Bonora (2001).

Εικόνα 61, Διαφάνεια 43: Copyrighted.

Εικόνα 62, Διαφάνεια 44: Seismic image of a positive flower structure in the Ardmore Basin, Oklahoma. Fossen, H., 2010, Structural Geology (e-modules). Copyrighted. <http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2018/18%20Strike-slip.swf>

Εικόνες 63-64-65, Διαφάνεια 45: Καταμερισμός παραμόρφωσης (strain partitioning). Fossen, H., 2010, Structural Geology (e-modules). Copyrighted. <http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2018/18%20Strike-slip.swf>

Εικόνα 66, Διαφάνεια 46: Ένα μοντέλο για την περιοχή του Los Angeles. Copyrighted. <http://thewatchers.adorraeli.com/data/uploads/2011/06/blockD1.gif>

