



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

# Μικροτεκτονική - Τεκτονική Ανάλυση

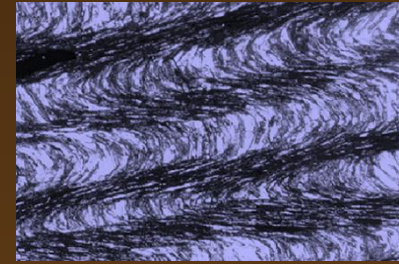
Ενότητα 1: Φύλλωση και Σχισμός

Στυλιανός Λόζιος

Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος





# Φύλλωση & Σχισμός

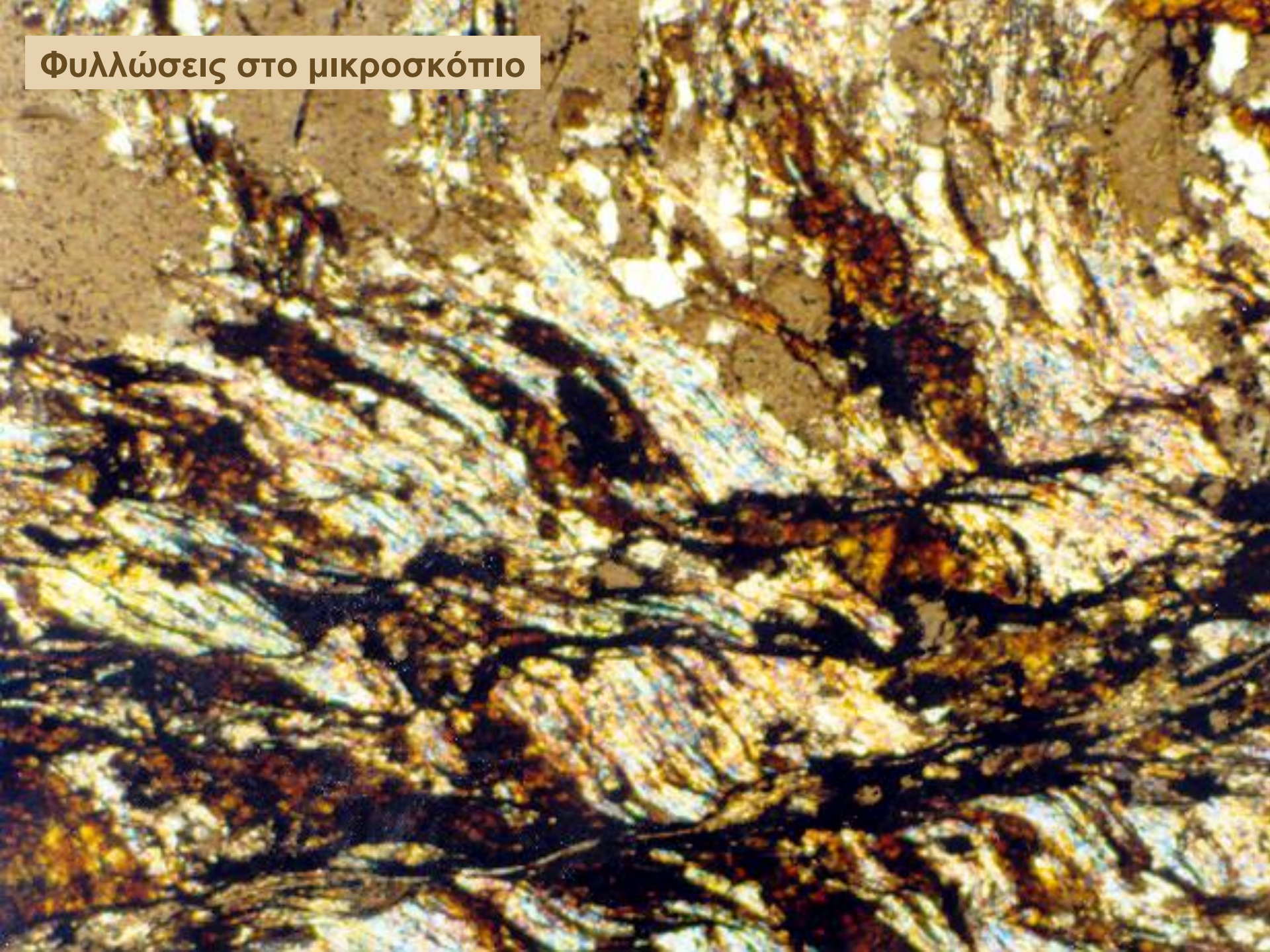
## Foliation & Cleavage





Φύλλωση (με γραμμώσεις) στην ύπαιθρο

# Φυλλώσεις στο μικροσκόπιο

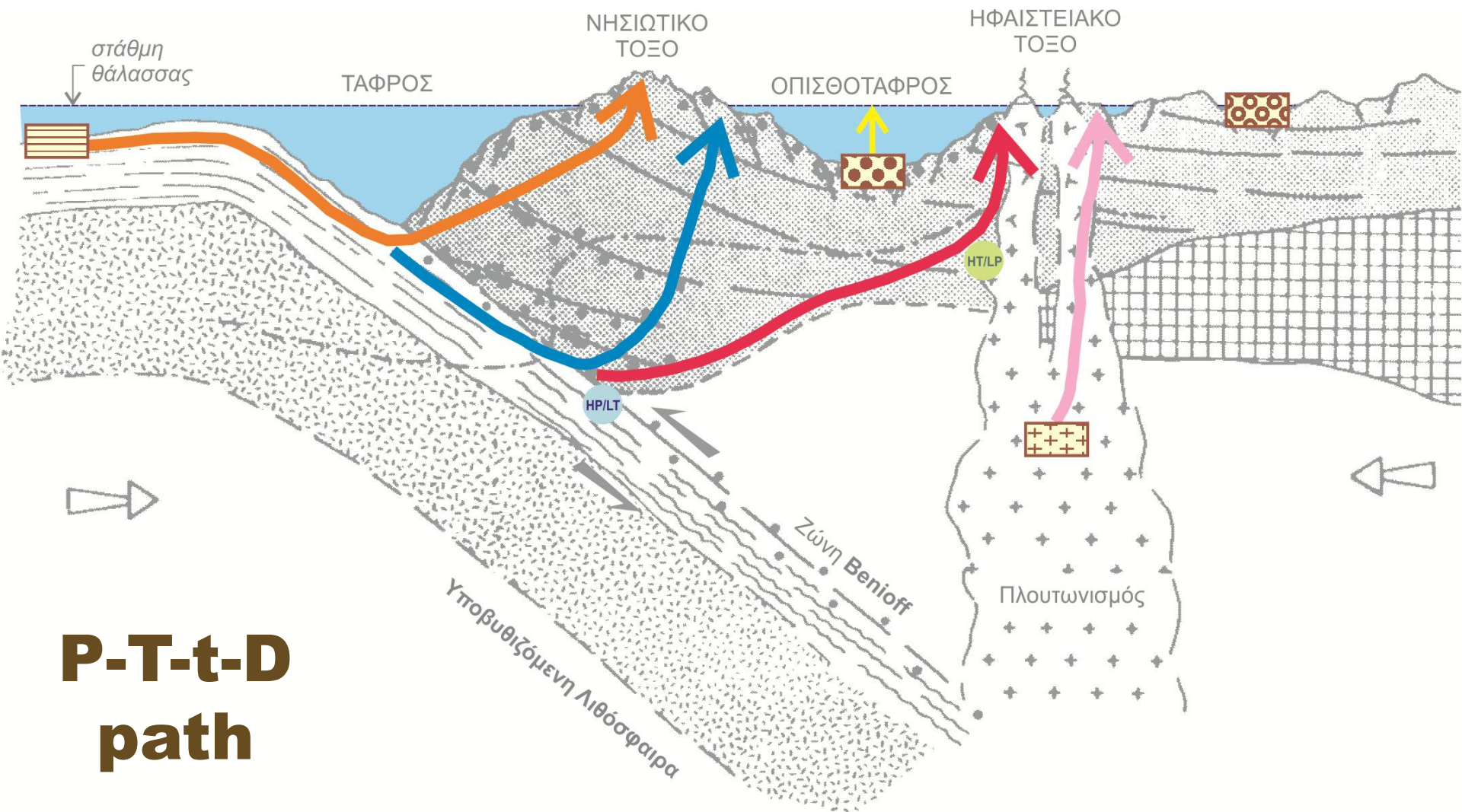




Φυλλώσεις στο μικροσκόπιο

# ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΙΚΕΣ ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΜΟΡΦΙΚΑ ΓΕΓΟΝΟΤΑ

	<b>S<sub>0</sub></b>	
<b>D<sub>1</sub></b>	<b>S<sub>1</sub>, L<sub>1</sub>, B<sub>1</sub></b>	<b>M<sub>1</sub></b>
<b>D<sub>2</sub></b>	<b>S<sub>2</sub>, L<sub>2</sub>, B<sub>2</sub></b>	<b>M<sub>2</sub></b>
<b>D<sub>3</sub></b>	<b>S<sub>3</sub>, L<sub>3</sub>, B<sub>3</sub></b>	<b>M<sub>3</sub></b>
<b>D<sub>4</sub></b>	<b>S<sub>4</sub>, L<sub>4</sub>, B<sub>4</sub>, F, J</b>	
<b>D<sub>5</sub></b>	<b>F, J</b>	



# P-T-t-D path

Παλαιογεωδυναμικό περιβάλλον δημιουργίας – Λιθολογία – Πορεία μέχρι την επιφάνεια – Χρόνος – Τεκτονικές ζώνες – Τεκτονομεταμορφική εξέλιξη









# ΦΥΛΛΩΣΗ

## Foliation

**Διαμπερείς, σχετικά επίπεδες, δομές σε ένα πέτρωμα, με προέλευση (πρωτογενή ή δευτερογενή → "λέγε με" τεκτονική) που ποικίλει κατά περίπτωση. Π.χ.:**

- στρώση – bedding,
- μαγματική στρωμάτωση – magmatic layering,
- σχισμός – cleavage,
- σχιστότητα – schistosity, κλπ.

### ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΦΥΛΛΩΣΗ

Σχετίζεται με τη δημιουργία του πετρώματος.

### ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗΣ ΦΥΛΛΩΣΗ

Σχετίζεται με την παραμόρφωση του πετρώματος (τεκτονική).

Η διάκρισή της αποτελεί σημαντικό στοιχείο και δείκτη για την παραμόρφωση από την αρχή της δημιουργίας του πετρώματος (π.χ. ιζηματογένεση).

### S – ΤΕΚΤΟΝΙΤΕΣ

Διάκριση παραμορφωτικών φάσεων και σχέσεις παραμόρφωσης <-> μεταμόρφωσης.

### LS – ΤΕΚΤΟΝΙΤΕΣ

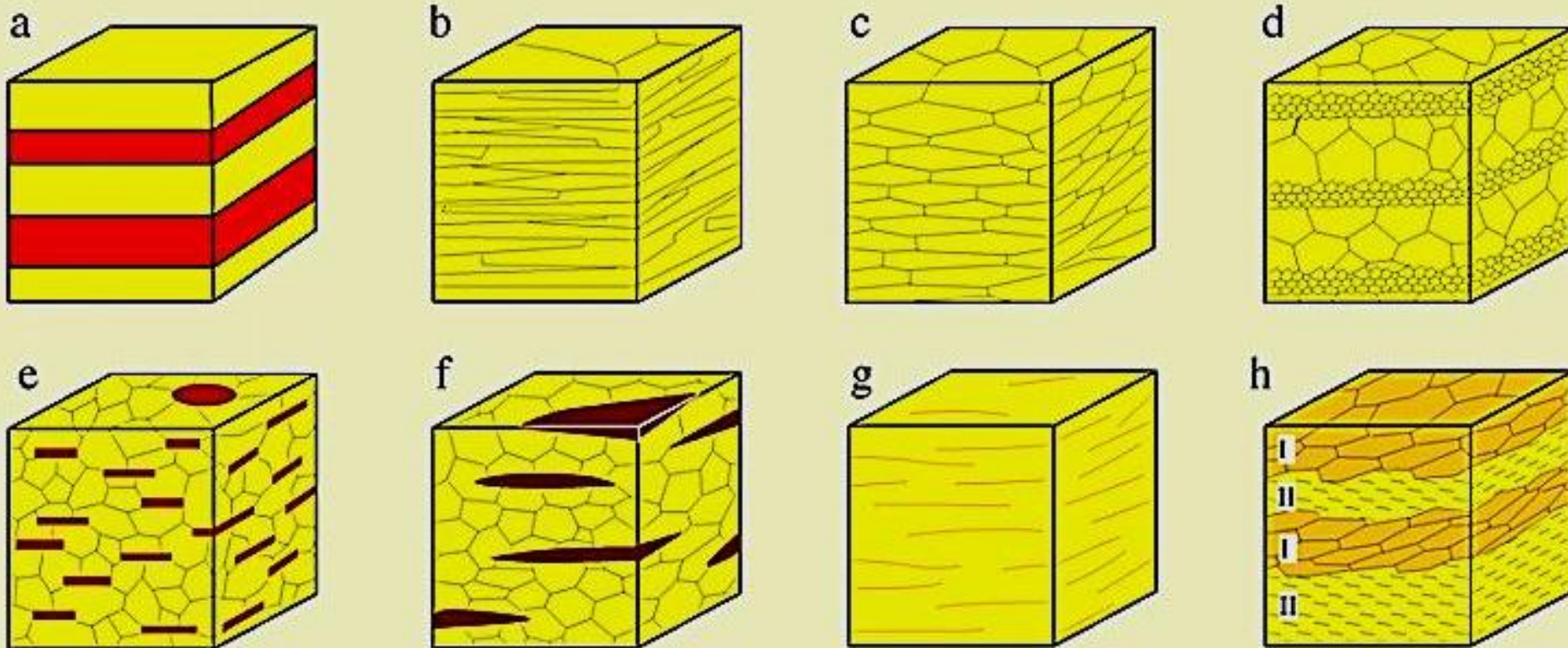
Διεύθυνση τεκτονικής μεταφοράς και κινηματικοί δείκτες για προσδιορισμό της φοράς της κίνησης.

### L – ΤΕΚΤΟΝΙΤΕΣ

**Διαμπερείς γραμμικές δομές σε ένα πέτρωμα, με προέλευση που ποικίλει κατά περίπτωση. Π.χ.:**

- διατομή – intersection,
- μικροπτύχωση – crenulation,
- έκταση – stretching,
- ορυκτολογική – mineral, κλπ.

## Τα στοιχεία του τεκτονικού ιστού που καθορίζουν μια φύλλωση



- a) στρωμάτωση,
- b) προσανατολισμός φυλλωδών ορυκτών,
- c) προσανατολισμός ορίων κόκκων και σχήματος παραμορφωμένων ορυκτών,
- d) διαφοροποιήσεις στο μέγεθος των κόκκων,
- e) προσανατολισμός φυλλωδών ορυκτών σε κύρια μάζα χωρίς προσανατολισμό,
- f) προσανατολισμός φακοειδών αθροισμάτων ορυκτών,
- g) προσανατολισμός μικροδιαρρήξεων,
- h) συνδυασμός στοιχείων του τεκτονικού ιστού (π.χ. ο συνδυασμός a, b & c είναι πολύ συνηθής στα μεταμορφωμένα).

# ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΦΥΛΛΩΣΗ

## Primary Foliation

S<sub>0</sub>

Μη-τεκτονικές, διαμπερείς και σχετικά επίπεδες δομές στα πετρώματα, όπως:

- η ιζηματογενής στρώση (sedimentary layering or bedding),
- η μαγματική στρωμάτωση (magmatic or compositional layering), όπως π.χ. flow banding και
- η διαγενετική φύλλωση (diagenetic or compaction foliation) ? → (στην ουσία δευτερογενής, αλλά μη-τεκτονική) → stylolitic cleavage.

### ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΠΡΩΤΟΓΕΝΩΝ ΦΥΛΛΩΣΕΩΝ

- **Αναγνώριση ιζηματογενών δομών**
- Έντονες διαφοροποιήσεις στο πάχος, ιδιαίτερως εγκάρσια προς τη διεύθυνση των στρωμάτων.
- Διαφοροποιήσεις στη σύσταση και το μέγεθος των κόκκων.
- Συνήθως επίπεδη στρωμάτωση.
- Σπάνια συμμετρία ως προς επίπεδο παράλληλο στη στρώση.
- Δεν υπάρχει σχέση παραλληλίας της φύλλωσης με τα αξονικά επίπεδα των πτυχών.



Σταυρωτή στρώση (cross bedding) σε ψαμμίτη (πρωτογενής φύλλωση).



Στρώση σε ιζηματογενή πετρώματα, που τέμνεται και μετατοπίζεται από κανονικά ρήγματα (πρωτογενής φύλλωση).

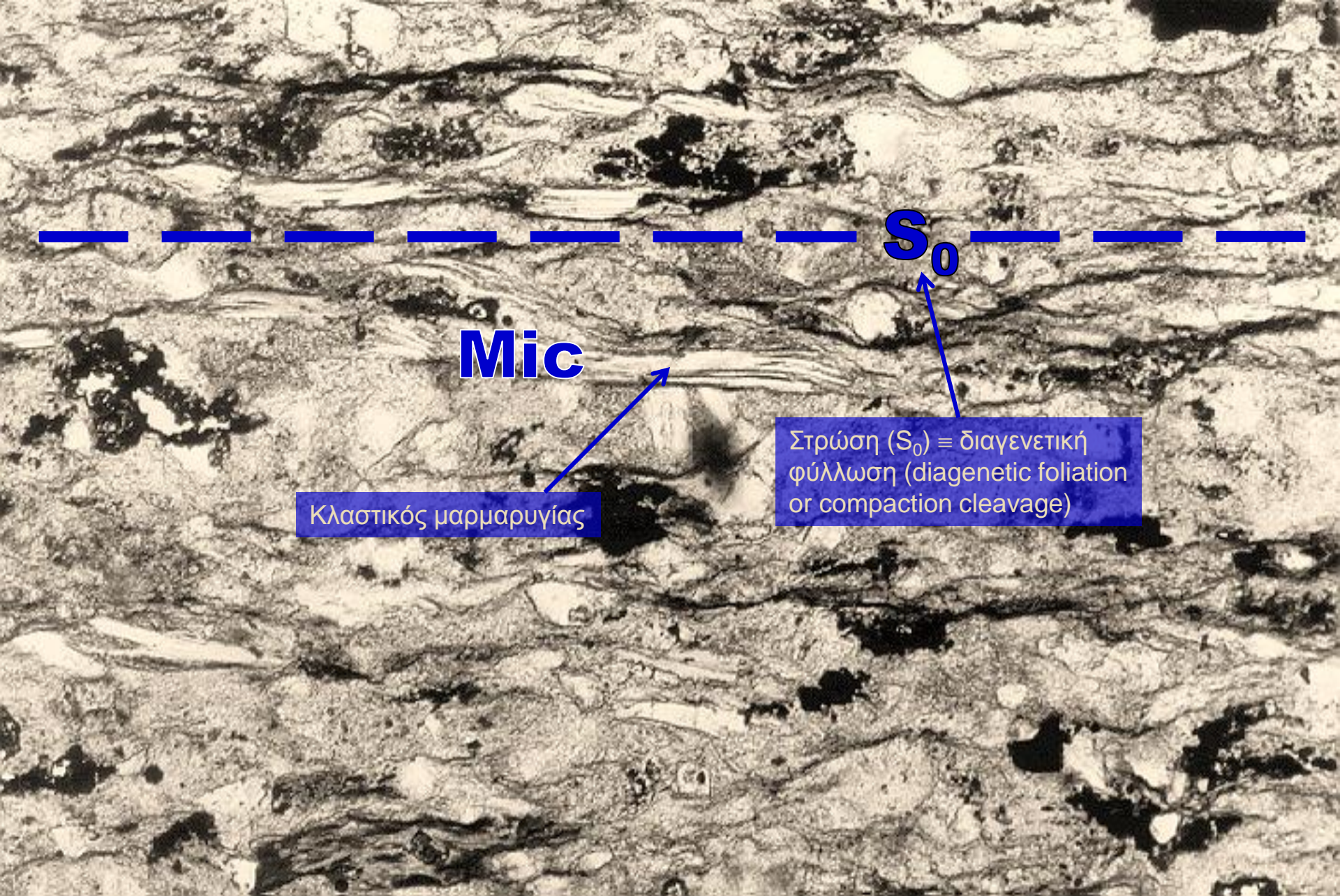


Μαγματική στρωμάτωση τύπου flow banding σε ρυόλιθο (πρωτογενής φύλλωση).





Μαγματική στρωμάτωση τύπου flow banding σε δακτινική λάβα (πρωτογενής φύλλωση).



Στρώση παράλληλη στη διαγενετική φύλλωση (diagenetic foliation or compaction cleavage), που δημιουργείται από τους προσανατολισμένους (λόγω συμπύκνωσης) κλαστικούς μαρμαρυγίες. Και οι δύο θεωρούνται ως  $S_0$ .

# ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΦΥΛΛΩΣΗ

## Tectonic Foliation

$S_1, S_2 \dots \dot{\eta}$   
 $S_n, S_{n+1} \dots$

(Δευτερογενείς) τεκτονικές, διαμπερείς και συνεκτικές επίπεδες δομές στα πετρώματα, που προϋποθέτουν βράχυνση (shortening) εγκάρσια στην τεκτονική φύλλωση. Τέτοιες δομές είναι:

- ο σχισμός (cleavage),
- η σχιστότητα (schistosity),
- η μεταμορφική στρωμάτωση (differentiated compositional layering) ή γνευσιακή φύλλωση (gneissic foliation) και
- η μυλονιτική φύλλωση (mylonitic foliation)

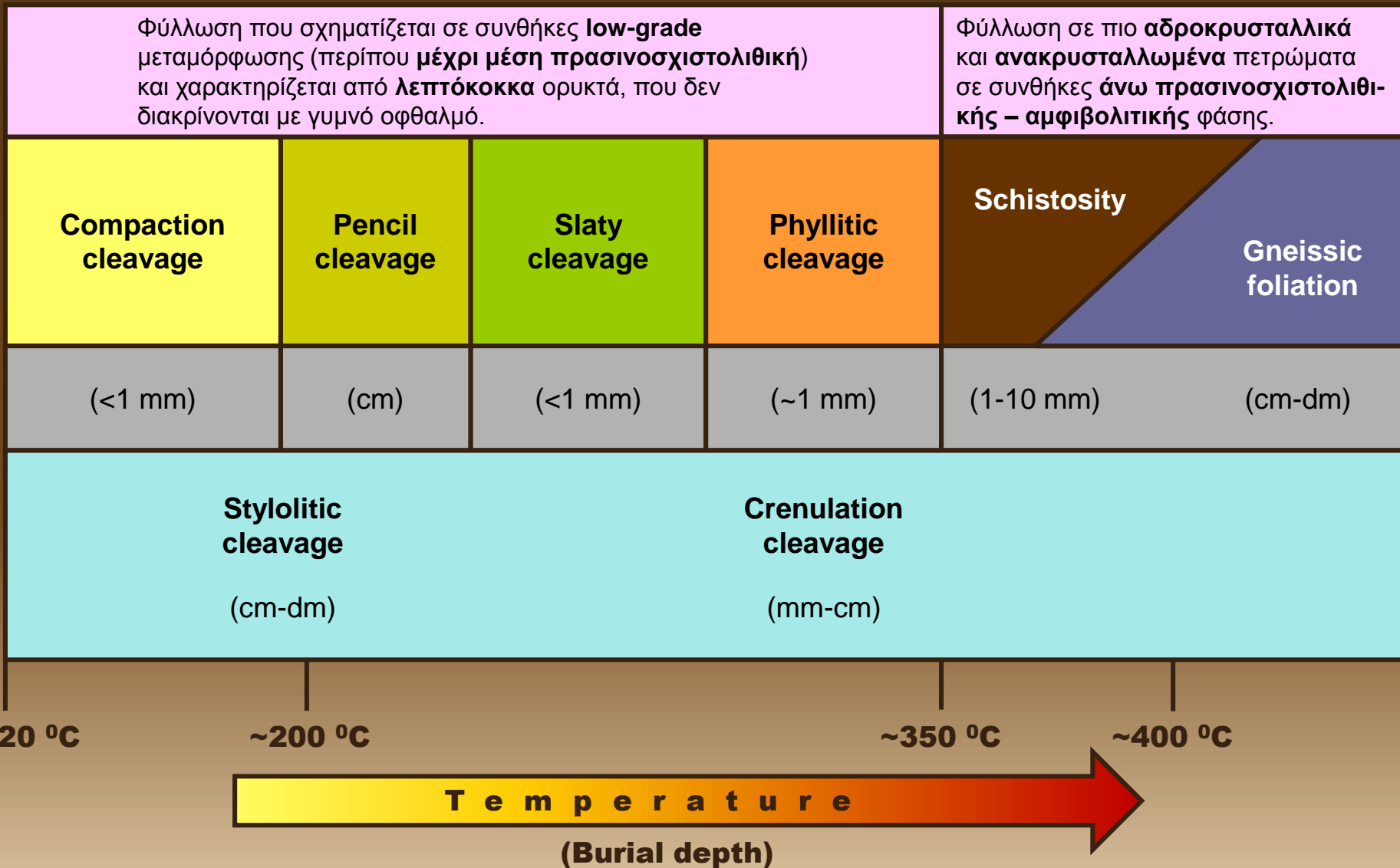
### ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΦΥΛΛΩΣΕΩΝ

- Απουσία ιζηματογενών δομών.
- Μικρές διαφοροποιήσεις στο πάχος. Συνήθως εναλλάσσονται μεταξύ τους δύο "διαφορετικά πάχη".
- Συνήθως διττός χαρακτήρας στη σύσταση των στρωμάτων.
- Στρωμάτωση συνήθως φακοειδής ή αναστομούμενη.
- Συνήθως συμμετρία ως προς επίπεδο παράλληλο στη στρώση.
- Φύλλωση παράλληλη ή υποπαράλληλη με τα αξονικά επίπεδα των πτυχών μιας παλαιότερης φύλλωσης.

$S \rightarrow F \rightarrow D \rightarrow M$

Η ύπαρξη δύο διατεμνόμενων φυλλώσεων φανερώνει ότι η μία τουλάχιστον από αυτές είναι δευτερογενής (τεκτονική).

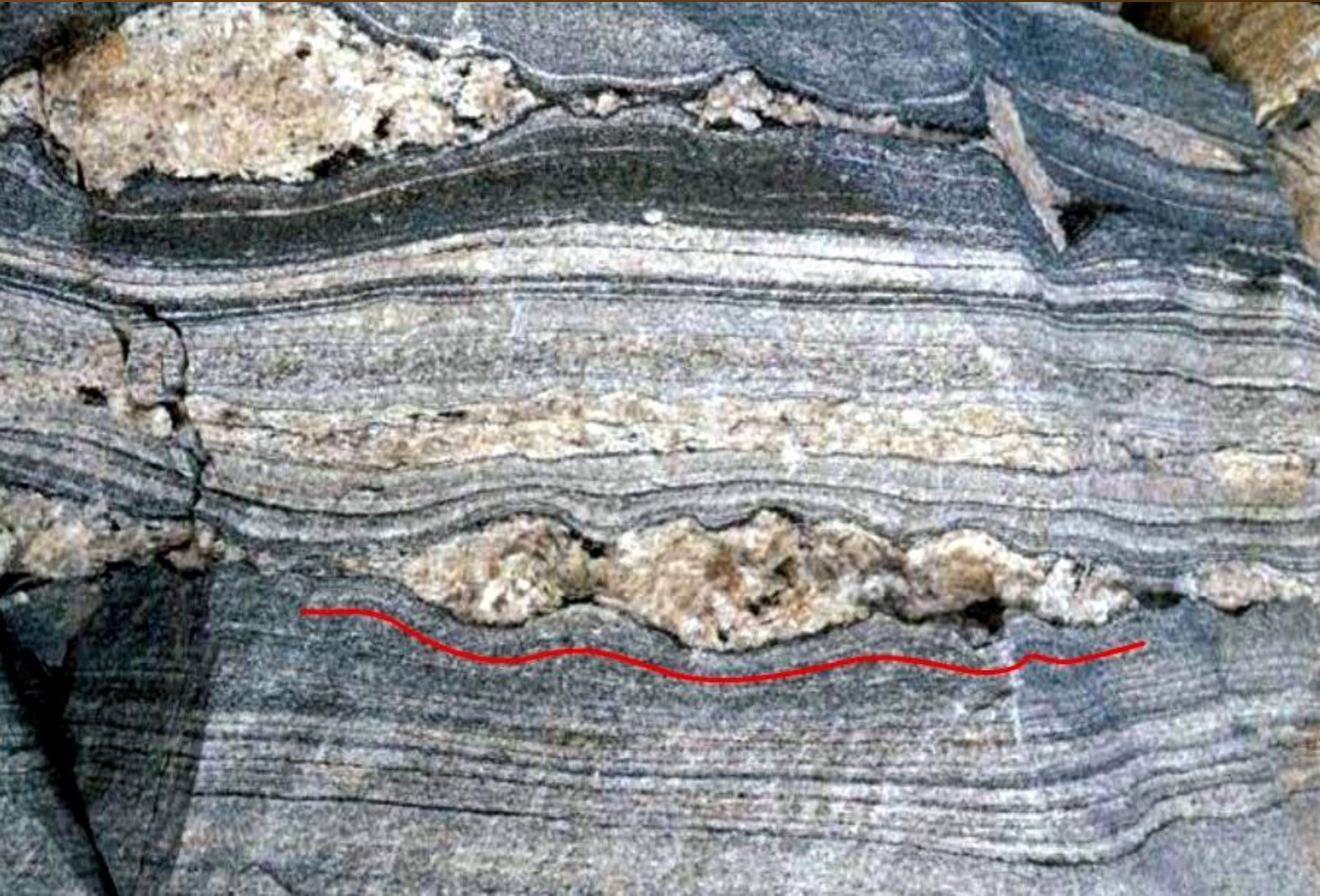
Σχηματική απεικόνιση των κυριότερων τύπων φύλλωσης (foliation), σχισμού (cleavage) και σχιστότητας (schistosity), σύμφωνα με τις συνθήκες μεταμόρφωσης (θερμοκρασία ή βάθος ταφής), αλλά και την απόσταση των επιφανειών μεταξύ τους. Οι αναγραφόμενες θερμοκρασίες είναι κατά προσέγγιση.





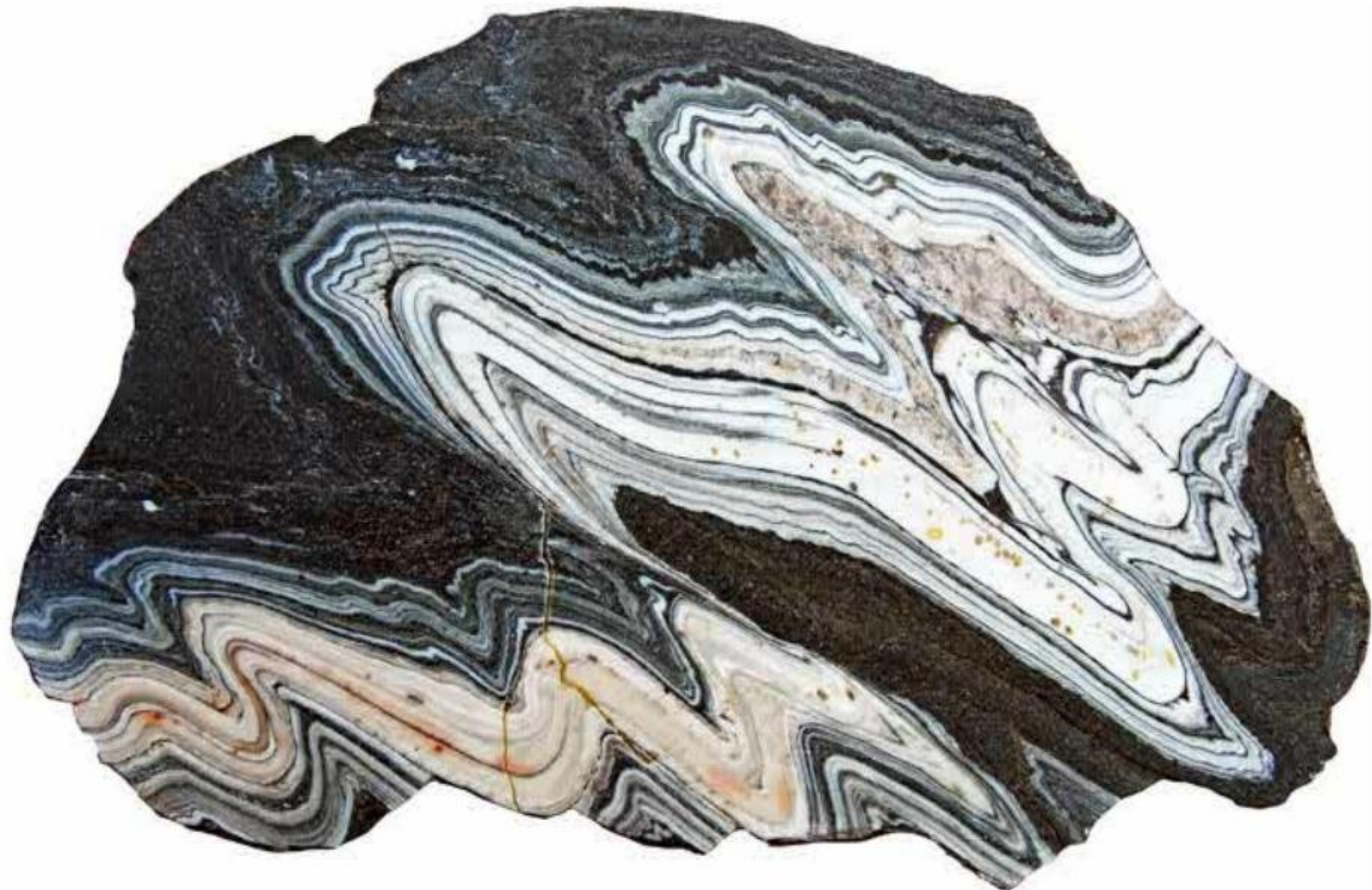
Η φύλλωση δεν αντιπροσωπεύει πάντα ΕΠΙΠΕΔΕΣ δομές:

2. ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗ (ΑΠΟΚΛΙΣΗ), π.χ. γύρω από άκαμπτα σώματα.

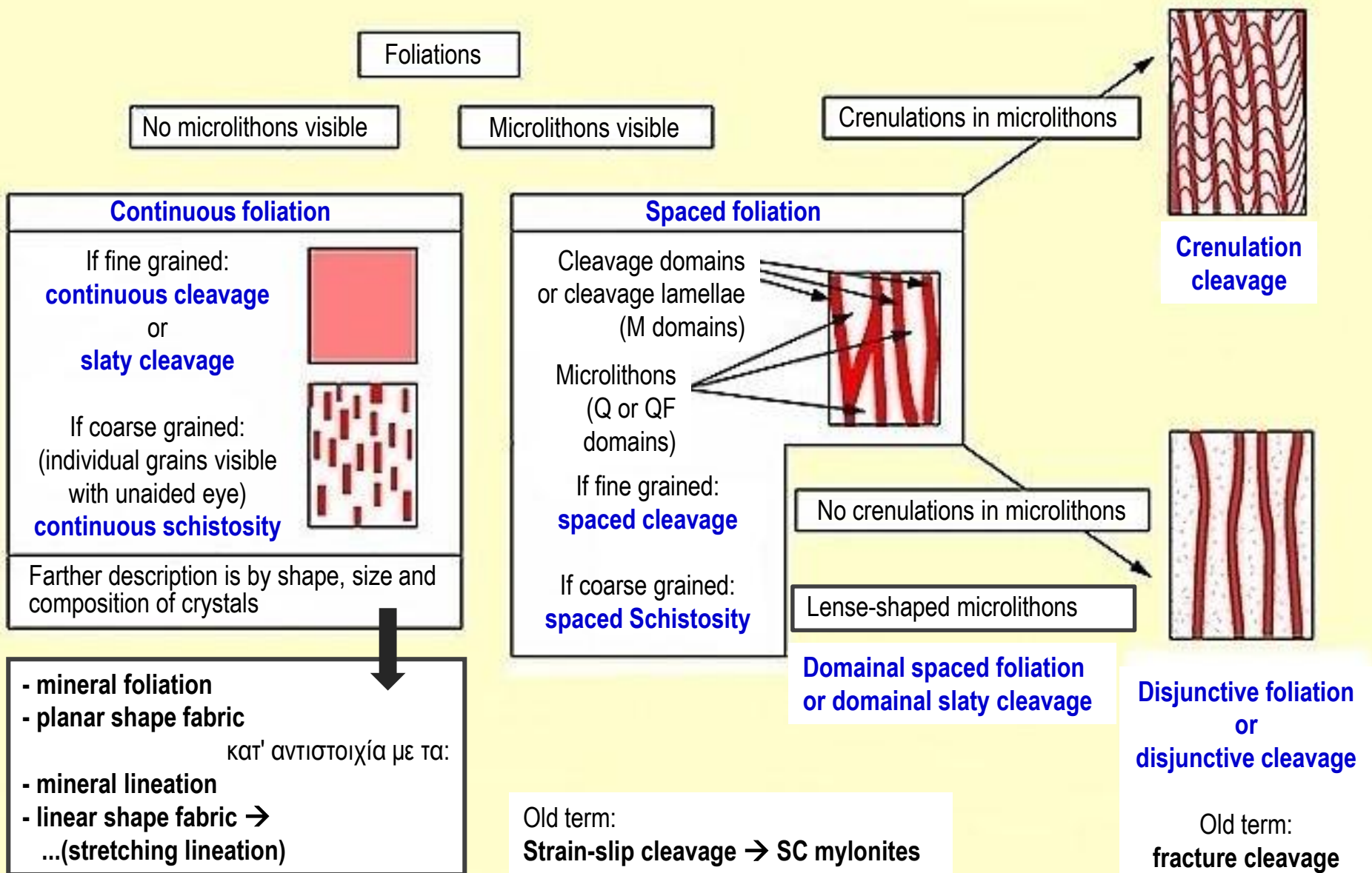


Η φύλλωση δεν αντιπροσωπεύει πάντα ΕΠΙΠΕΔΕΣ δομές:

3. ΠΤΥΧΩΣΗ λόγω προδευτικής παραμόρφωσης.
4. ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗ σε ζώνες διάτμησης λόγω διαφοροποιήσεων της διατμητικής παραμόρφωσης.

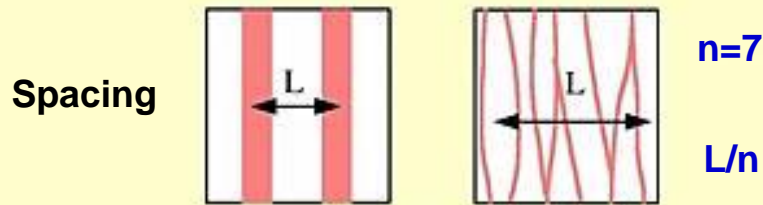


# ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΦΥΛΛΩΣΕΩΝ (με τη χρήση του οπτικού μικροσκοπίου)





# Συνήθη κριτήρια για την περιγραφή των spaced foliations



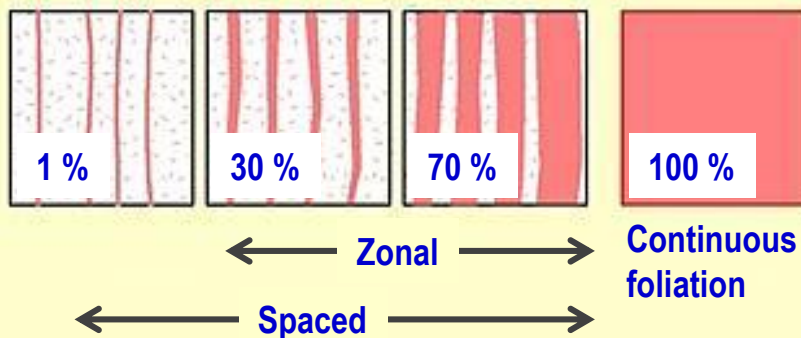
## Shape of cleavage domains



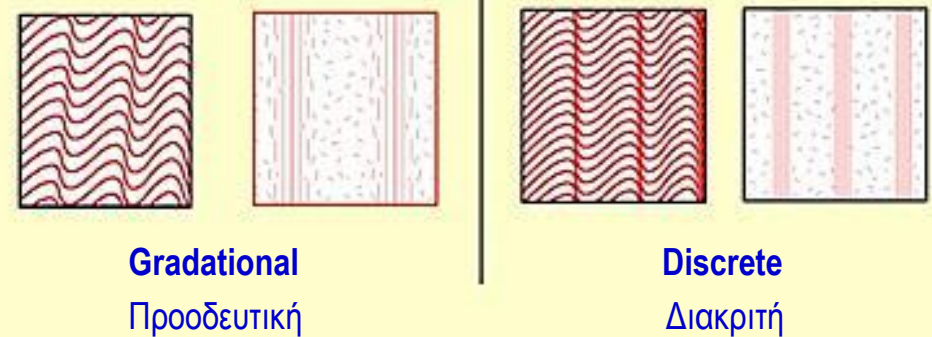
## Relation between cleavage domains



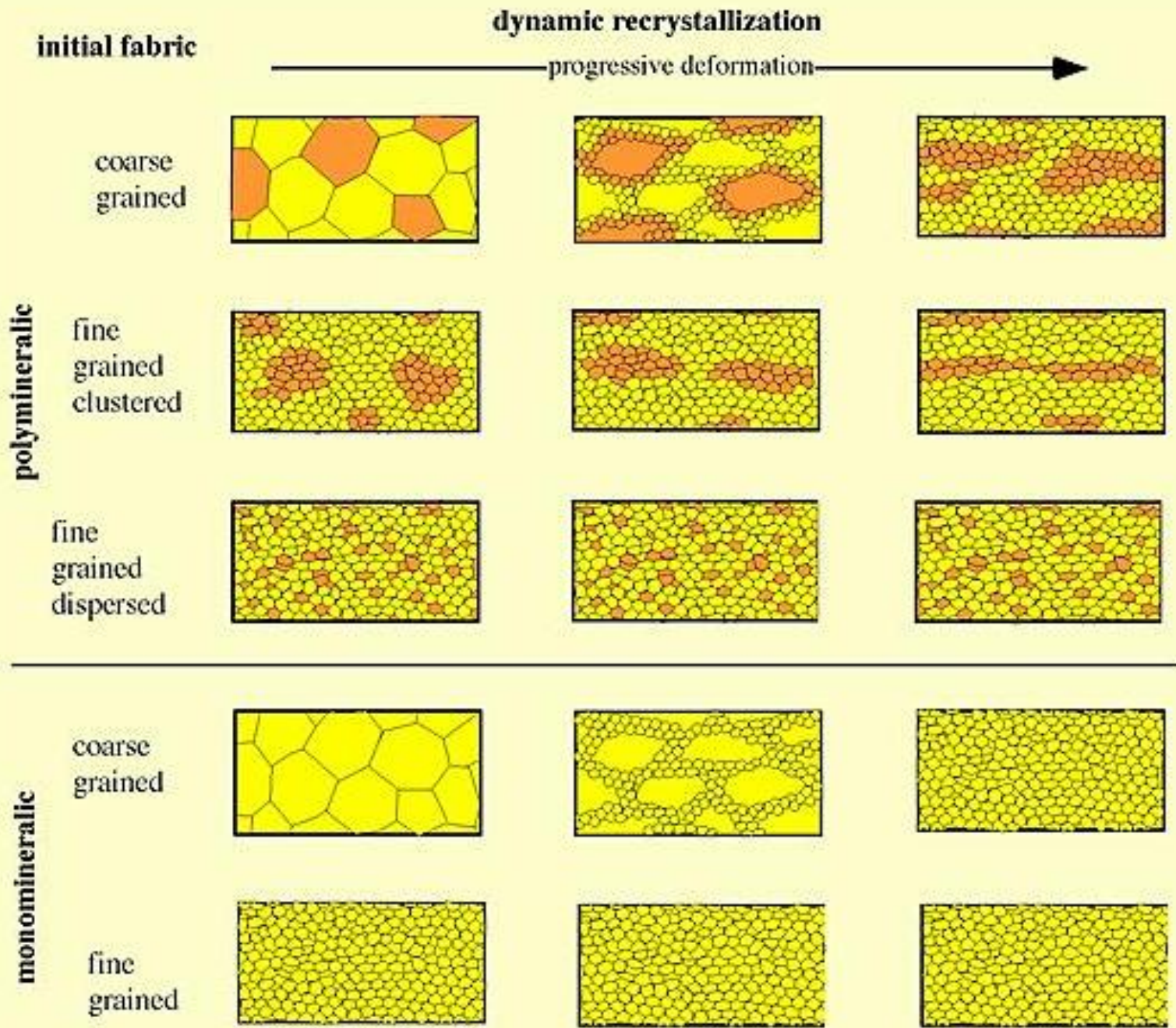
## Volume of cleavage domains



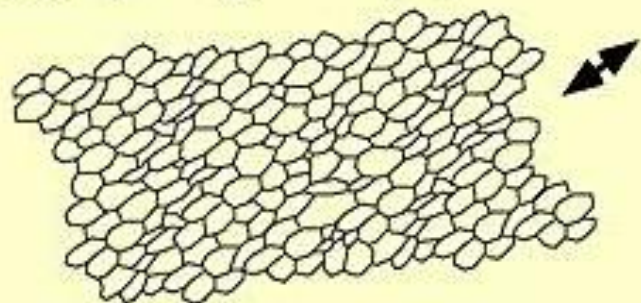
## Transition between cleavage domains and microlithons



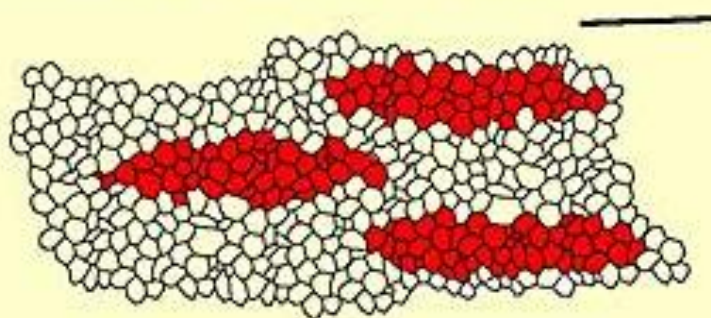
# Initial fabric and shape preferred orientation



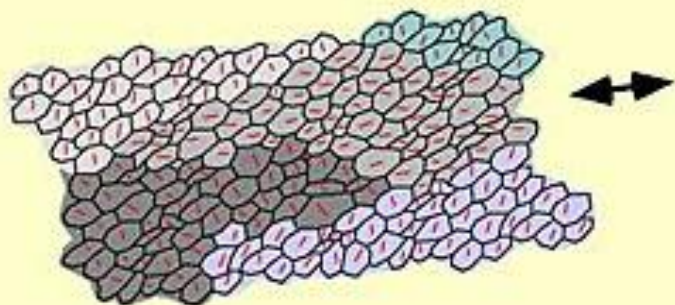
(a) GSPO (grain shape preferred orientation)



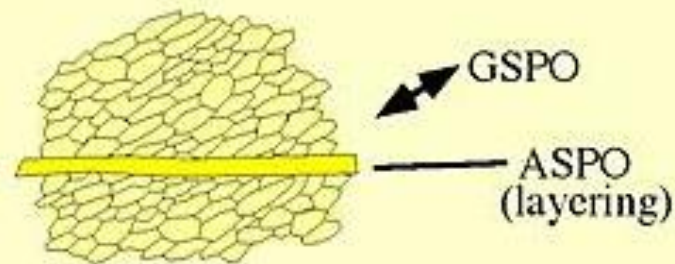
(b) ASPO (aggregate shape preferred orientation)



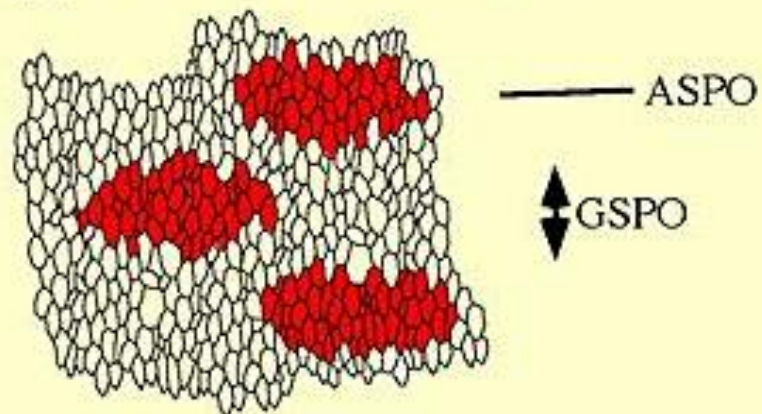
(c) DSPO (LPO-domain shape preferred orientation)



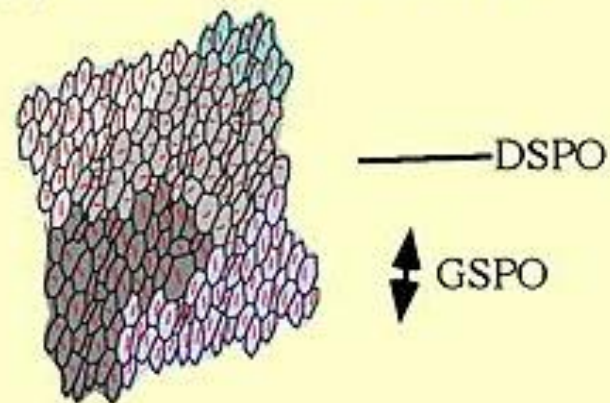
(d) oblique foliation



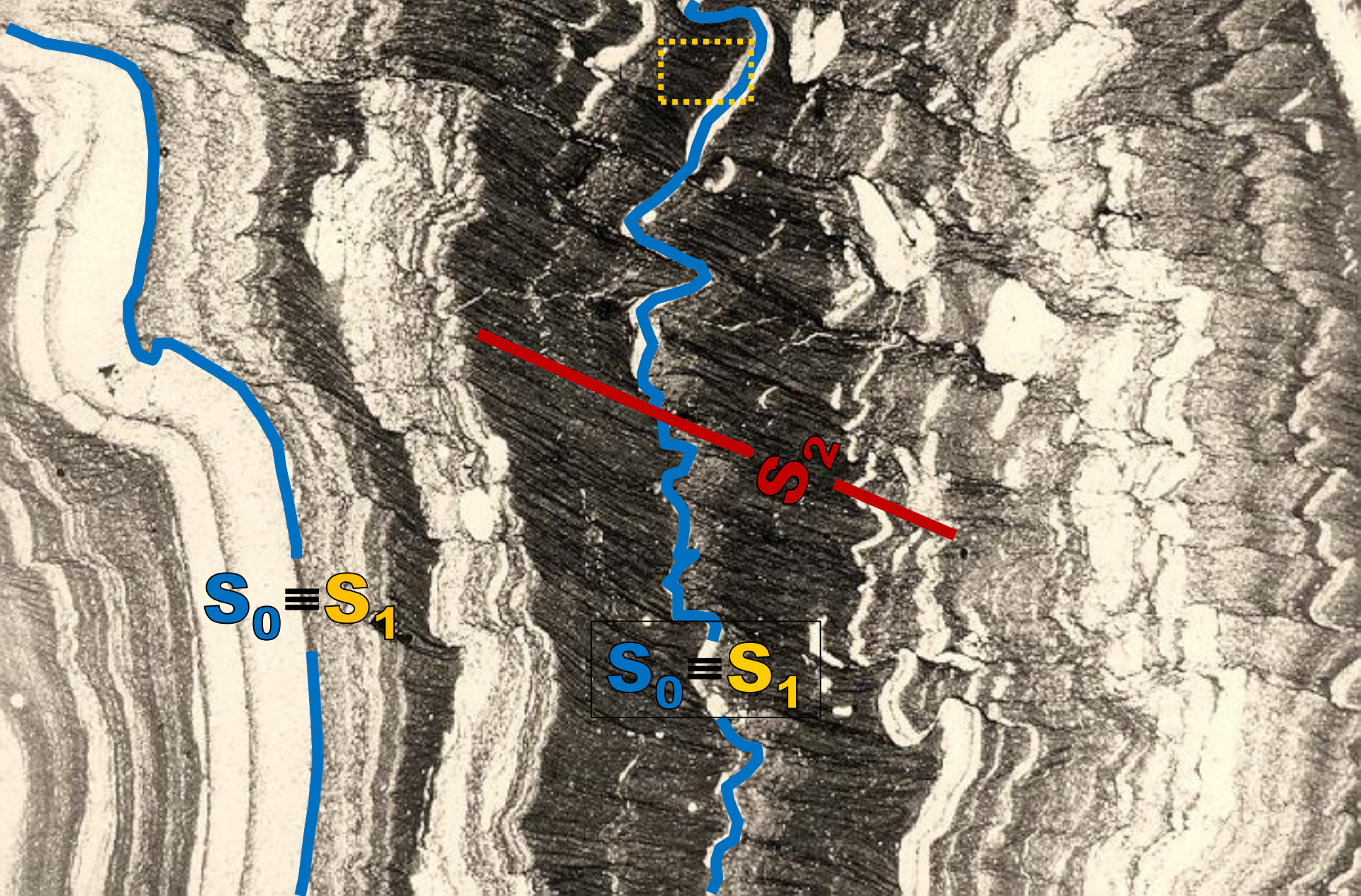
(e) ASPO and GSPO



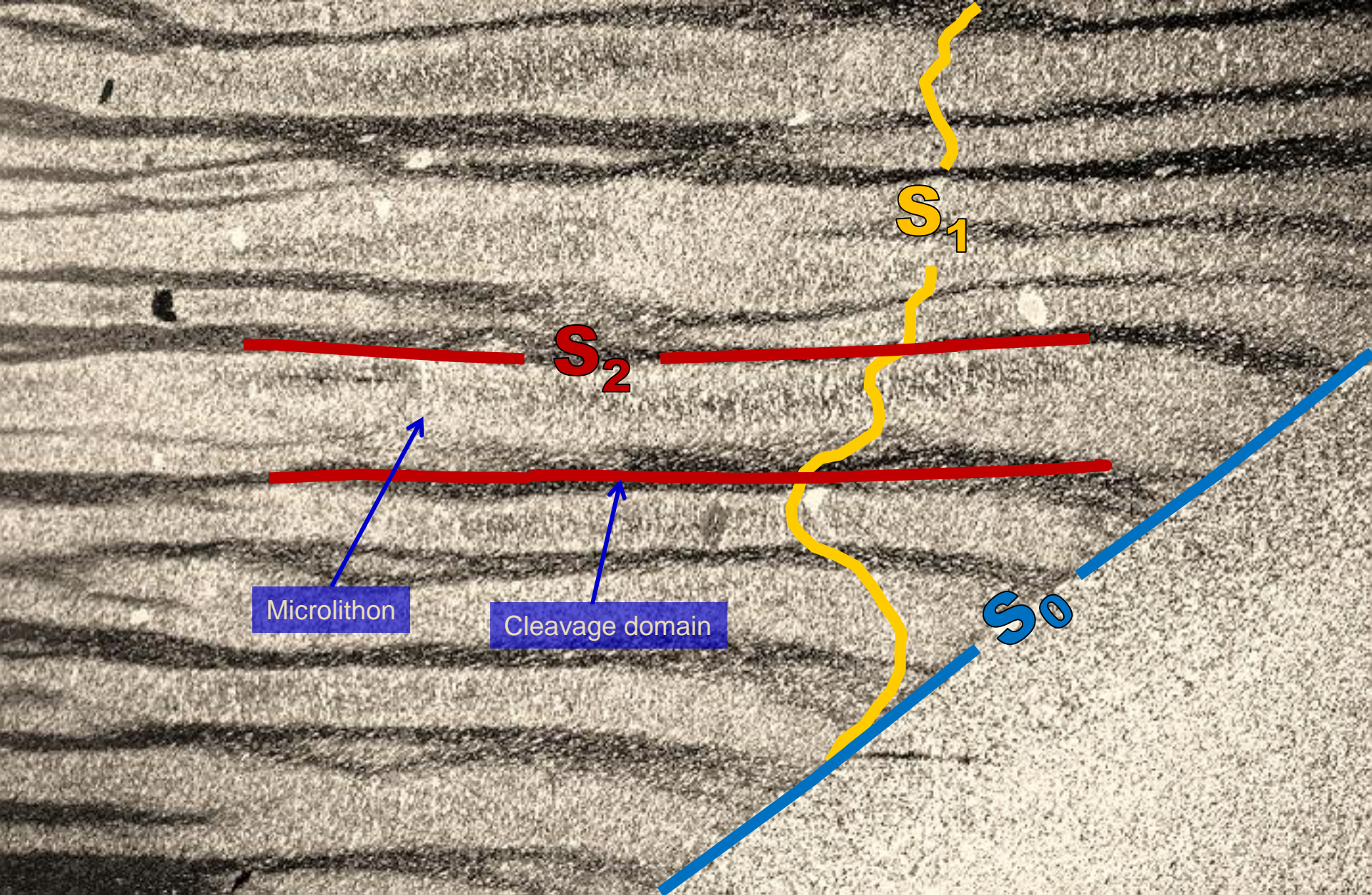
(f) DSPO and GSPO



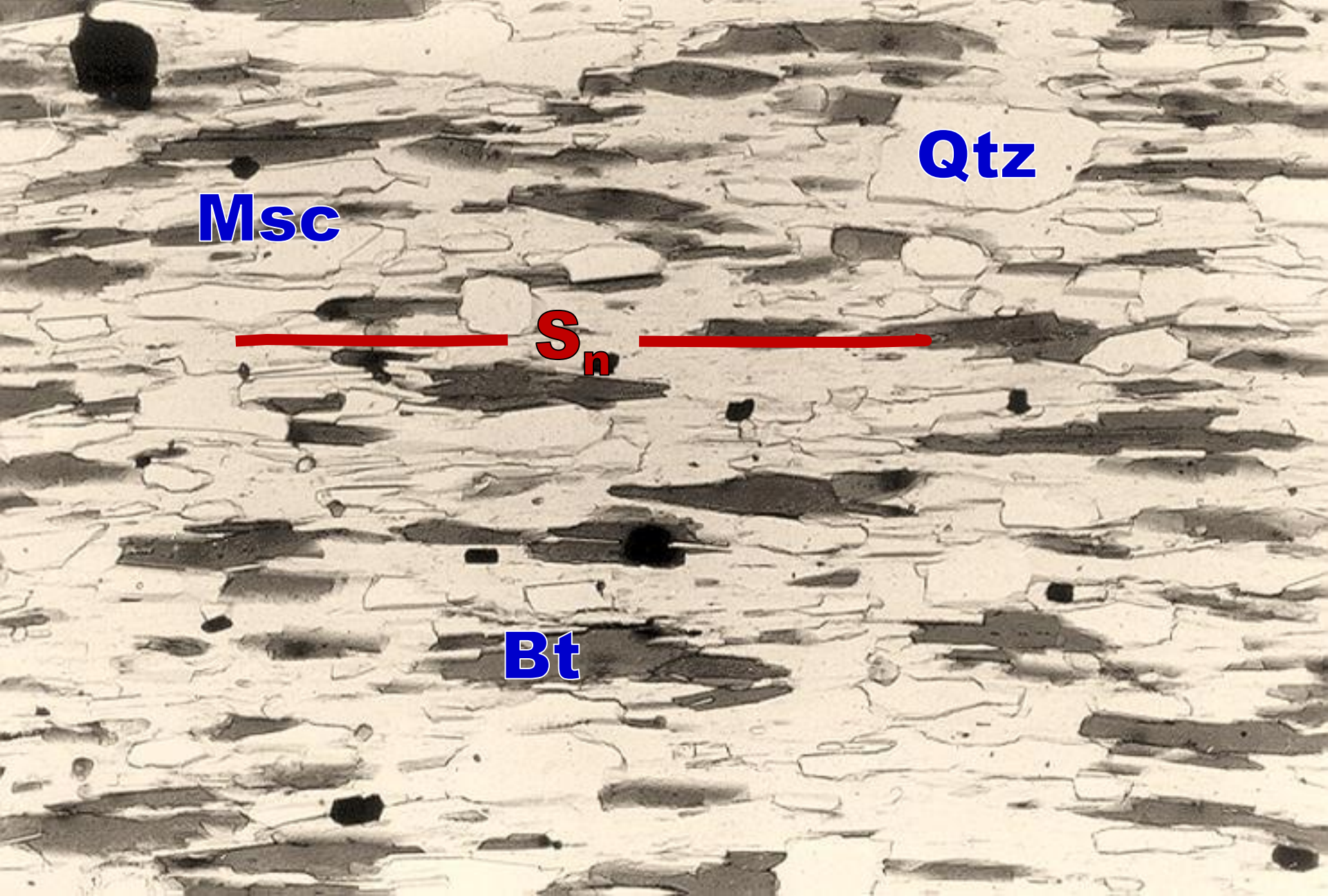
**Shape fabrics**



Στρώση  $S_0$ , πρωτογενής φύλλωση. Δευτερογενείς φυλλώσεις:  $S_1$ , slaty cleavage, υποπαράλληλη στην  $S_0$ , (δεν διακρίνεται) &  $S_2$ , crenulation cleavage, υποπαράλληλη με τα αξονικά επίπεδα των πτυχών.



Στρώση  $S_0$ , πρωτογενής φύλλωση. Δευτερογενείς φυλλώσεις:  $S_1$ , slaty cleavage, υποπαράλληλη στην  $S_0$ , (και μικροπυχωμένη) &  $S_2$ , (smooth parallel gradational) crenulation cleavage, υποπαράλληλη με τα αξονικά επίπεδα των μικροπυχών ( $B_2$  ή  $F_2$ ).



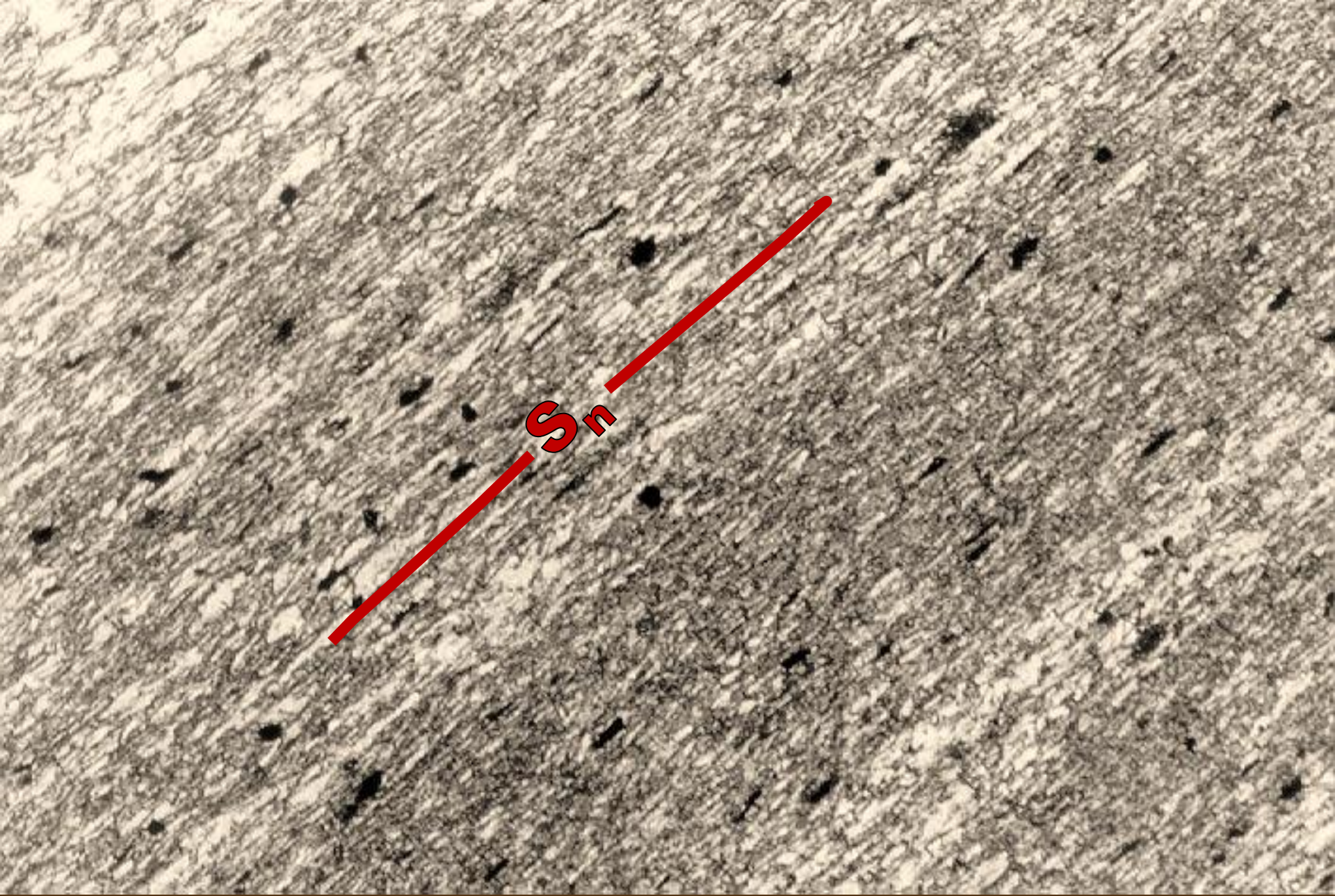
**Msc**

**Qtz**

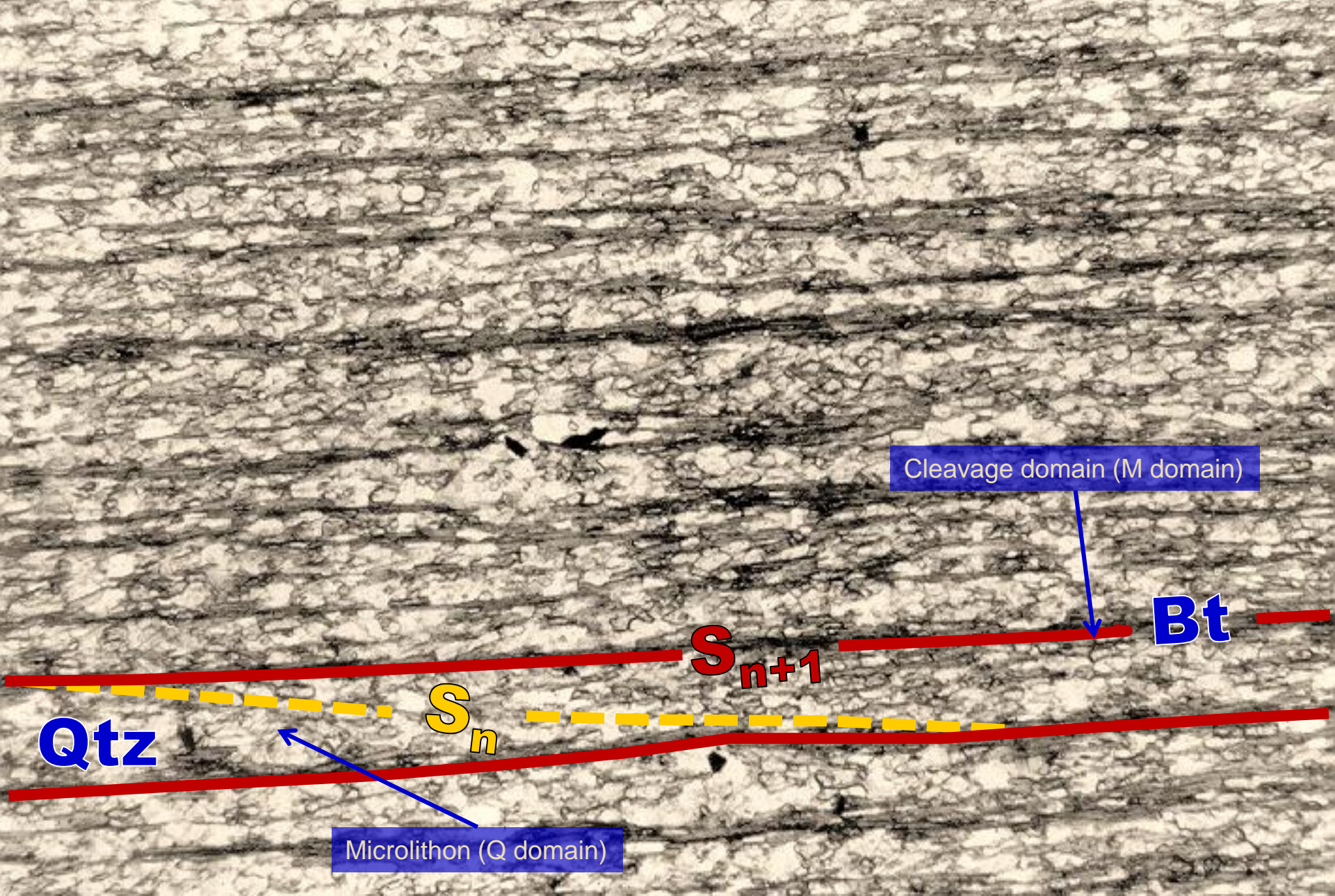
**S<sub>n</sub>**

**Bt**

Continuous schistosity (Bt, Msc & Qtz).

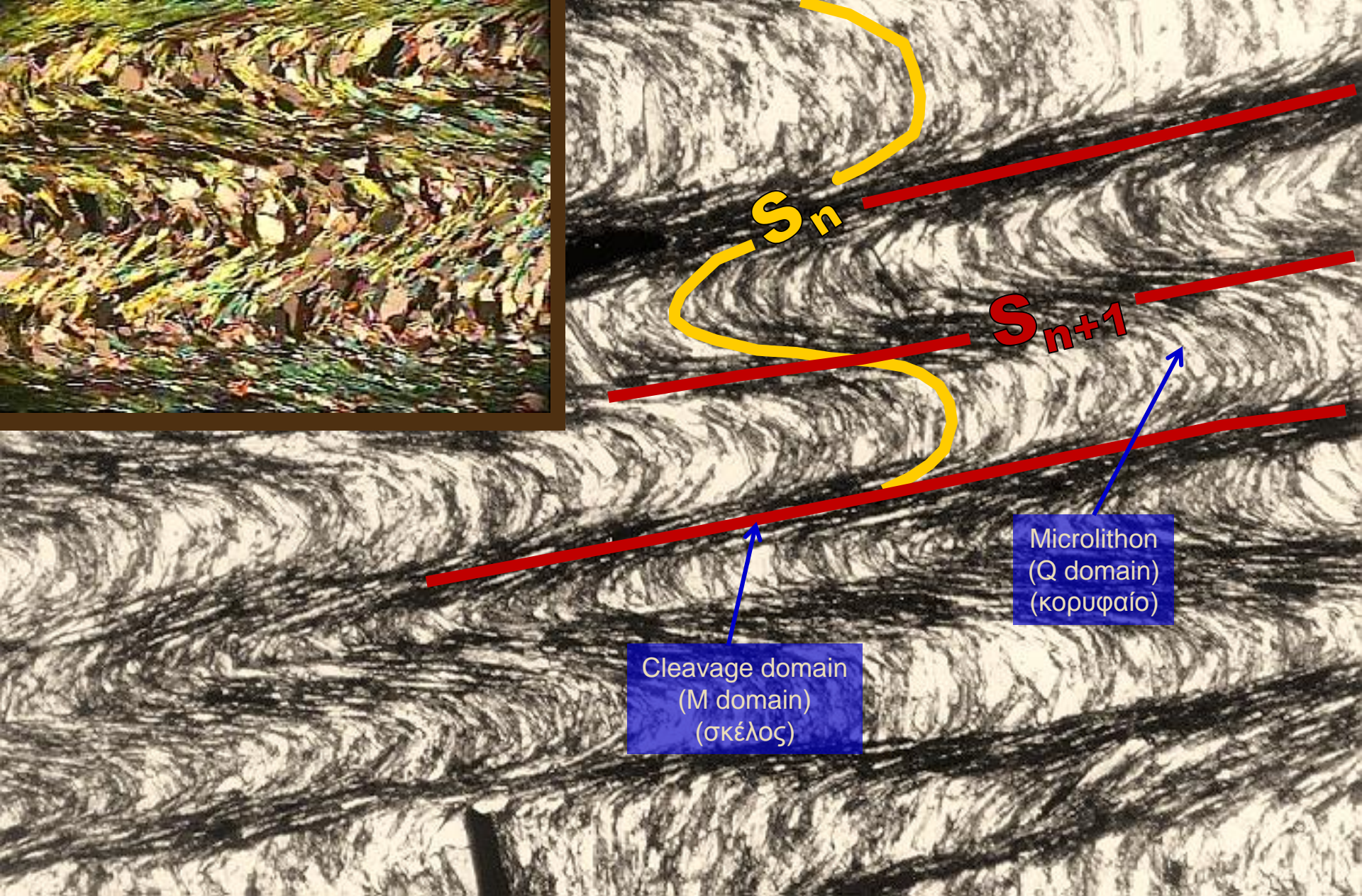
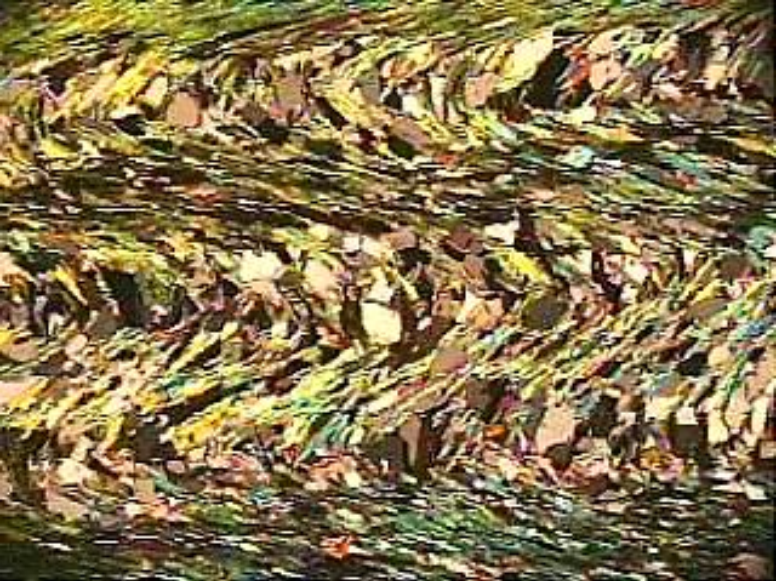


Continuous cleavage (slaty cleavage)  $S_n$ .

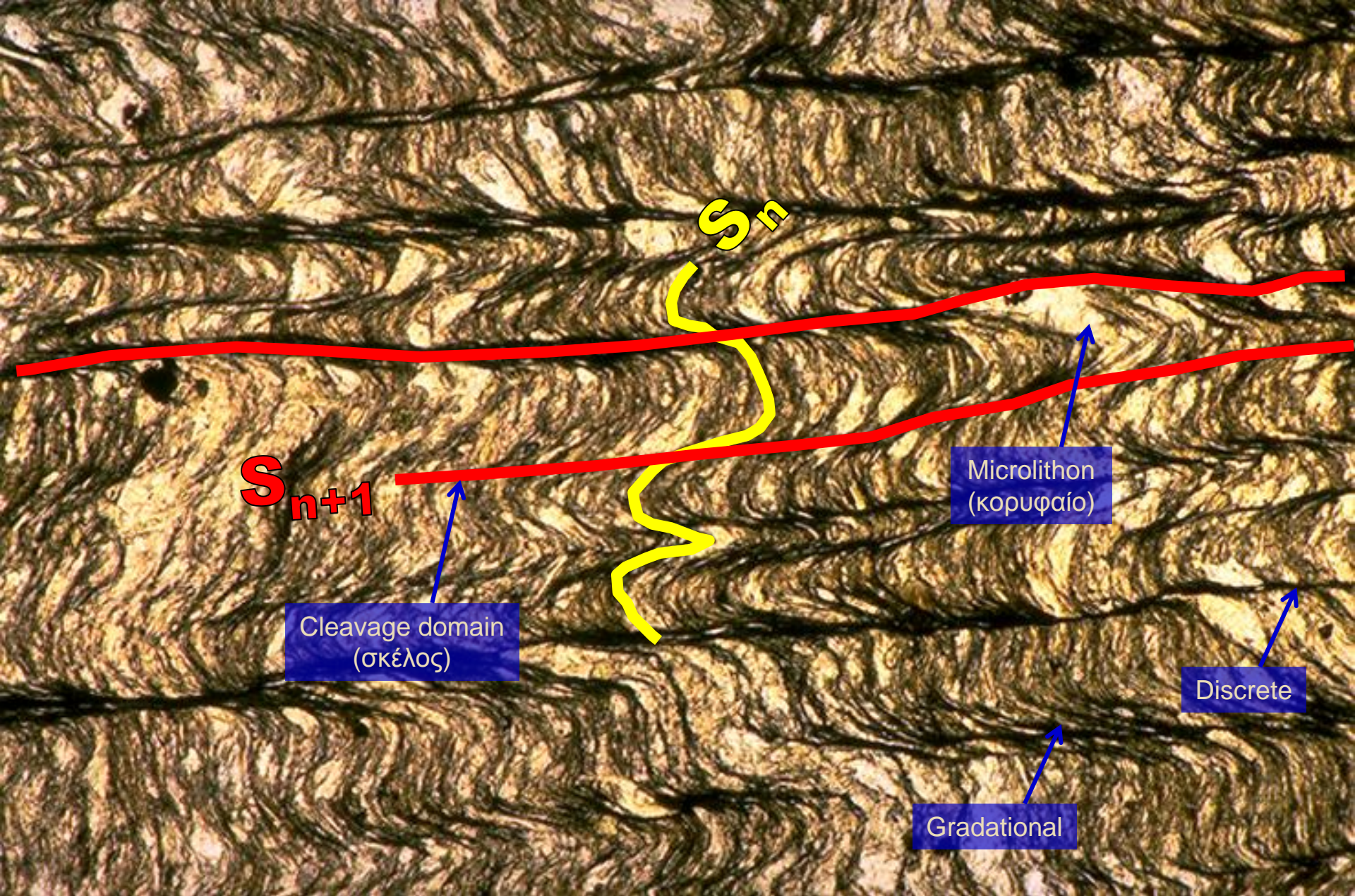


Disjunctive (smooth parallel gradational) cleavage (spaced foliation)  $S_{n+1}$ . Cleavage domain = Bt, Microlithons = Qtz. Η  $S_n$  αντιπροσωπεύει μια continuous schistosity.





(Zonal gradational smooth parallel) crenulation cleavage (spaced foliation)  $S_{n+1}$ . Cleavage domain = σκέλη μικροπτυχών, Microlithons = κορυφαία πτυχών. Η  $S_n$  αντιπροσωπεύει μια continuous schistosity.



$S_{n+1}$

$S_n$

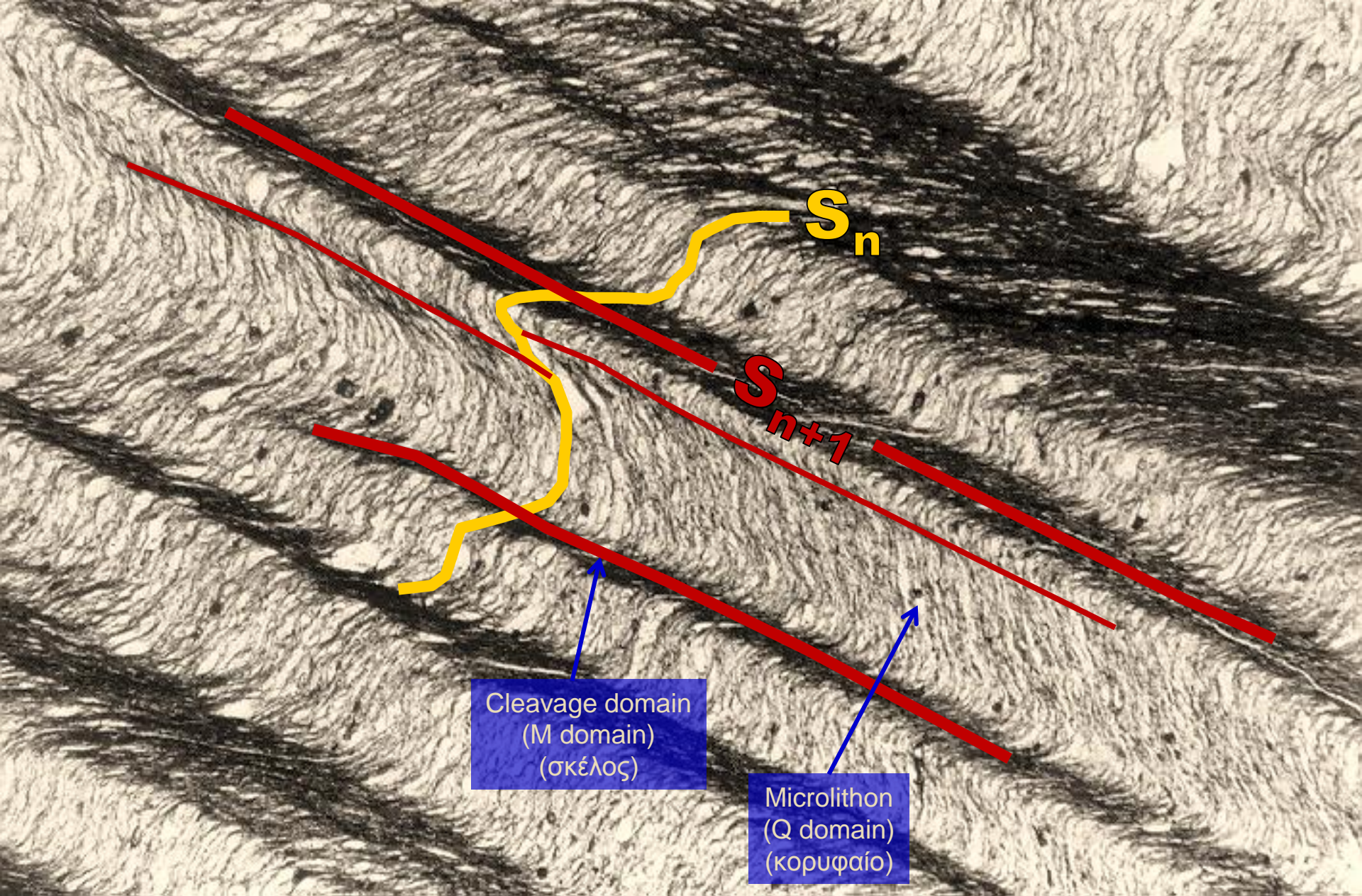
Cleavage domain  
(σκέλος)

Microlithon  
(κορυφαίο)

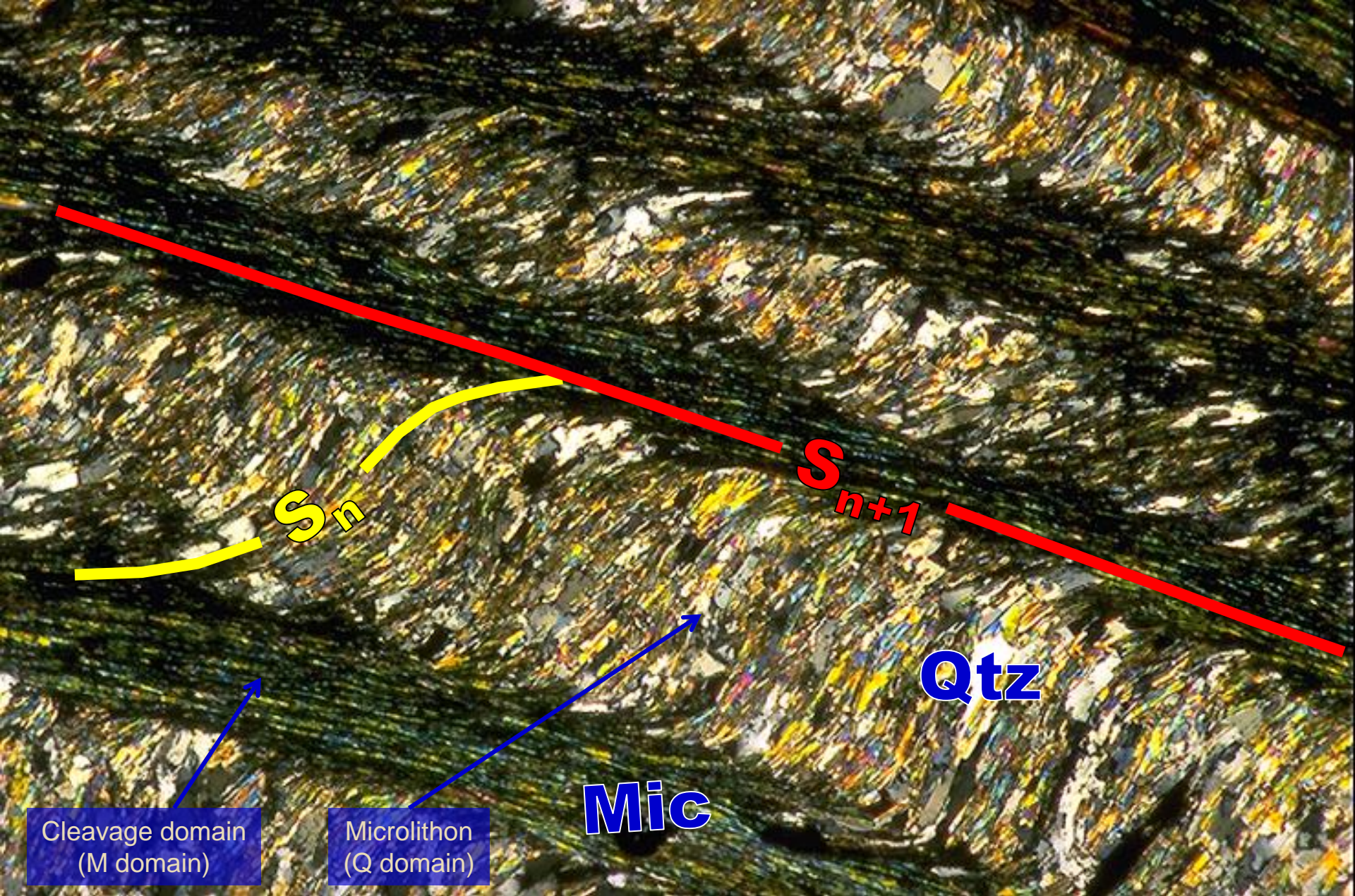
Discrete

Gradational

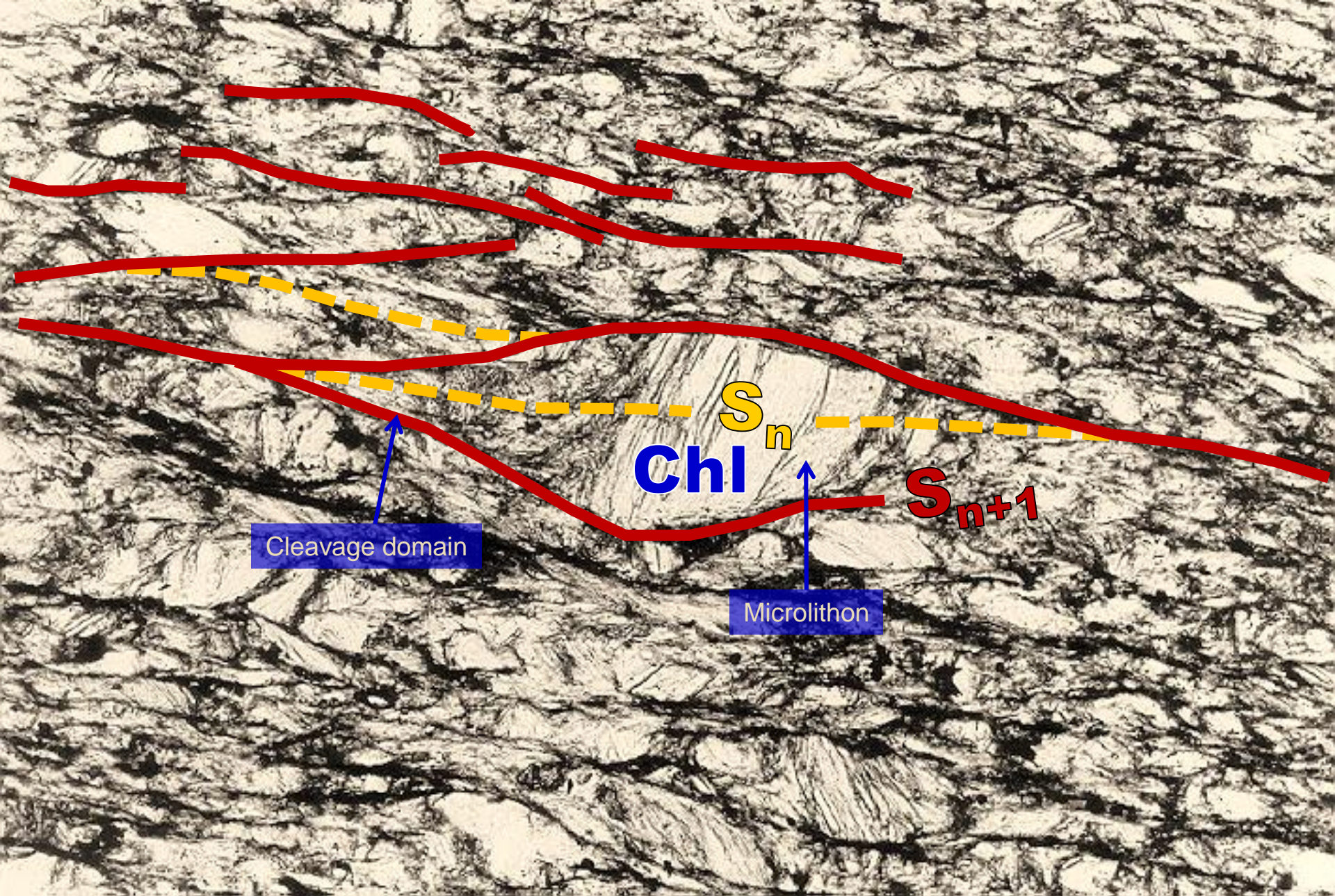
[Discrete (or gradational) rough (or smooth) parallel] crenulation cleavage (spaced foliation)  $S_{n+1}$ . Cleavage domain = σκέλη μικροπτυχών, Microlithons = κορυφαία πτυχών. Η  $S_n$  αντιπροσωπεύει μια continuous schistosity.



(Zonal smooth parallel) crenulation cleavage (spaced foliation)  $S_{n+1}$ . Cleavage domain 25%  $\rightarrow$  50%. Διπτός χαρακτήρας ως προς τη σύσταση και προοδευτική μετάβαση (gradational). Η  $S_n$  αντιπροσωπεύει μια continuous schistosity.



(Zonal smooth parallel) crenulation cleavage (spaced foliation)  $S_{n+1}$ . Cleavage domain 25%  $\rightarrow$  50%. Διπτός χαρακτήρας ως προς τη σύσταση και προοδευτική μετάβαση (gradational). Η  $S_n$  αντιπροσωπεύει μια continuous schistosity.



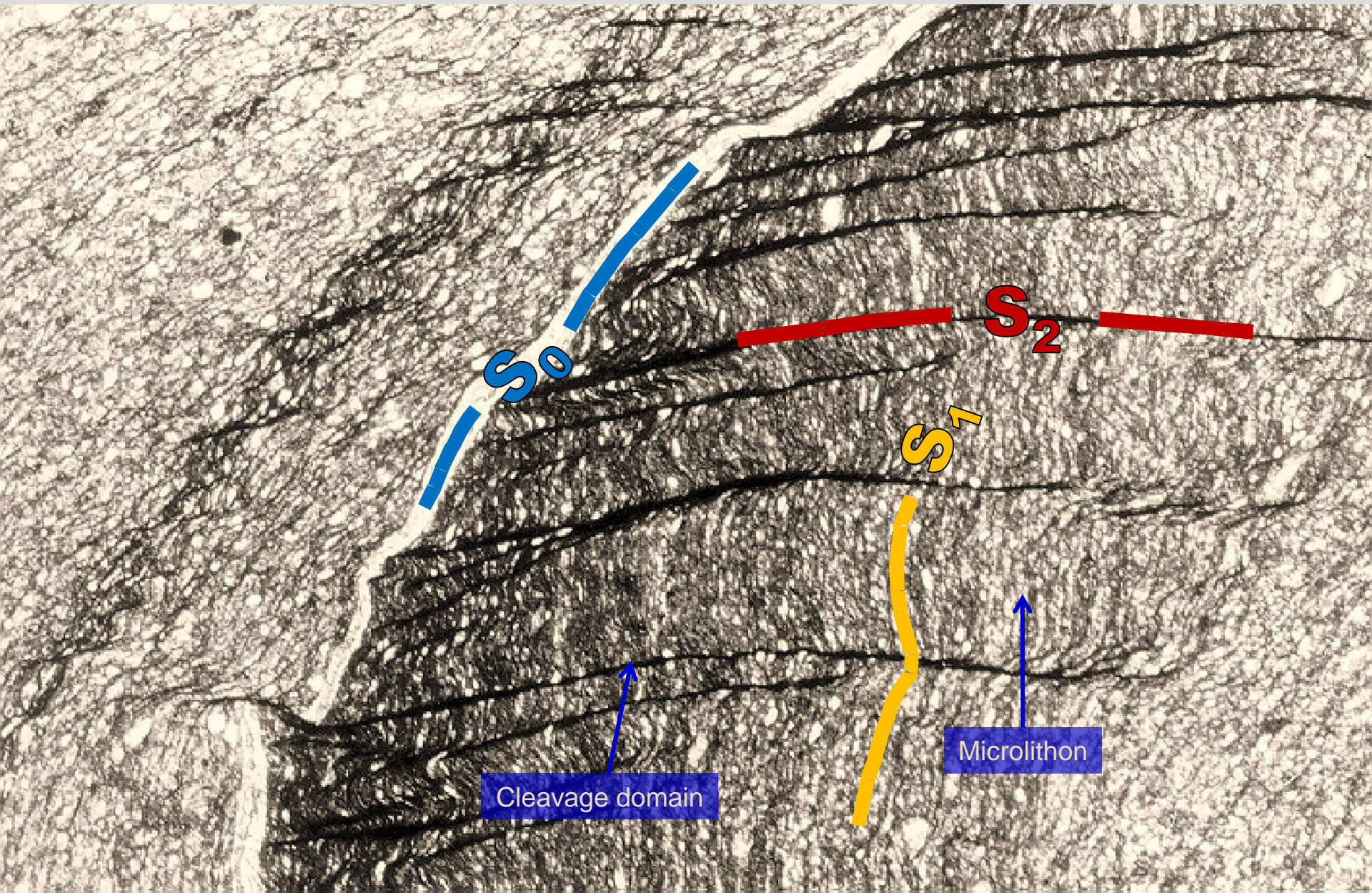
Cleavage domain

Microlithon

$S_n$   
Chl

$S_{n+1}$

Domainal (rough anastomosing discrete) spaced cleavage  $S_{n+1}$ . Microlithons = Chl. Η  $S_n$  αντιπροσωπεύει μια continuous schistosity.

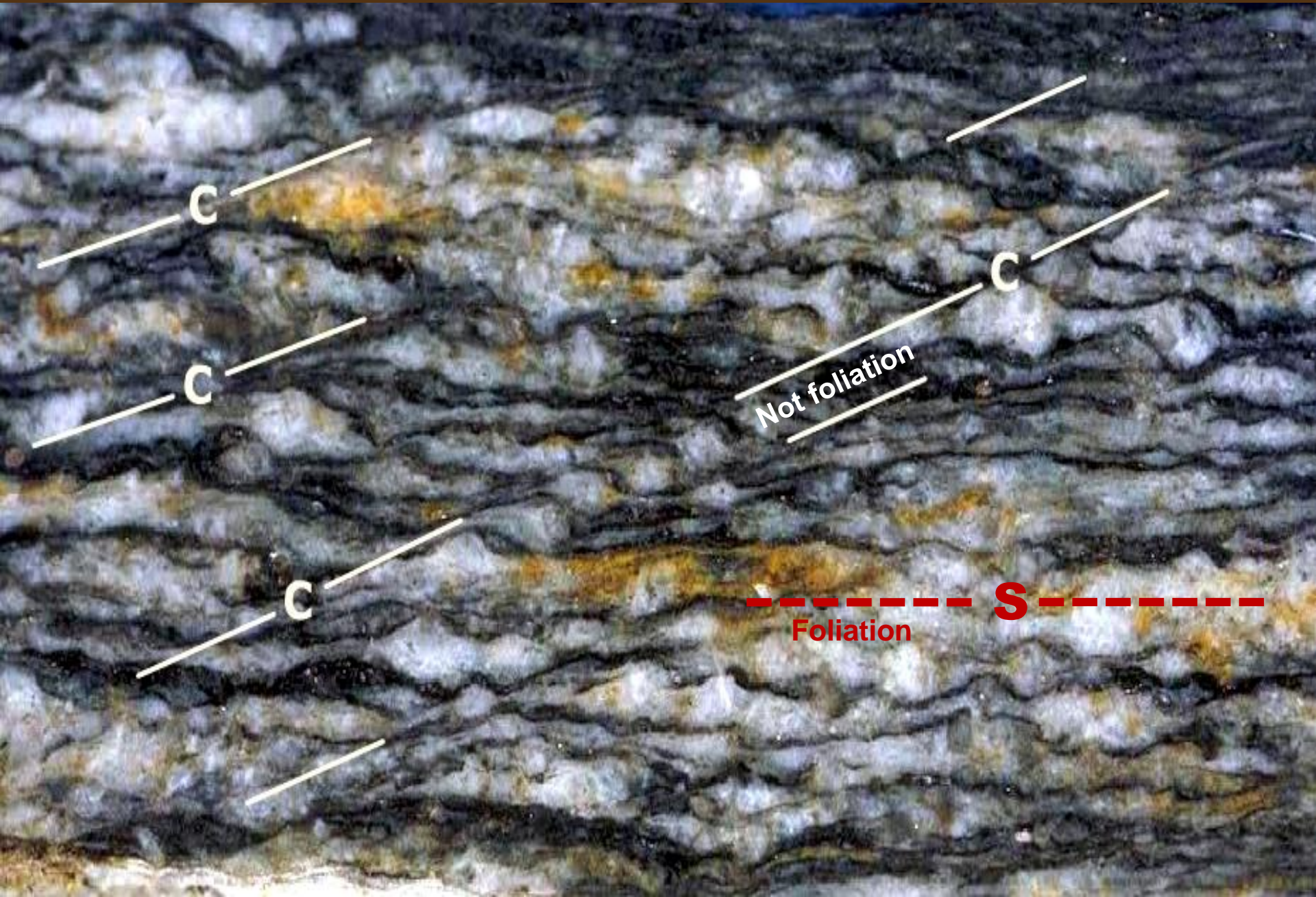


(Discrete rough, parallel) crenulation cleavage ( $S_2$ ), που επικαλύπτει ένα slaty cleavage ( $S_1$ ), που είναι υποπαράλληλο στη στρώση ( $S_0$ ).

# ΕΞΑΙΡΕΣΕΙΣ:

1. Fracture cleavage (ρηξισχισμός)







3. Deformation bands
4. Compaction bands



# ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΦΥΛΛΩΣΕΩΝ

## ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΦΥΛΛΩΣΕΩΝ

- Σύσταση και είδος πετρώματος.
- Προσανατολισμός του εντατικού πεδίου.
- Μέγεθος του εντατικού πεδίου.
- Συνθήκες μεταμόρφωσης (θερμοκρασία, λιθοστατική πίεση, πίεση ρευστών των πόρων & σύσταση των ρευστών των πόρων).

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ  
ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

&

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ  
ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΦΥΛΛΩΣΕΩΝ

Σχέση μορφολογίας φυλλώσεων και γενετικών διαδικασιών

Κατανόηση μηχανισμών ανάπτυξης φυλλώσεων

Ταυτόχρονη λειτουργία διαφορετικών μηχανισμών

.....για να θυμηθούμε κάποιους όρους της παραμόρφωσης που θα χρησιμοποιήσουμε στα επόμενα.

## ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ (STRAIN)

Η ιστορία της προοδευτικής παραμόρφωσης (progressive strain history), που χαρακτηρίζει μια ακολουθία πετρωμάτων ή ένα γεωλογικό σώμα, μπορεί να υποδιαιρεθεί σε επιμέρους τμήματα, ανάλογα με τη χρονική περίοδο που χρησιμοποιείται για να την περιγραφή της παραμόρφωσης. Συνήθως εφαρμόζεται η ακόλουθη ορολογία:

**Diagenetic deformation (διαγενετική παραμόρφωση):** Αναφέρεται στην παραμόρφωση που είναι το αποτέλεσμα διαδικασιών της διαγένεσης, όπως η συμπίκνωση (compaction) και η αποβολή του ύδατος (dewatering).

**Tectonic strain (τεκτονική παραμόρφωση):** Αναφέρεται στην παραμόρφωση που προκαλείται από τεκτονικά αίτια, συνήθως μετά τη διαγένεση.

**Incremental or infinitesimal strain (απειροστή παραμόρφωση):** Αναφέρεται στην επαύξηση της παραμόρφωσης σε ένα απειροστικά μικρό χρονικό διάστημα.

**Finite strain (πεπερασμένη παραμόρφωση):** Αναφέρεται σε ένα τμήμα της τεκτονικής παραμόρφωσης, δηλαδή στην παραμόρφωση που έχει συσσωρευθεί για μια συγκεκριμένη (μετρήσιμη) χρονική περίοδο. Π.χ. μπορεί να αναφέρεται στη παραμόρφωση της  $D_1$  παραμορφωτικής φάσης, σε σύγκριση με την συνδυασμένη παραμόρφωση που αποκτήθηκε κατά τις  $D_2$  και  $D_3$  παραμορφωτικές φάσεις, ή ακόμα και σε σύγκριση με την τεκτονική παραμόρφωση. Ο όρος χρησιμοποιείται συνήθως σε αντιδιαστολή με το incremental strain.

**Total strain (συνολική παραμόρφωση):** Ο όρος αυτός αναφέρεται, συνήθως, στην συνολικά συσσωρευμένη παραμόρφωση σε ένα πέτρωμα, περιλαμβάνοντας τόσο τη διαγενετική, όσο και την τεκτονική παραμόρφωση.

# Συνοπτική παρουσίαση των βασικών μηχανισμών ανάπτυξης δευτερογενών φυλλώσεων

**Rigid grain rotation (άκαμπτη περιστροφή κόκκων):** Μηχανική και, κυρίως, άκαμπτη περιστροφή των κόκκων μέχρι παραλληλισμού.

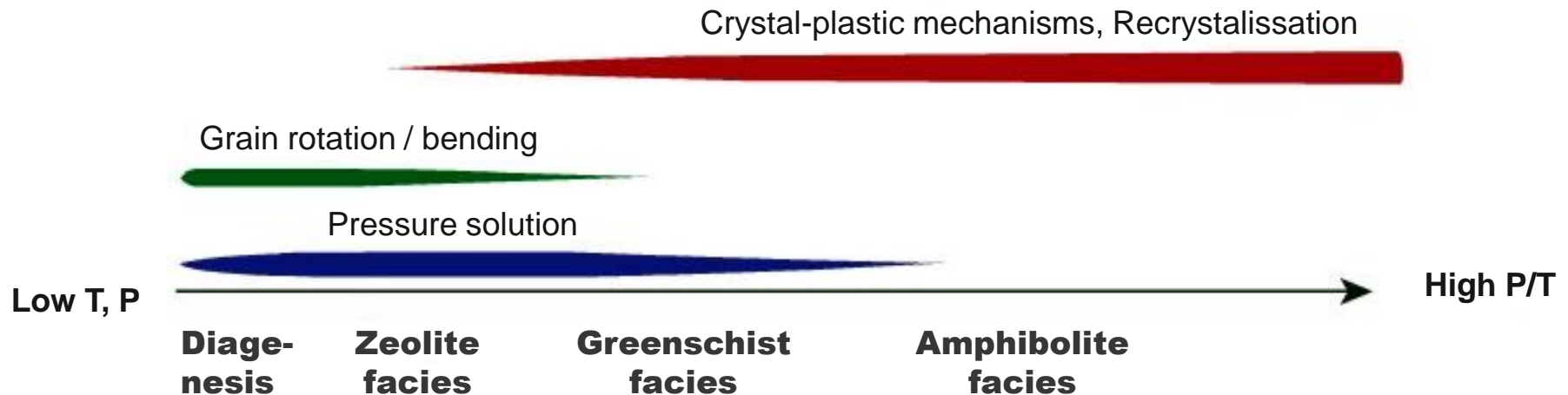
**Grain bending (κάμψη κόκκων):** Κάμψη (μικροπτύχωση – **crenulation**) επιδεκτικών σε αυτή την παραμόρφωση, ορυκτών

**Pressure solution (διάλυση υπό πίεση):** Διαλυτοποίηση (**dissolution**) των κρυστάλλων στα όρια που είναι εγκάρσια στον  $\sigma_1$ .

**Recrystallisation (ανακρυστάλλωση):** Οι κόκκοι των ορυκτών ανακρυσταλλώνονται σε νέα και παράλληλα μεταξύ τους ορυκτά.

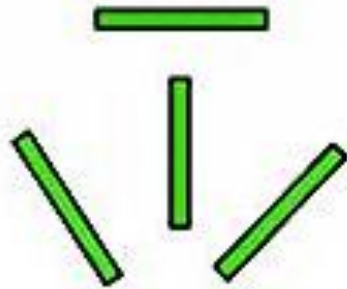
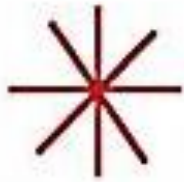
**Neocrystallisation (νεοκρυστάλλωση):** Σχηματισμός νέων ορυκτών από την καταστροφή (διάλυση) των προηγούμενων (και διαφορετικών φυσικά) ορυκτών, διαδικασία που προκαλεί την ορυκτολογική διαφοροποίηση του πετρώματος.

Συνθήκες P/T (μεταμόρφωσης) που κινητοποιούνται οι ανωτέρω μηχανισμοί

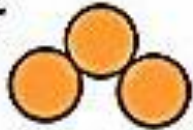


## Συνοπτική παρουσίαση ορισμένων σημαντικών μηχανισμών ανάπτυξης δευτερογενών φυλλώσεων

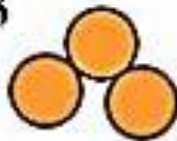
1



2



3



4



5



7



6

8



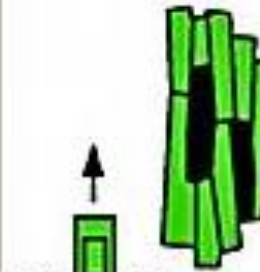
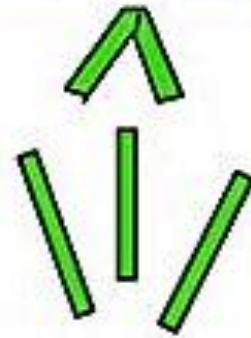
1. Μηχανική περιστροφή-κάμψη.

2. Μεταφορά διαλυμάτων λόγω τεκτονικών τάσεων (stress-induced solution transfer → dissolution & precipitation).

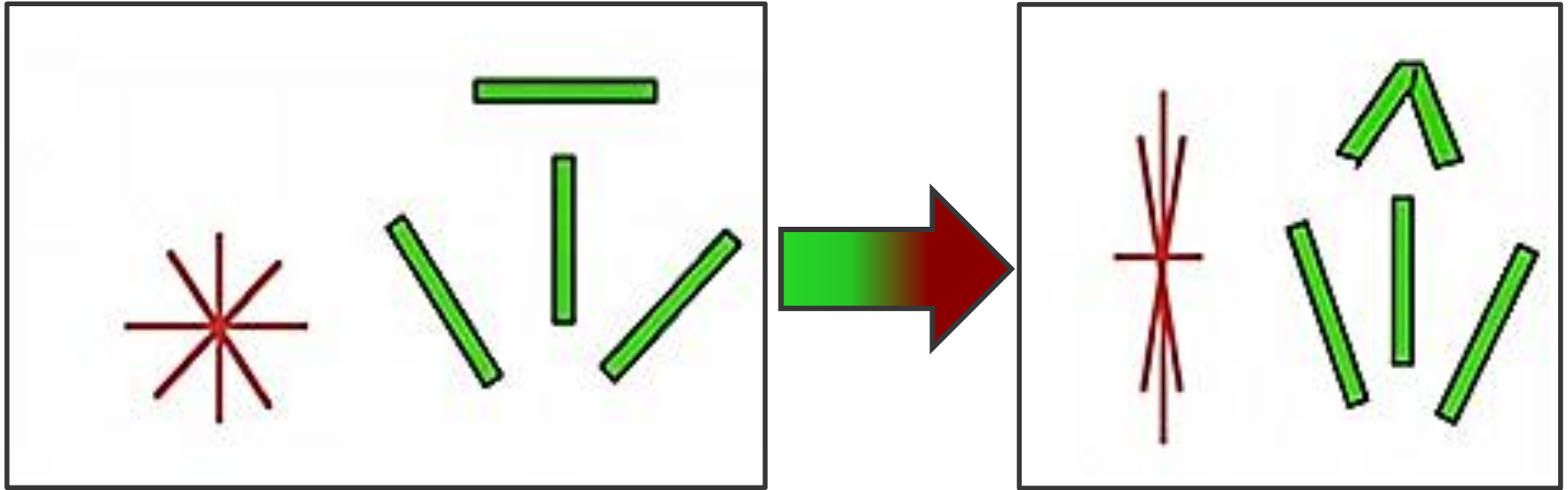
3 & 5. Κρυσταλλοπλαστική παραμόρφωση (crystal plastic deformation → dynamic recrystallisation → dislocation creep & solid-state volume diffusion).

4. Συνδυασμός μηχανισμών 1+2.

5, 6, 7 & 8. Στατική ανακρυστάλλωση (static recrystallisation) και μιμητική ανάπτυξη (mimetic growth).



# 1. Μηχανική περιστροφή (ή κάμψη) επίμηκων ή πινακοειδών κόκκων



Επιμήκεις κρύσταλλοι **περιστρέφονται** λόγω της αντίδρασης στην παραμόρφωση. Ο **βαθμός περιστροφής** εξαρτάται από τον **αρχικό προσανατολισμό** των κρυστάλλων. Π.χ. όταν είναι παράλληλος στην βράχυνση μπορεί να πτυχωθεί, ή όταν είναι σε διαγώνια θέση ως προς την βράχυνση ο ρυθμός περιστροφής είναι μικρότερος.

Κατά τη **ομοιογενή πλαστική παραμόρφωση (homogeneous ductile deformation)** μια ομάδα από τυχαία προσανατολισμένα επιμήκη (elongate) ή πινακοειδή (tabular) ορυκτά (π.χ. **αμφίβολοι** και **μαρμαρυγίες**), τείνουν να περιστραφούν με τέτοιο τρόπο ώστε ο **κύριος προσανατολισμός τους να ταυτίζεται με το XY-επίπεδο** της πεπερασμένης παραμόρφωσης (το επίπεδο που είναι κάθετο στον **Z** άξονα της βράχυνσης).

eg. spaced shear zones  
in a mica-bearing granite.

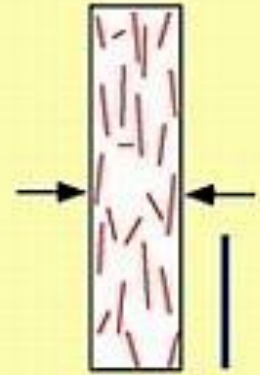
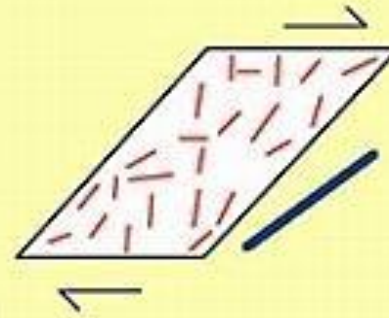
### ORIGINAL FABRIC

### BULK SIMPLE SHEAR

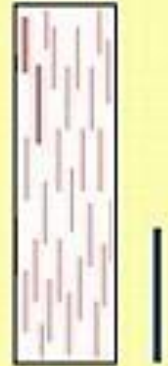
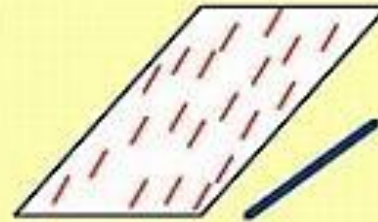
### BULK PURE SHEAR

Τυχαίος αρχικός  
προσανατολισμός των  
απομονωμένων επιμήκων ή  
τραπεζοειδών ορυκτών.

a

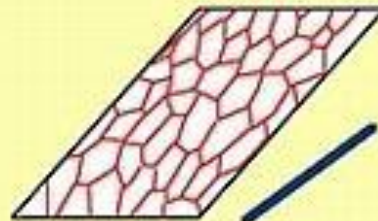
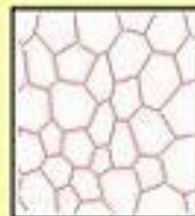


b

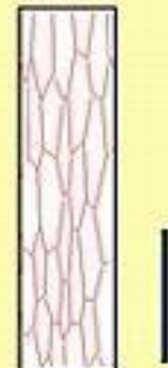


Υπαρξη αρχικού προτιμητέου  
προσανατολισμού των  
απομονωμένων επιμήκων ή  
τραπεζοειδών ορυκτών.

c

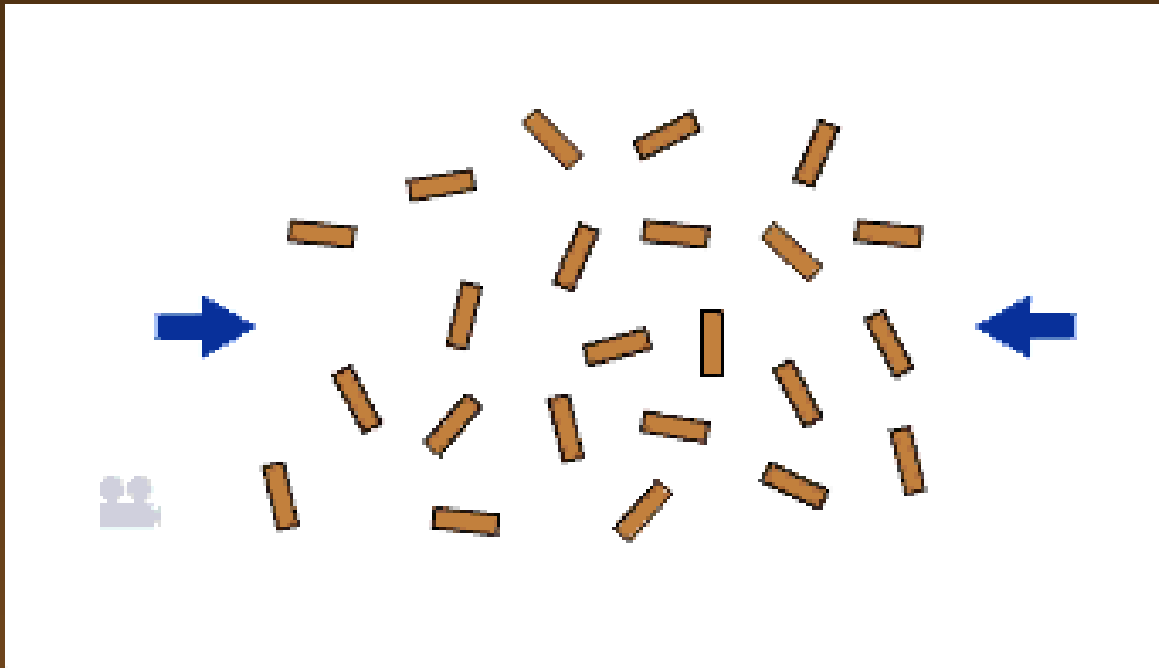


grain shape  
preferred  
orientation



Αρχικός ιστός από κοκκώδη  
ορυκτά.

Προσανατολισμός του XY-επιπέδου (δηλ. του επιπέδου που είναι εγκάρσιο  
στη διεύθυνση της βράχυνσης) της πεπερασμένης παραμόρφωσης (finite strain).

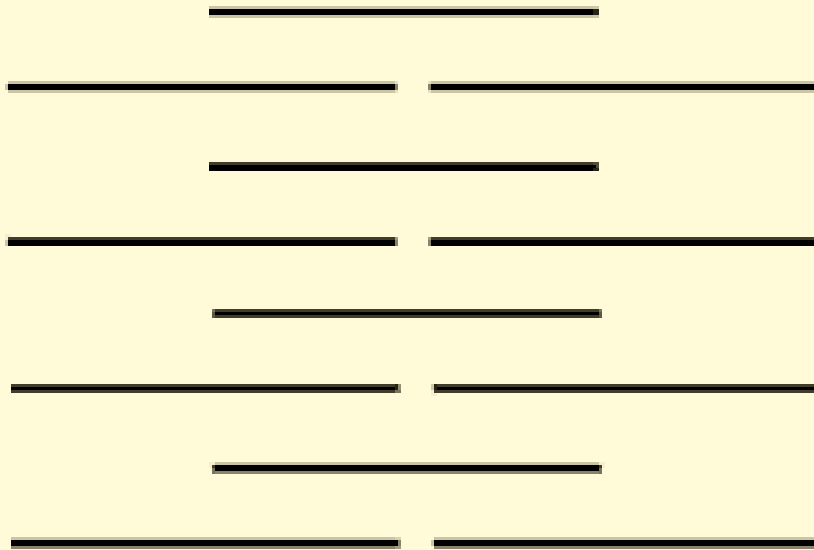


Η άκαμπτη περιστροφή κόκκων κατά τη διάρκεια της παραμόρφωσης, οδηγεί στη δημιουργία φύλλωσης, με προσανατολισμό εγκάρσιο στη διεύθυνση της κύριας βράχυνσης.

Το **grain rotation** κάποτε εθεωρείτο σημαντικός μηχανισμός για τη δημιουργία τεκτονικής φύλλωσης στα πετρώματα. Οι έρευνες των τελευταίων ετών έχουν δείξει ότι δεν είναι τόσο σημαντικός, εκτός από τις περιπτώσεις που το πέτρωμα περιέχει **άκαμπτα ορυκτά**, όπως οι άστριοι ή οι αμφίβολοι, μέσα σε μια **μάζα** από πιο "μαλακά" ορυκτά.

Σημαντικός μηχανισμός σε **συνθήκες μη-μεταμόρφωσης**, όπου  $T$  πολύ χαμηλή για να επιτρέψει ανακρυστάλλωση και νεοκρυστάλλωση και η διάλυση υπό πίεση (pressure solution) λειτουργεί οριακά. Το **compaction cleavage** είναι το καλύτερο παράδειγμα.





Η κάμψη των φυλλοπυριτικών ορυκτών δημιουργεί μια καινούργια (κατακόρυφη) φύλλωση, γνωστή ως πτυχοσχισμός (crenulation cleavage).



Τα **φυλλοπυριτικά ορυκτά** είναι **εύκαμπτα**, ακόμα και σε **επιφανειακές** θερμοκρασίες και ως εκ τούτου μπορούν εύκολα να κάμπτονται με την επιβολή τεκτονικών τάσεων. Η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα ακόμα και κατά την συμπύκνωση των κλαστικών ιζημάτων και είναι σημαντική για τη **δημιουργία σχισμού** (cleavage) σε **συνθήκες low-T**.

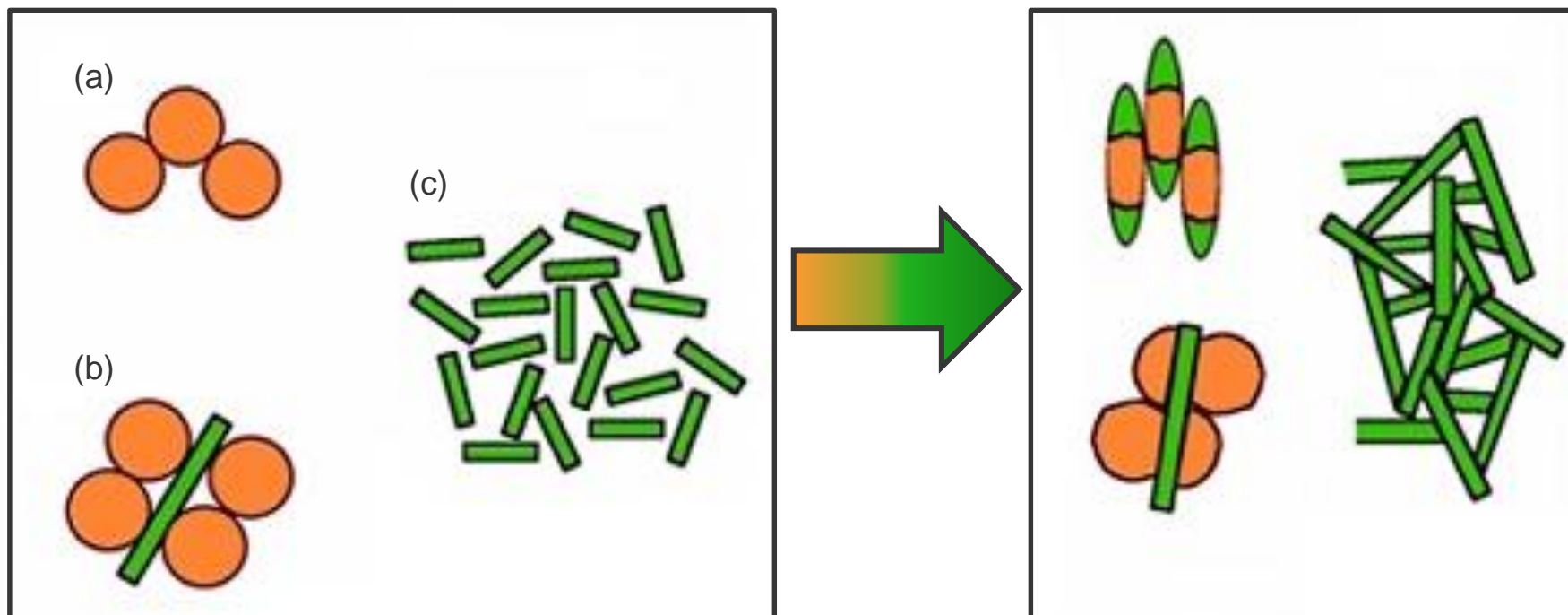
Η διαδικασία αυτή, απλοποιημένα, αντιστοιχεί στις πτυχές τύπου **flexural slip**.

Επισημαίνεται ότι ο μηχανισμός της **κάμψης** και δημιουργίας crenulation cleavages είναι σημαντικός μόνο για τα **πινακοειδή, πεπλατυσμένα ορυκτά**. Άλλοι μηχανισμοί, και κυρίως η **διάλυση υπό πίεση** (**pressure solution**), είναι **σημαντικοί** κατά τη διάρκεια του σχηματισμού **crenulation cleavages**.



Η σε μικρή κλίμακα κάμψη (crenulation or kinking) των φυλλοπυριτικών ορυκτών του φυλλιτικού πετρώματος της φωτογραφίας, καθορίζει μια καινούργια (οριζόντια) και όχι καλά διακριτή δευτερογενή (τεκτονική) φύλλωση. Τα (σκληρά και άκαμπτα) σκούρα ορυκτά έχουν απλώς περιστραφεί.

## 2. Μεταφορά διαλυμάτων (dissolution → solution transfer → precipitation)



Μηχανισμοί **pressure solution** και **solution transfer** μπορούν να δημιουργήσουν **επιμήκεις κρυστάλλους** που θα καθορίσουν μια δευτερογενή φύλλωση (a). Δημιουργούν, επίσης, **σκοτεινές ζώνες συναρμογής** παράλληλες με τα επίπεδα της διαλυτοποίησης, με **στυλολιθική** ή **επίπεδη** γεωμετρία.

Η επιλεκτική μεταφορά των διαλυμάτων και η απόθεση κάπου αλλού, μπορεί να συνεισφέρει στην **περεταίρω περιστροφή** και **καλύτερο προσανατολισμό** επιμήκων ορυκτών, ενισχύοντας τη διαμόρφωση της φύλλωσης (b).

Η **επιλεκτική διαλυτοποίηση** και ο επακόλουθος σταδιακός περιορισμός των **micas** με τα **(001) επίπεδα** // στην **βράχυνση**, συνεισφέρει στην **επαύξηση** των **micas** με **(001) // στην διεύθυνση της έκτασης** και άρα στην εντονότερη διαμόρφωση της φύλλωσης (c).

(a)



(b)



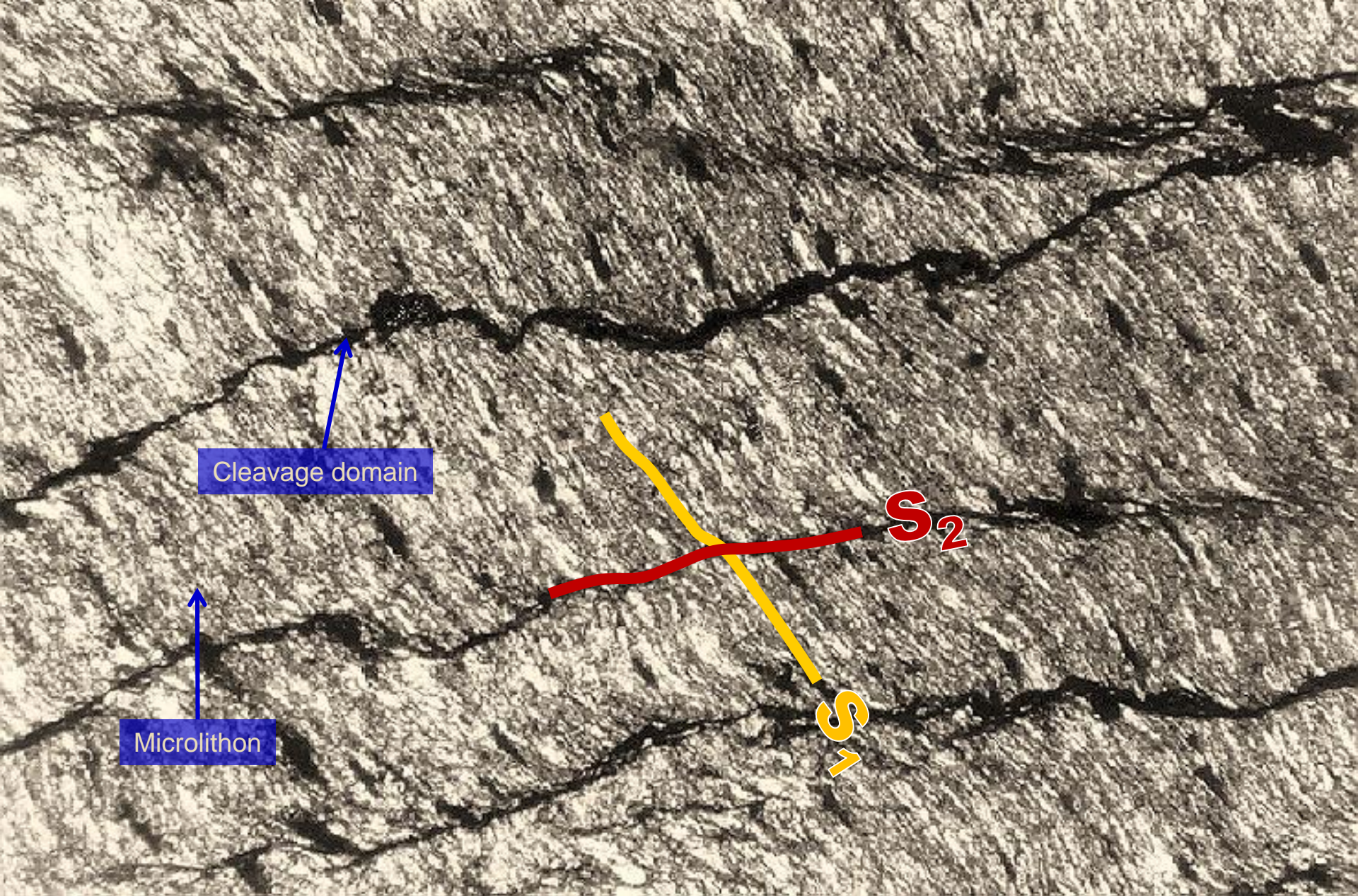
Η διαλυτοποίηση (dissolution ή pressure solution ή wet diffusion) των ορυκτών, κατά μήκος των ορίων που σχηματίζουν μεγάλες γωνίες με τον  $\sigma_1$ , και η επανα-απόθεση (precipitation) προς τη μεριά των ορίων που είναι εγκάρσια στον  $\sigma_3$ , δημιουργεί ένα προτιμητέο προσανατολισμό, που διαμορφώνει μια δευτερογενή φύλλωση (a). Καθοριστικοί παράγοντες είναι:

- i) το καθεστώς των τάσεων στα όρια των κόκκων,
- ii) η θερμοκρασία,
- iii) η παρουσία ρευστών κατά μήκος των ορίων και
- iv) το χημικό δυναμικό τους.

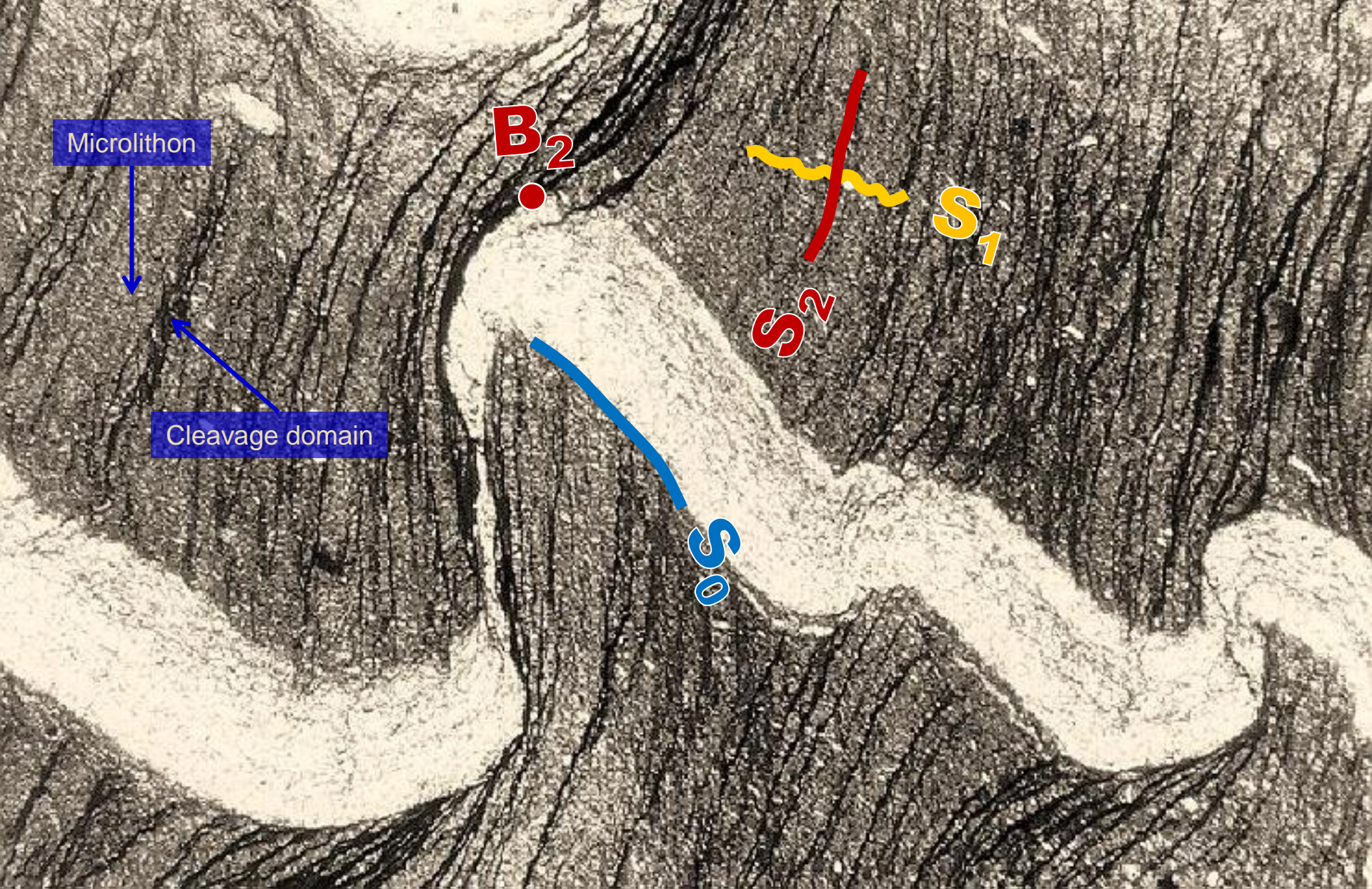
Η επανα-απόθεση υλικού μπορεί να γίνει μόλις λίγα mm ή cm πιο μακριά. Μπορεί, επίσης, να δημιουργήσει φλεβίδια (veins). Εναλλακτικά, το διαλυτοποιημένο υλικό μπορεί να απομακρυνθεί από το πέτρωμα, προξενώντας μείωση όγκου (b).



Στυλόλιθοι σε ασβεστόλιθο. Χαρακτηρίζονται από μια σκοτεινή ζώνη συναρμογής, που αναπτύσσεται παράλληλα με τα επίπεδα της διαλυτοποίησης και περιέχει αδιάλυτο υλικό.

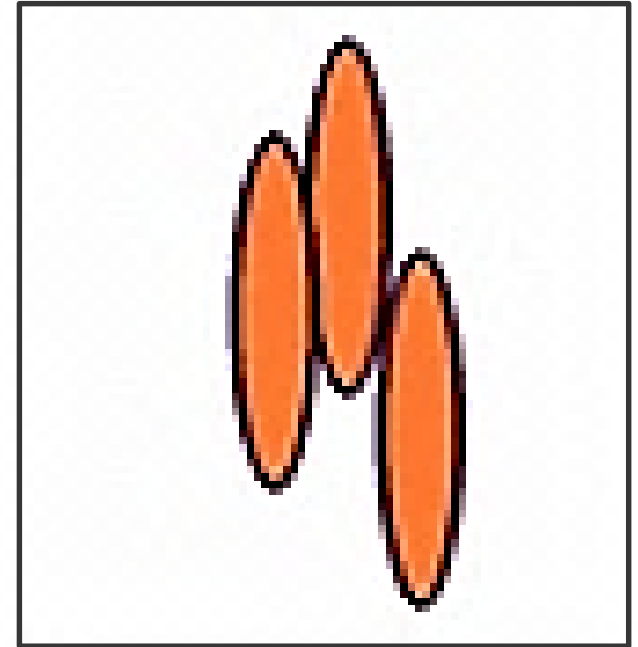
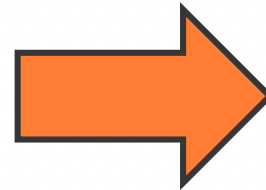
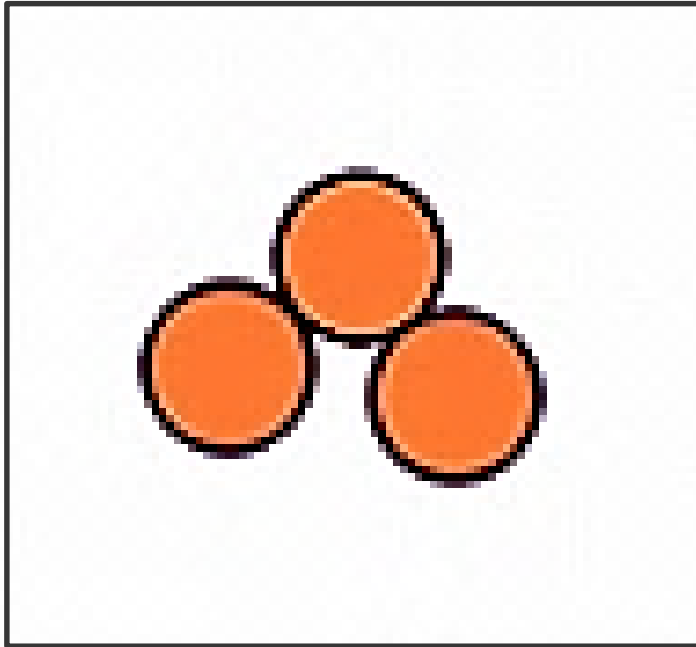


Discrete crenulation cleavage ( $S_2$ ) επικαλύπτει ένα παλαιότερο slaty cleavage ( $S_1$ ). Οι επιφάνειες του σχισμού καθορίζονται από σχετικά επίπεδες σκοτεινές ζώνες συναρμογής (seams), που ταυτίζονται με τις επιφάνειες διαλυτοποίησης και περιέχουν αδιάλυτο υλικό.



Discrete crenulation cleavage ( $S_2$ ) επικαλύπτει ένα παλαιότερο slaty cleavage ( $S_1$ ), που είναι υποπαράλληλο με τη στρώση ( $S_0$ ). Οι σκοτεινές επιφάνειες του σχισμού ( $S_2$ ) καθορίζονται από φαινόμενα διαλυτοποίησης που πιστοποιούνται χαρακτηριστικά από το εκλεπτυσμένο κατακόρυφο σκέλος της πτυχής ( $B_2$ ).

### 3. Κρυσταλλοπλαστική παραμόρφωση (crystalplastic deformation), δυναμική ανακρυστάλλωση (dynamic recrystallisation) και νεοκρυστάλλωση (neocrystallisation).

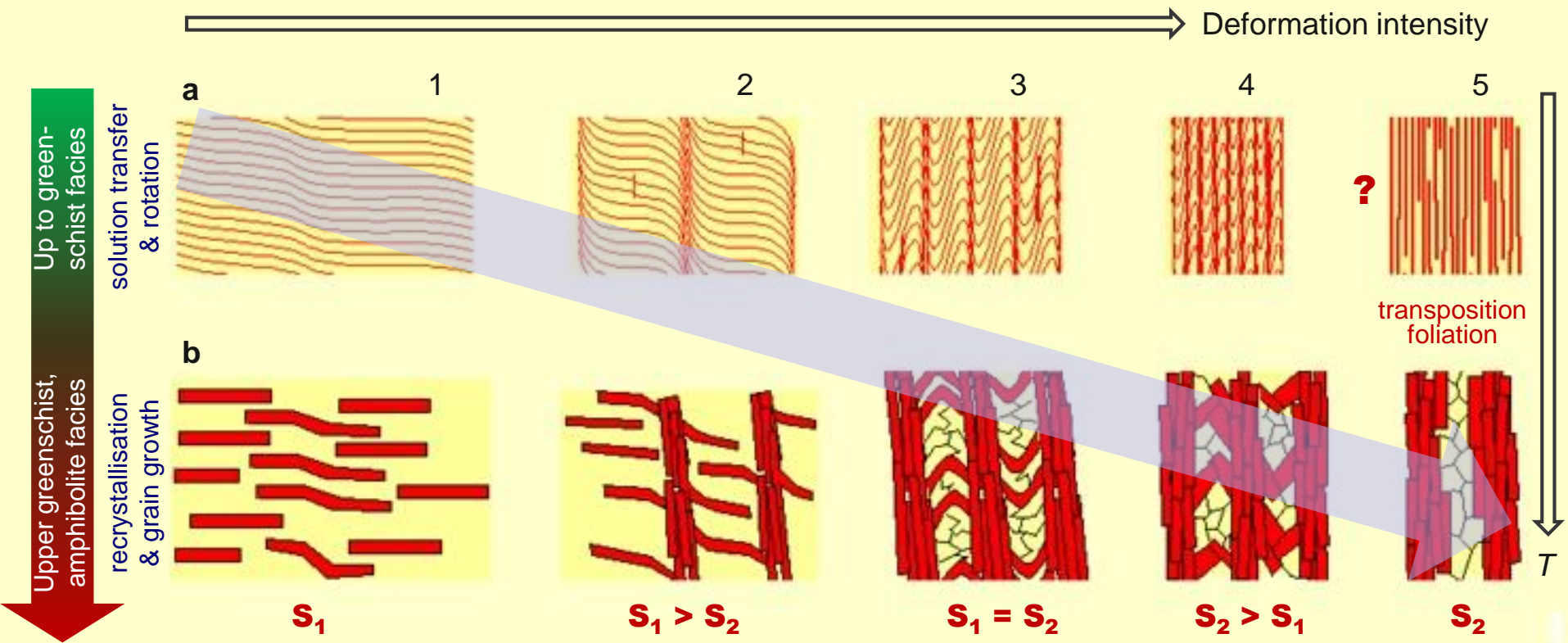


Κόκκοι ορυκτών που παραμορφώνονται με **κρυσταλλοπλαστικές** διαδικασίες, όπως:

- **dislocation creep** (μηχανισμός **intracrystalline deformation**),
- **pressure solution & solution transfer** (μηχανισμός **dissolution & precipitation**) και
- **solid state diffusion creep**,

μπορούν να αποκτήσουν ένα **πεπλατυσμένο ή επίμηκες σχήμα με τη μέγιστη έκταση παράλληλα με το ΧΥ-επίπεδο της πεπερασμένης παραμόρφωσης (finite strain)**, που αποκαλείται **προτιμητέος προσανατολισμός σχήματος (shape preferred orientation)**.

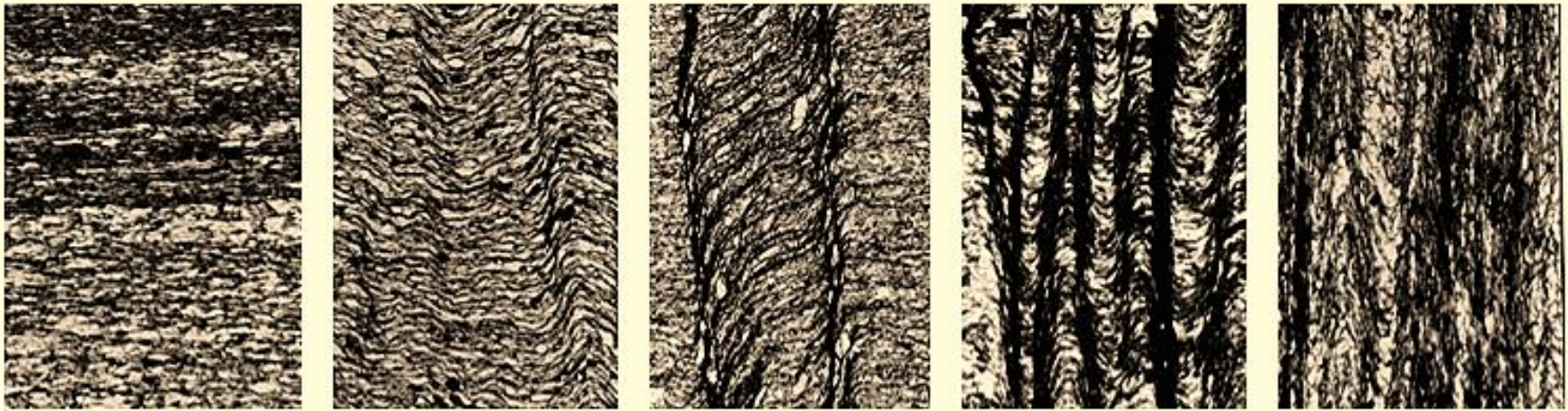




Η **δυναμική ανακρυστάλλωση** και η ανάπτυξη νέων προσανατολισμένων ορυκτών (π.χ. micas), αποτελεί σημαντικό **μηχανισμό** για την **ανάπτυξη φυλλώσεων**. Η παραμόρφωση (crenulation or kinking) προϋπαρχόντων micas συσσωρεύει ενέργεια στους κρυστάλλους και προκαλεί δυναμική ανακρυστάλλωση με προσανατολισμένους νέους κρυστάλλους, που διαμορφώνουν έτσι τη φύλλωση.

Στην περίπτωση του **χαλαζία** και των **αστρίων**, ακόμα και οι διαδικασίες του **recovery** οδηγούν στη δημιουργία επιμηκυμένων και προσανατολισμένων υποκόκκων (sybgrains). Η **αύξηση** της **παραμόρφωσης** θα οδηγήσει τελικά και σε **SGR ανακρυστάλλωση**, οι υποκόκκοι θα γίνουν ανεξάρτητοι προσανατολισμένοι κρύσταλλοι που το σχήμα τους θα διαμορφώσει τη νέα φύλλωση (**shape preferred orientation**).

Deformation intensity →



a

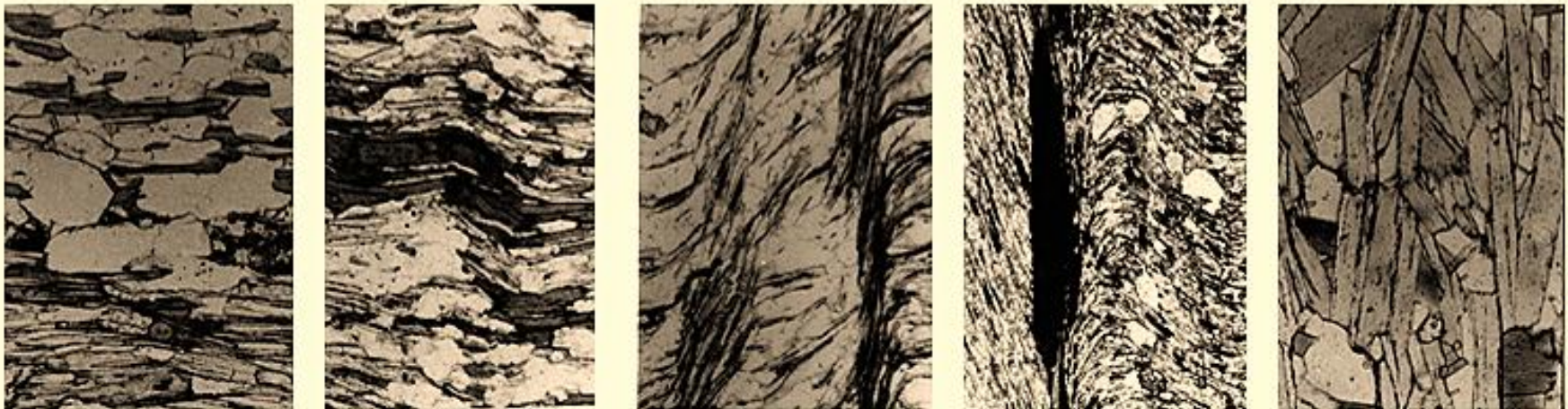
$S_1$

$S_1 > S_2$

$S_1 = S_2$

$S_2 > S_1$

$S_1$  totally transposed by  $S_2$



b

1

2

3

4

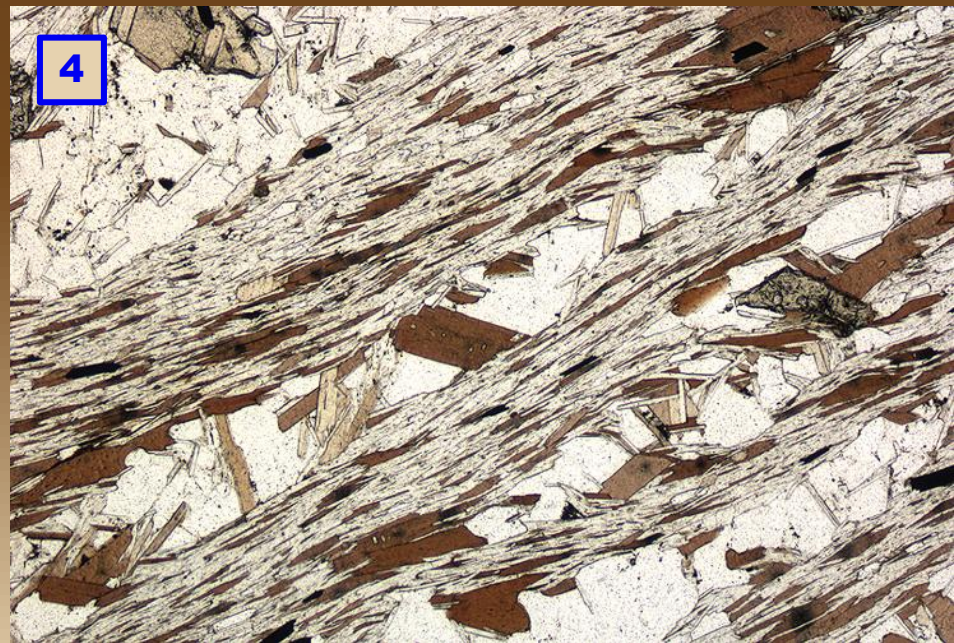
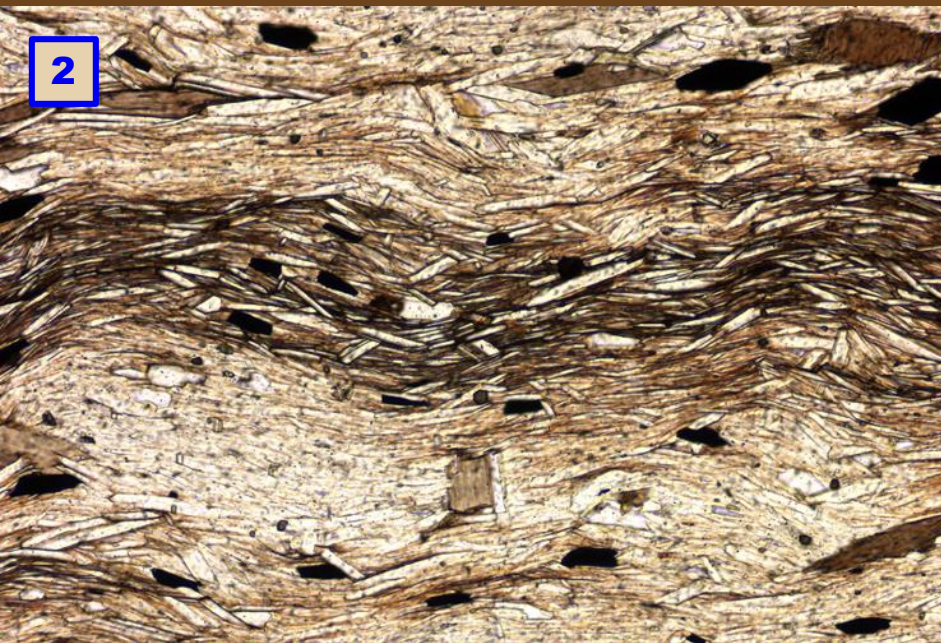
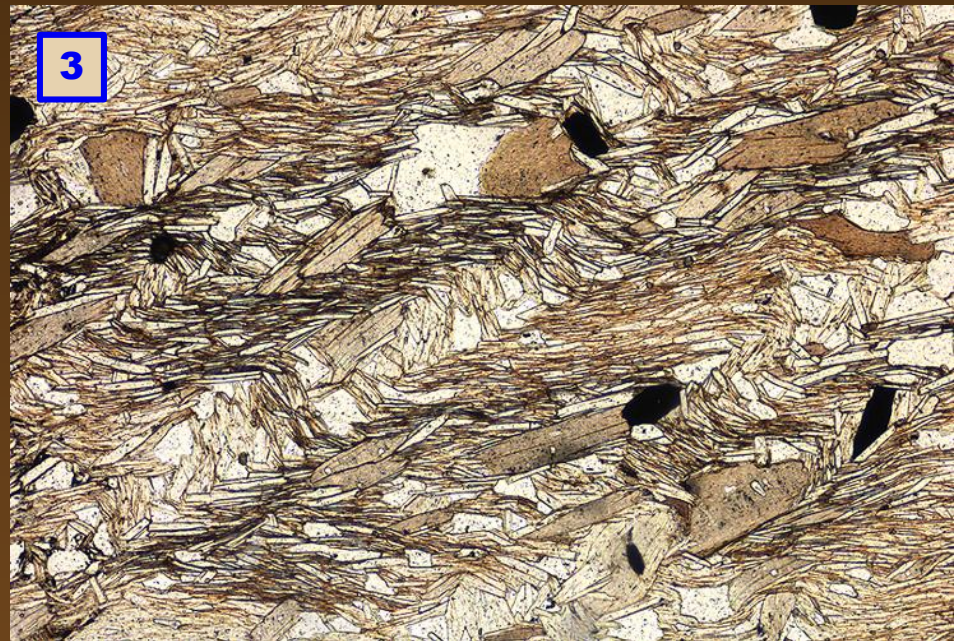
5

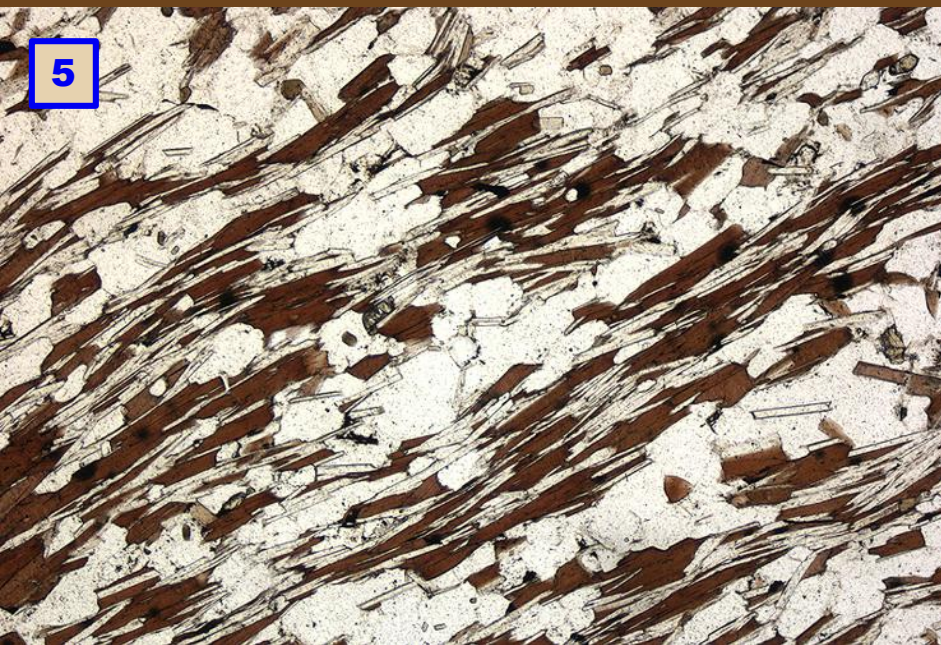
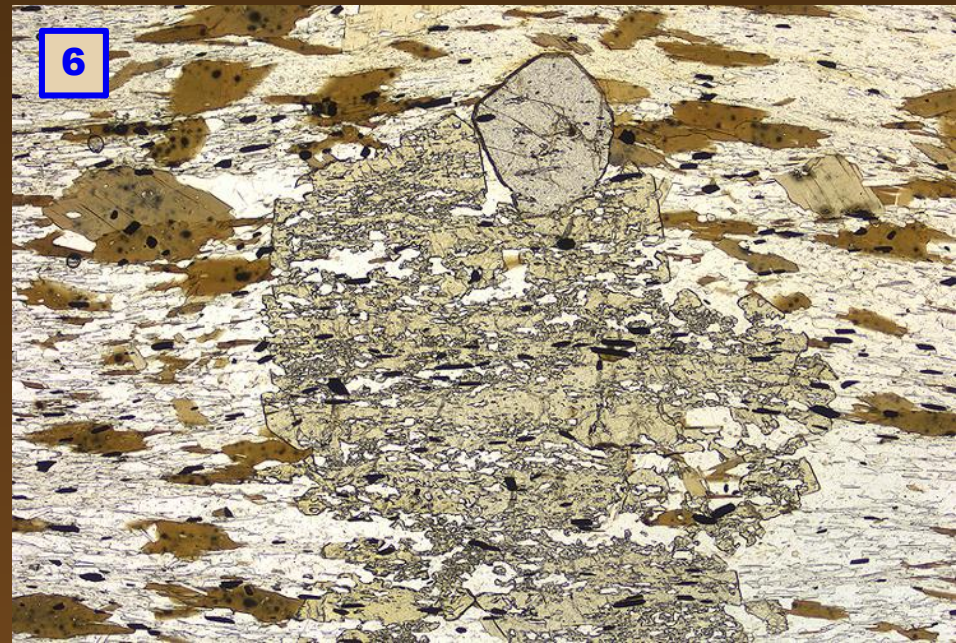
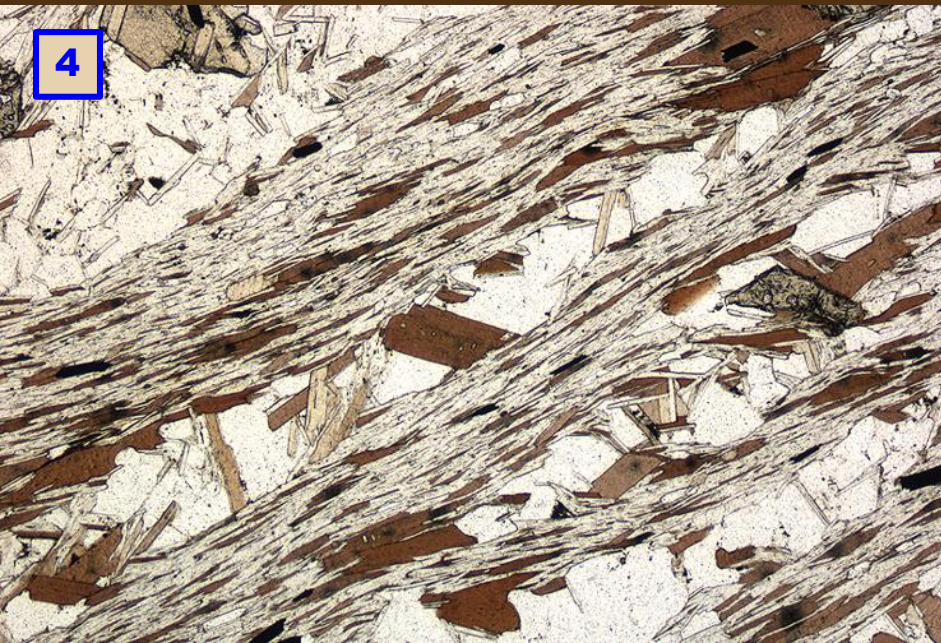
T ↓

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη crenulation cleavage είναι:

- η παρουσία και δραστηριοποίηση μιας ρευστής φάσης,
- η παρουσία ευδιάλυτων ορυκτών και
- η ανάπτυξη νέων ορυκτών.

Σε συνθήκες Low T η αντιμετάθεση (transposition, στάδιο 5a) δεν ολοκληρώνεται χωρίς ανακρυστάλλωση. Γι' αυτό και οι παλαιότερες φυλλώσεις διατηρούνται καλύτερα στα low-grade πετρώματα.





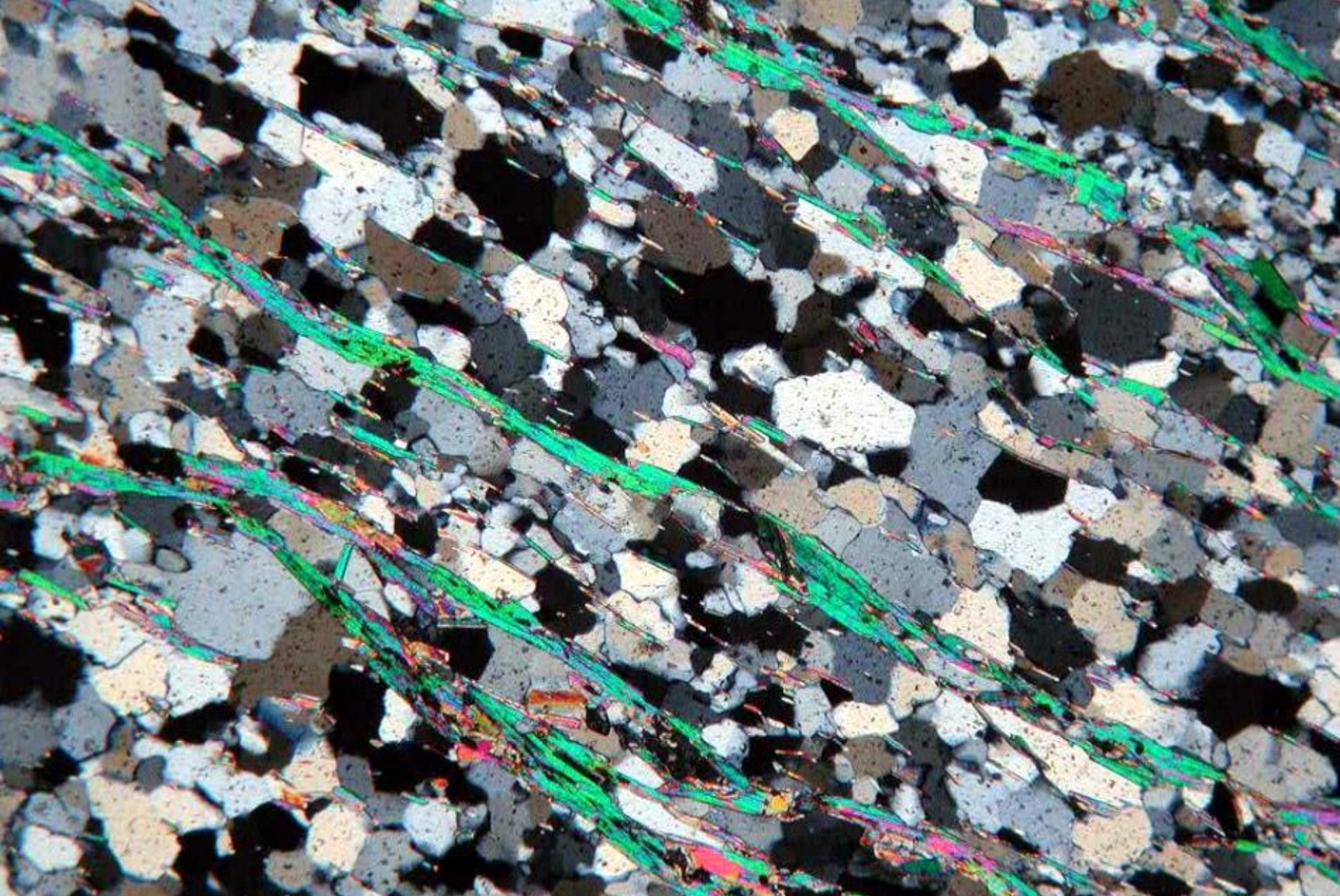


Μικρού βαθμού μεταμόρφωσης μετα-κροκαλοπαγές, με έντονα επιμηκυμένες χαλαζιακές κροκάλες (shape preferred orientation). Η κυματοειδής κατάσβεση είναι ο δείκτης του ότι η κρυσταλλοπλαστική παραμόρφωση ήταν ο κυρίαρχος μηχανισμός.

Η διαφορά στην παραμόρφωση ανάμεσα στις κροκάλες οφείλεται στην περισσότερο ή λιγότερο ευνοϊκή τοποθέτηση του προτιμητέου προσανατολισμού πλέγματος, που επέτρεψε έτσι την μεγαλύτερη ή μικρότερη πλάτυνση.



Επιμηκυμένοι υποκόκκοι (subgrains), σε παραμορφωμένο κρύσταλλο χαλαζία (μηχανισμός recovery), που μαζί με τους νέους ανακρυσταλλωμένους κόκκους (μηχανισμός SGR), που εντοπίζονται στην πάνω αριστερή και κάτω δεξιά γωνία, διαμορφώνουν τη φύλλωση.

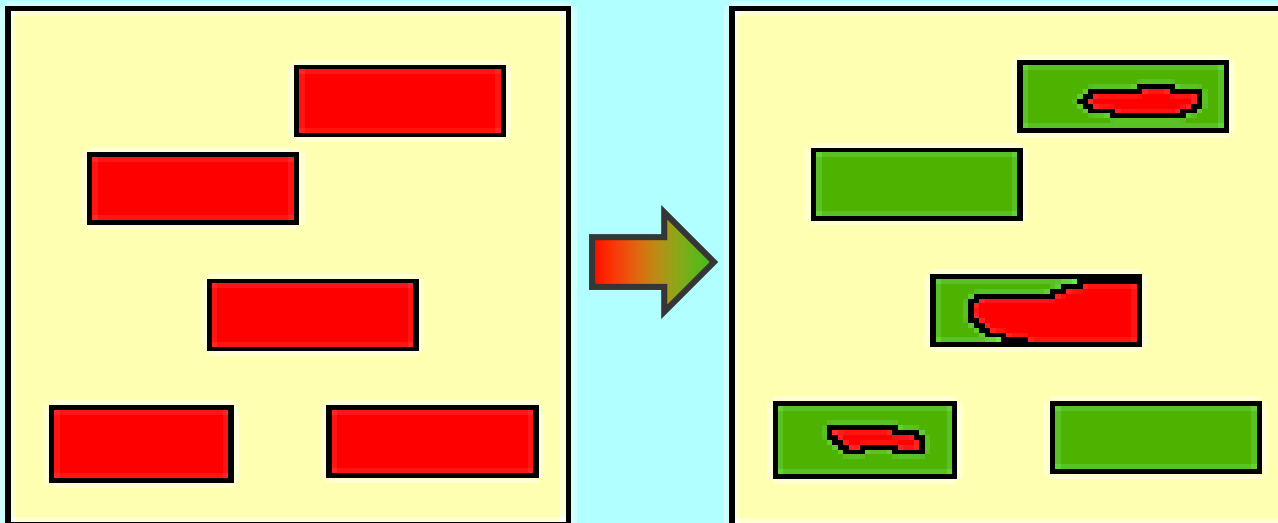


Τυπική εικόνα ενός ολοκληρωτικά ανακρυσταλλωμένου πετρώματος (σχιστόλιθος), όπου οι κρύσταλλοι του χαλαζία και των αστρίων (γκρι χρώματα), παρουσιάζουν έναν προτιμητέο προσανατολισμό, που, μερικά, ελέγχεται από τους μαρμαρυγίες (έντονα χρώματα).

## 4. Στατική ανακρυστάλλωση (static recrystallisation) & μιμητική ανάπτυξη (mimetic growth).

Σημαντική μετα-τεκτονική αύξηση της  $T$  σε low-grade foliation (π.χ. μεταμόρφωση επαφής), αποδυναμώνει την έκφραση της φύλλωσης λόγω **ανάπτυξης** των νέων ορυκτών σε **τυχαίες διευθύνσεις**. Αντίθετα, **οριακή αύξηση** της  $T$ , χωρίς αλλαγές στην παραγένεση, **ενισχύει** τη φύλλωση με περαιτέρω **ανάπτυξη** των **micas** που είναι // στη φύλλωση σε συνδυασμό με την επιλεκτική διάλυση των κόκκων με μη ευνοϊκές διευθύνσεις.

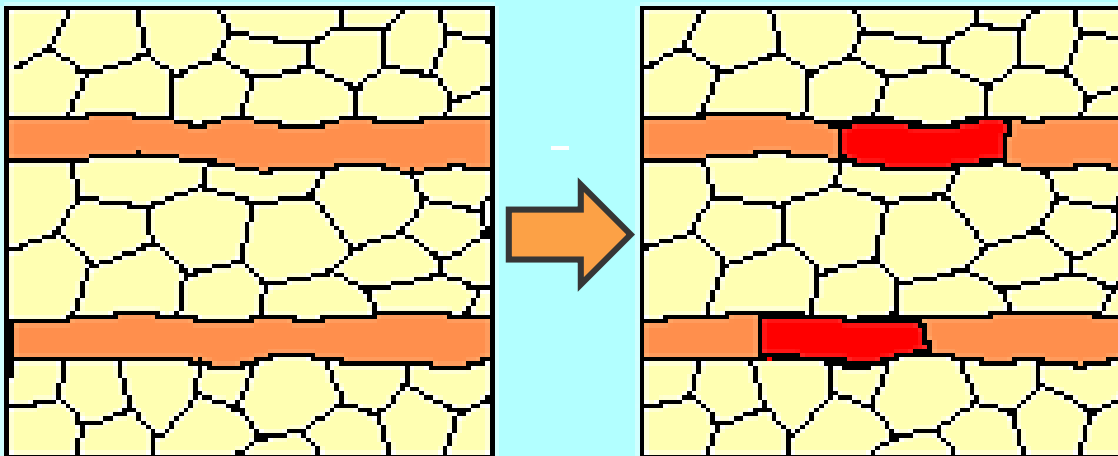
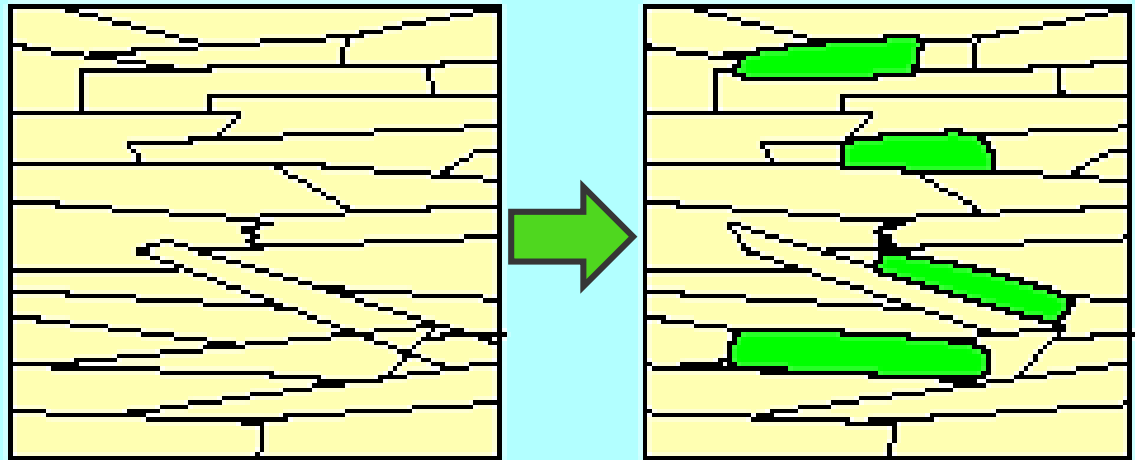
Η μετα-τεκτονική ανάπτυξη κρυστάλλων μπορεί να "**μιμηθεί**" τη **διεύθυνση** της **προϋπάρχουσας φύλλωσης**, ενισχύοντάς την ακόμα περισσότερο. Ο μηχανισμός είναι γνωστός ως **μιμητική ανάπτυξη (mimetic growth)** και είναι σημαντικός σε **medium to high grade** συνθήκες.



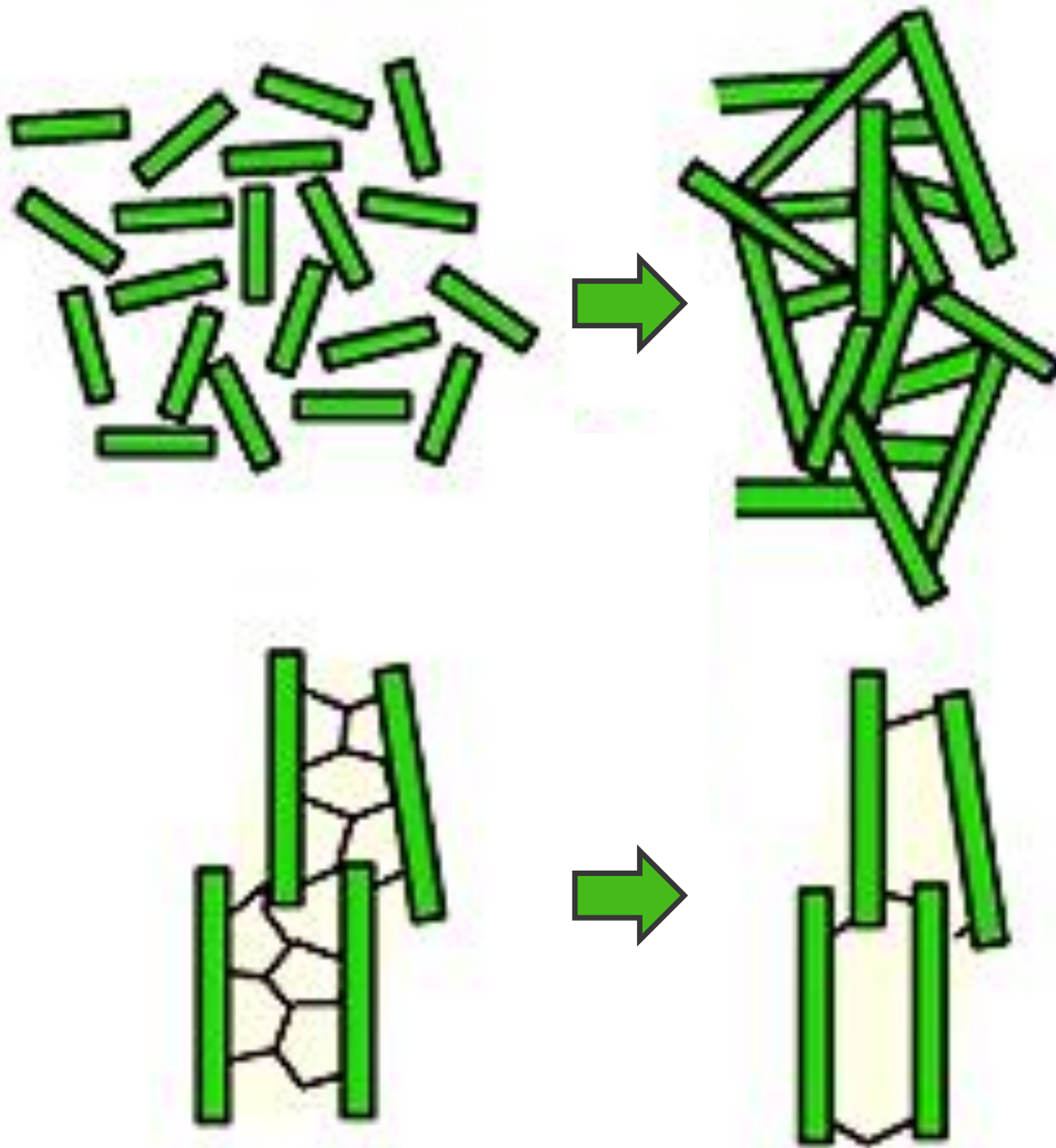
Τα νέα ορυκτά μπορεί να έχουν αντικαταστήσει παλαιότερα, "κληρονομώντας" το σχήμα τους.



Μπορεί να έχουν **δημιουργηθεί** και να **αναπτύσσονται** σε ένα προϋπάρχοντα ιστό με ισχυρό προτιμητέο προσανατολισμό, **ακολουθώντας** ως ένα βαθμό τον **προσανατολισμό** του.

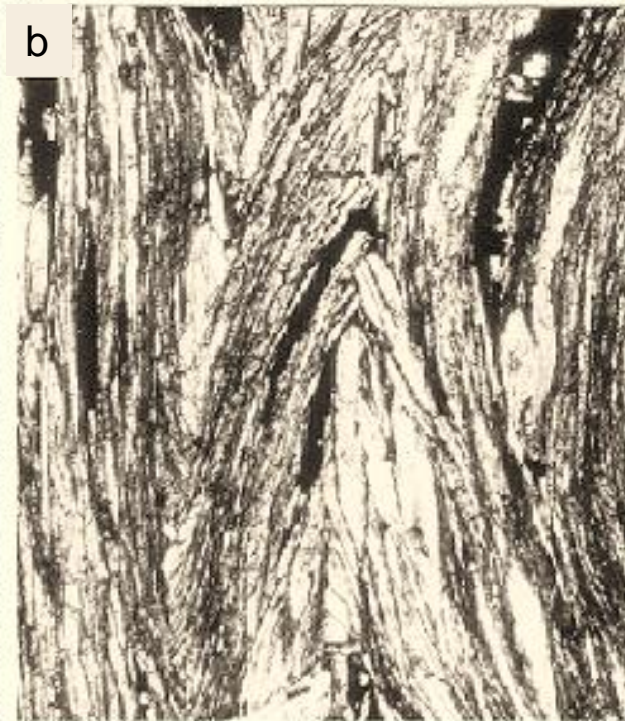
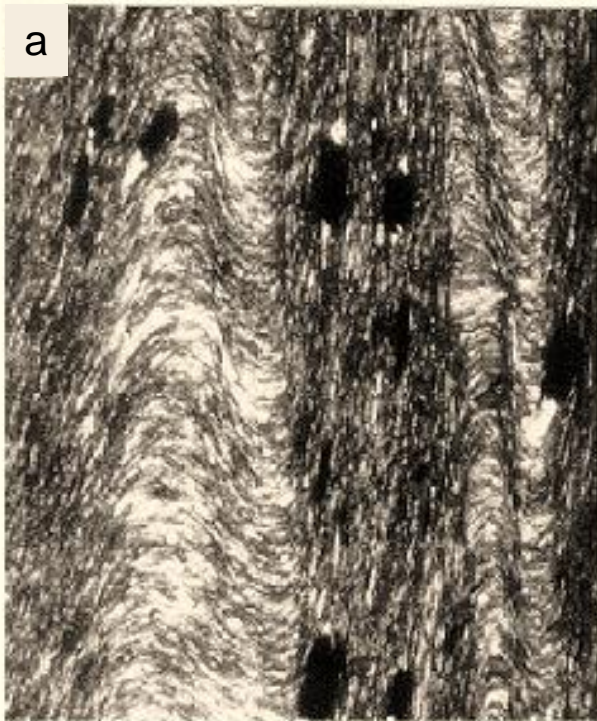


Μπορεί να δημιουργούνται σε **στρωματίδια** πλούσια σε **συστατικά απαραίτητα** για την ανάπτυξή τους, μιμούμενα και "αντιγράφοντας" με αυτό τον τρόπο το **σχήμα** του **στρωματιδίου** στο **κρυσταλλικό** τους **πλέγμα**.



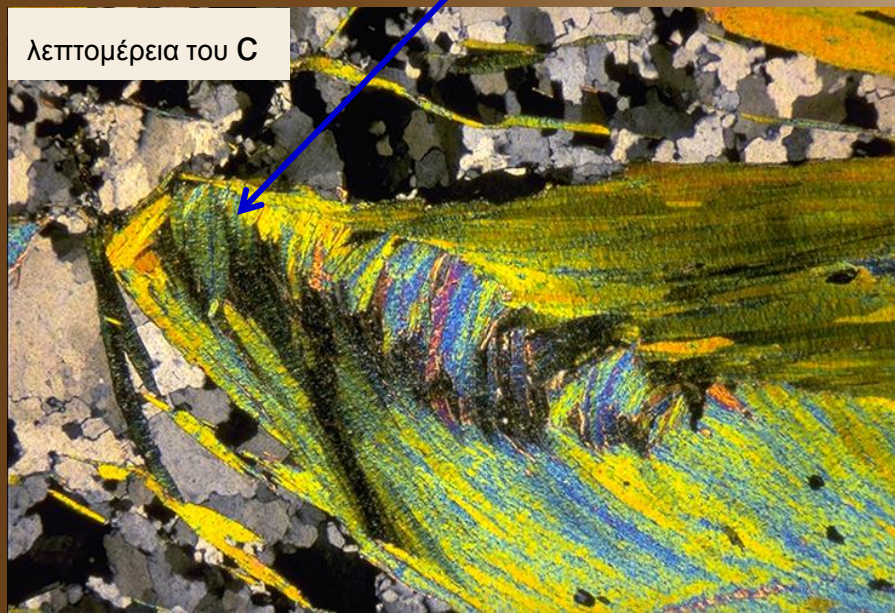
Ή μπορεί να παρατηρείται **μετα-τεκτονική αύξηση** των **micas** με τα (001) επίπεδα // στη φύλλωση.

Επίσης, η **ανάπτυξη κοκκωδών ορυκτών**, όπως Qtz και Fsp, μπορεί να περιορίζεται **ανάμεσα** σε **micas**, ή άλλους επιμήκεις προσανατολισμένους κρυστάλλους, **ενισχύοντας** έτσι τη φύλλωση.

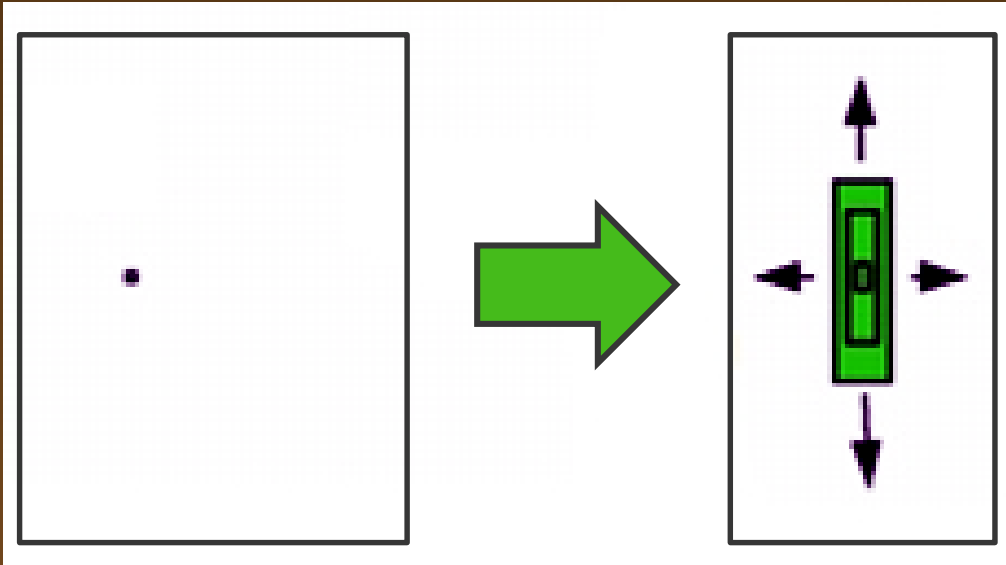


Προοδευτική επικάλυψη και εξαφάνιση πτυχοσχισμού (crenulation cleavage), από μετα-τεκτονική μιμητική ανάπτυξη (στατική ανακρυστάλλωση) των κρυστάλλων των micas και δημιουργία μιας ακανόνιστης σχιστότητας (irregular schistosity).

- a. **Λεπτόκοκκος φυλλίτης** με κατακόρυφο πτυχοσχισμό (lower greenschist facies).
- b. **Αδρόκοκκος φυλλίτης** με micas που αναπτύχθηκαν μερικώς μετά το crenulation (lower amphibolite facies).
- c. **Σχιστόλιθος** με αδρόκοκκους μαρμαρυγίες, που στον ιστό του δύσκολα διακρίνονται "ghost" folds ή **polygonal arcs** (amphibolite facies).



## 5. Προσανατολισμένη ανάπτυξη σε διαφορετικό πεδίο τάσεων.



Η δημιουργία και ανάπτυξη μεταμορφικών ορυκτών σε διαφορετικό πεδίο τάσεων θεωρείται θερμοδυναμικά πιθανή.

Μπορεί να οδηγήσει σε ισχυρό προτιμητέο προσανατολισμό σχήματος ή κρυσταλλικού πλέγματος, χωρίς να σχετίζεται με υψηλή παραμόρφωση (high strain).

**Δυσκολία διάκρισης** από τους προηγούμενους μηχανισμούς. Π.χ. μια καλά αναπτυγμένη σχιστότητα σε πετρώματα μέσου – υψηλού βαθμού μεταμόρφωσης με απαραμόρφωτους κρυστάλλους και ευθύγραμμα όρια μπορεί να είναι αποτέλεσμα αυτού του μηχανισμού αλλά και μηχανισμών όπως στατική ανακρυστάλλωση και μιμητική ανάπτυξη.

# Ανάπτυξη φυλλώσεων κατά διαστήματα (spaced foliations)

## Spaced foliations $\leftrightarrow$ Tectonic layering

Πως ερμηνεύεται η αξιοσημείωτη **ομοιομορφία** των αποστάσεων ανάμεσα στα επίπεδα του σχισμού?

Σε αρκετές περιπτώσεις μηχανισμοί DISSOLUTION–PRECIPITATION, SOLUTION TRANSFER + MECHANICAL INTERACTION απαιτούνται. Έχουν προταθεί **τρεις** οικογένειες μηχανισμών:

1

Οι επιφάνειες και η περιοδικότητά τους **εγκαθιδρύονται σε όλη τη μάζα** ενός ελαφρά ετερογενούς και χωρίς φύλλωση πετρώματος, όπου οι **εναλλαγές** των ζωνών **συμπύκνωσης** (πεδίο σχισμού) και **λιθοποίησης** (μικρολιθώνας) καθορίζονται από έναν αυτοοργανωνόμενο **μηχανισμό αλληλεπίδρασης** ανάμεσα στο **πεδίο τάσεων** και τις **χημικές διαφοροποιήσεις** στο πέτρωμα.

Diagenetic and low-grade metamorphic conditions

2

Η δημιουργία της φύλλωσης **ξεκινά με ένα "σπερματικό" επίπεδο**, εκατέρωθεν του οποίου αναπτύσσονται σταδιακά και σε **τακτικές αποστάσεις, νέα επίπεδα**. Αυτό π.χ. μπορεί να συμβεί όταν πεδία πλούσια σε χαλαζία σχηματίζονται αμέσως μετά από αναπτυσσόμενα πεδία σχισμού, καλύπτοντας όλη τη μάζα του πετρώματος. Τέτοιοι μηχανισμοί, όμως, είναι **δύσκολο να αποδειχθούν**.

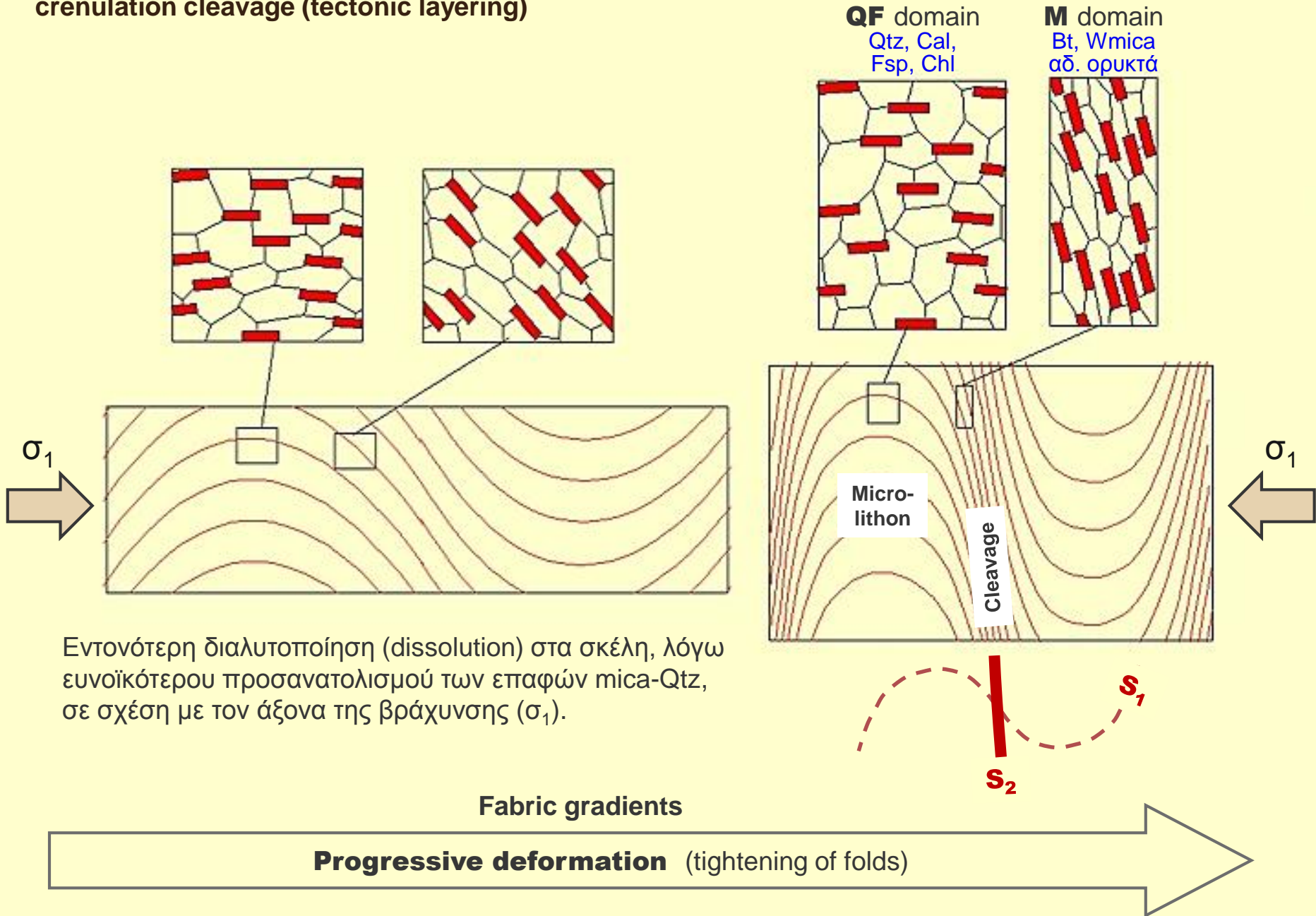
3

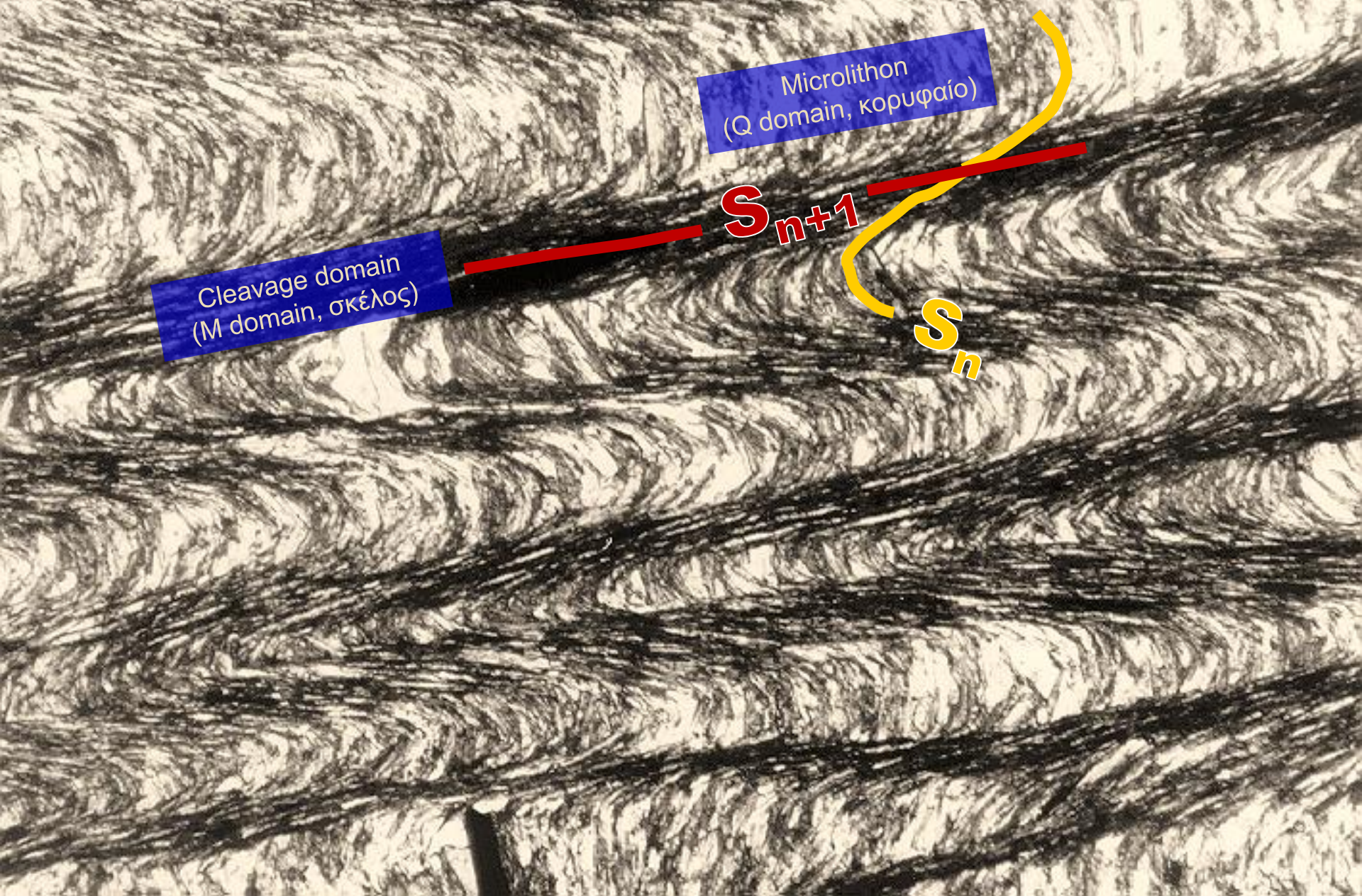
Ο τρίτος πιθανός μηχανισμός είναι **μέσω της μικροπτύχωσης μιας παλαιότερης φύλλωσης**. Η πτύχωση διαφοροποιεί τον προσανατολισμό επίπεδων δομών στο πέτρωμα, όπως π.χ. η επαφή mica-Qtz, ανάλογα με τη διεύθυνση της βράχυνσης, διαδικασία που **ενισχύει τη διαλυτοποίηση (dissolution)** στα σκέλη των πτυχών, οδηγώντας σε **differentiated crenulation cleavage** και τελικά σε **compositional layering (tectonic layering)** με ταυτόχρονο "σβήσιμο" των κορυφαίων των μικροπτυχών στους μικρολιθώνες.



# Προοδευτική ανάπτυξη differentiated crenulation cleavage (tectonic layering)

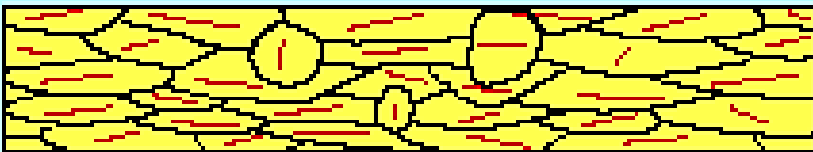
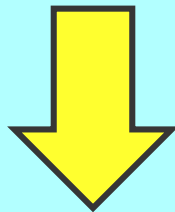
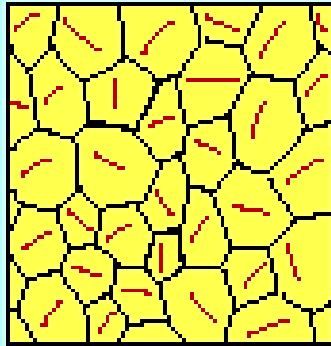
Κινητικότητα στη μεταφορά μέσω διαλυμάτων (solution transfer)  
Cal > Qtz > Fsp > Chl > Bt > Msc > αδιαφ. ορυκτά





Differentiated crenulation cleavage σε φυλλίτη με συμμετρικές μικροπτυχές. Η φύλλωση καθορίζεται από το πεδίο του σχισμού (σκέλη πτυχών) και τους μικρολιθώνες (κορυφαία). Επισημαίνεται η διαφορά στη σύσταση των δύο πεδίων (tectonic layering).

## Ανάπτυξη spaced foliation χωρίς Dissolution – Precipitation



Σε ένα αρχικά **αδροκρυσταλλικό** πέτρωμα η **ανάπτυξη shape fabric** είναι **αρκετή** για τη δημιουργία **spaced foliation**.

Πεδία με διαφορετικά ορυκτολογικά χαρακτηριστικά, που περιλαμβάνουν **ιδιόμορφους κρυστάλλους**, δημιουργούν **μηχανικές ανισοροπίες**, με αποτέλεσμα τα **λιγότερο "ανθεκτικά"** ορυκτά ή υλικά, να **επιμηκύνονται** με **micro shear bands** και να δημιουργούν στρωματίδια με αναστομούμενο και φακοειδή ιστό και άρα δημιουργώντας ένα **compositional layerind (tectonic layering)**, δηλ. **spaced cleavage**.

Ακόμα και σε **μονοκρυσταλλικά πετρώματα** ο **προσανατολισμός** του **κρυσταλλικού πλέγματος** ιδιόμορφων κρυστάλλων δημιουργεί διαβαθμίσεις στην αντοχή, όπως π.χ. στο διπλανό σχήμα όπου έχουμε ανάπτυξη φύλλωσης λόγω κρυσταλλοπλαστικής παραμόρφωσης του Qtz, σε άμεση συνάρτηση με τον προσανατολισμό του πλέγματος. Οι γραμμές δείχνουν τα επίπεδα ολίσθησης των dislocations. Οι **κρύσταλλοι** με **οριζόντια ή κάθετα επίπεδα δεν παραμορφώνονται** λόγω αυτής της γεωμετρίας.

Οι μηχανισμοί που παραμορφώνονται τα λιγότερο ανθεκτικά πεδία είναι: **cataclasis, grain boundary sliding, crystal plastic deformation** ή **συνδυασμός** των ανωτέρω.



# Δημιουργία και εξέλιξη του σχισμού και των φυλλώσεων στα ιζηματογενή πετρώματα

ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ:

τύπος ΦΥΛΛΩΣΗΣ ?

- Παραμόρφωση (strain)
- Συνθήκες P/T
- Ποσοστό και κατανομή φυλλοπυριτικών ορυκτών στο πέτρωμα (clay, micas, chl)

## Cleavage

(Compaction, Pencil, Slaty, Crenulation, Phyllitic)

**Low-grade (T, P)**

**Microfolding +  
Dissolution**

≈350°

**T (and P)**

## Schistosity

(Schistosity, Gneissic banding, Mylonitic foliation)

**High-grade (T, P)**

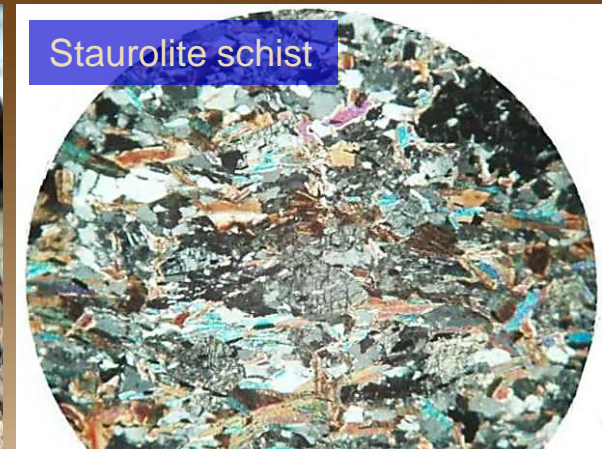
**Dynamic (+ static)  
Recrystallisation**



Mudstone



Slate

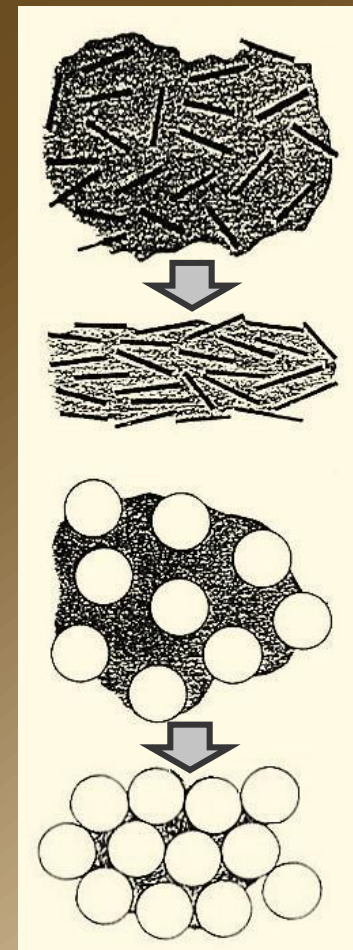
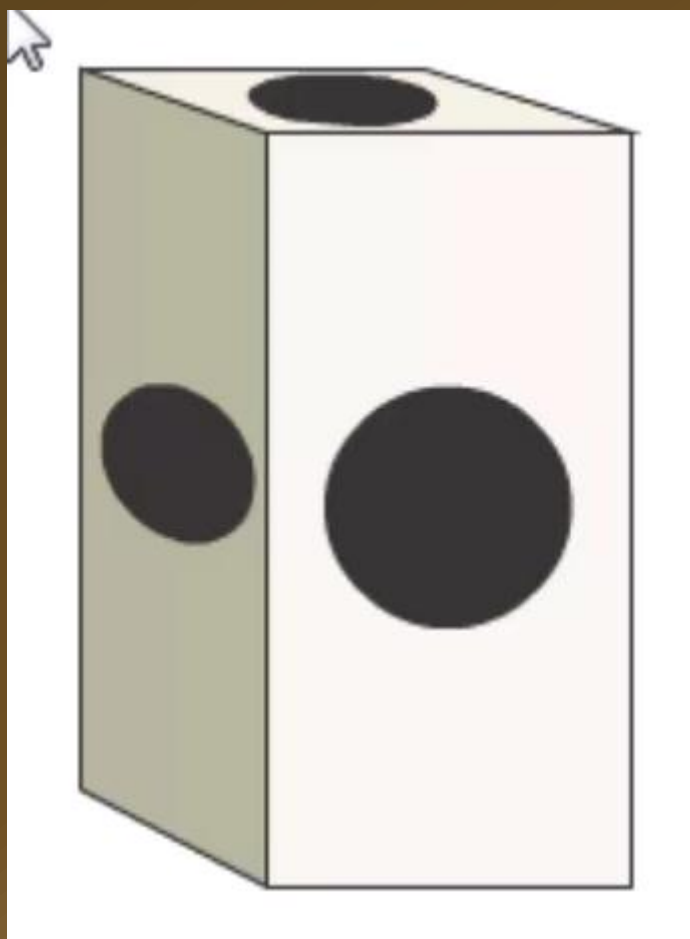
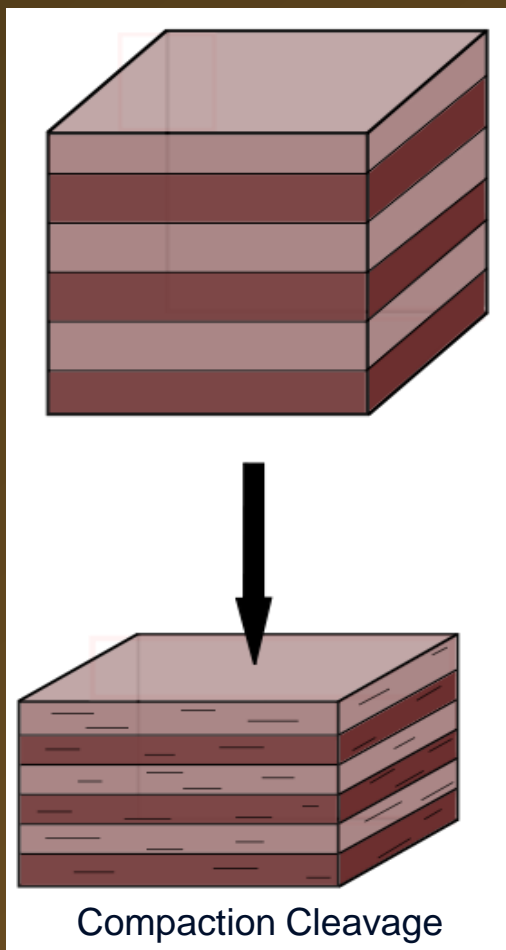


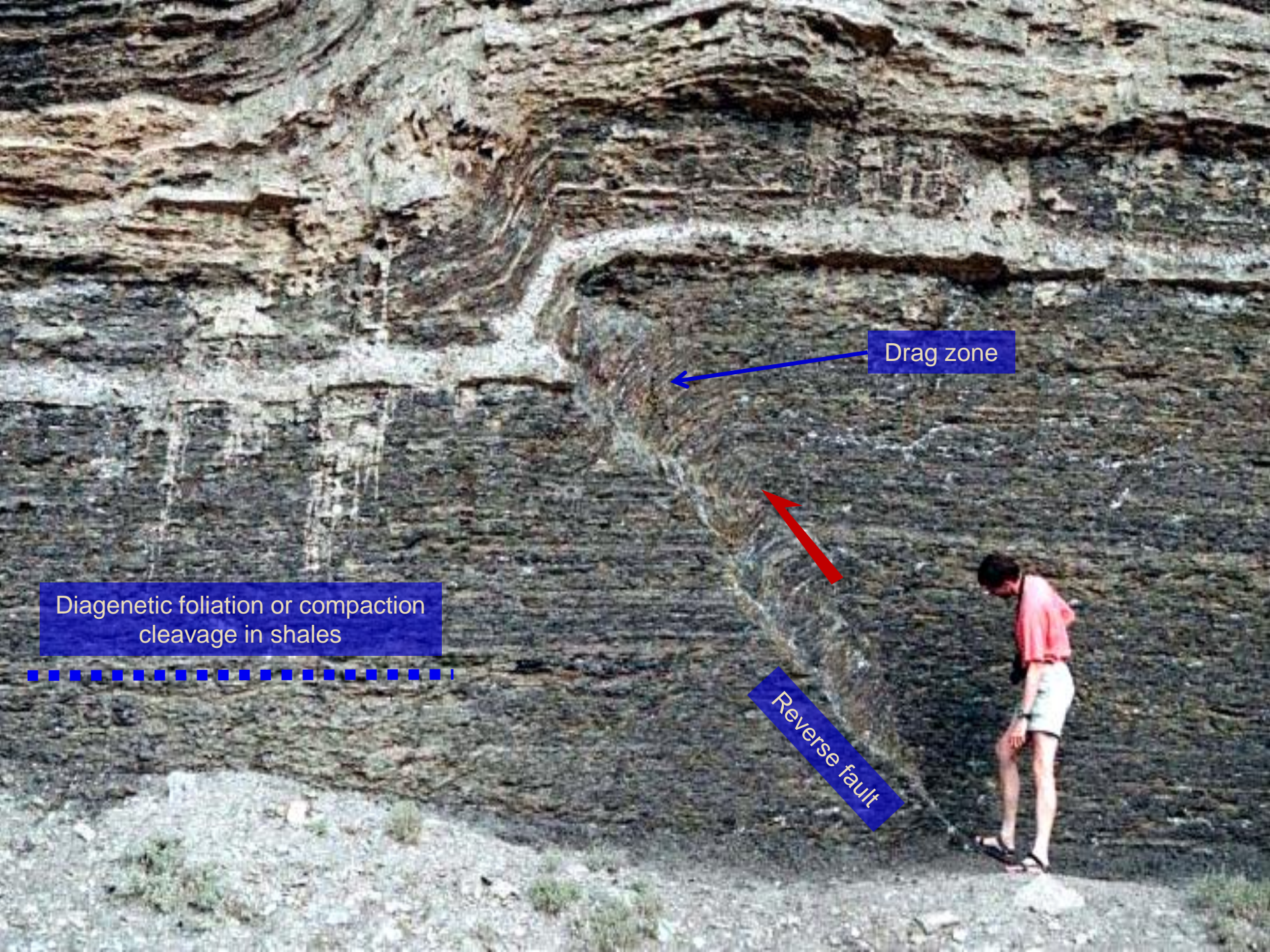
Staurolite schist

(λεπτόκοκκα κλαστικά) ΙΖΗΜΑΤΑ → (λεπτόκοκκα) μετα-ΙΖΗΜΑΤΑ → (αδρόκοκκα) μετα-ΙΖΗΜΑΤΑ  
Mudstones (πηλίτες) → Shales (σχίστες) → Slates, Phyllites, Schists (φυλλίτες, σχιστόλιθοι)

# 1. Compaction Cleavage

- Αποτελεί τον **πρώτο σχισμό** (continuous cleavage) που δημιουργείται από συμπύκνωση σε ένα ιζηματογενές πέτρωμα (shales, mudstones ...).
- Είναι **μη-τεκτονικός**, παράλληλος με τη στρώση, γι' αυτό και θεωρείται ως  $S_0$ .
- Σχηματίζεται από **μηχανική περιστροφή και ευθυγράμμιση των επιπεδόμορφων ορυκτών** (σε συνδυασμό με την αποβολή ύδατος και μείωση του πορώδους).
- Η ανάπτυξη **στυλολίθων** σε ανθρακικά και χαλαζίτες, μπορεί να θεωρηθεί σχισμός.





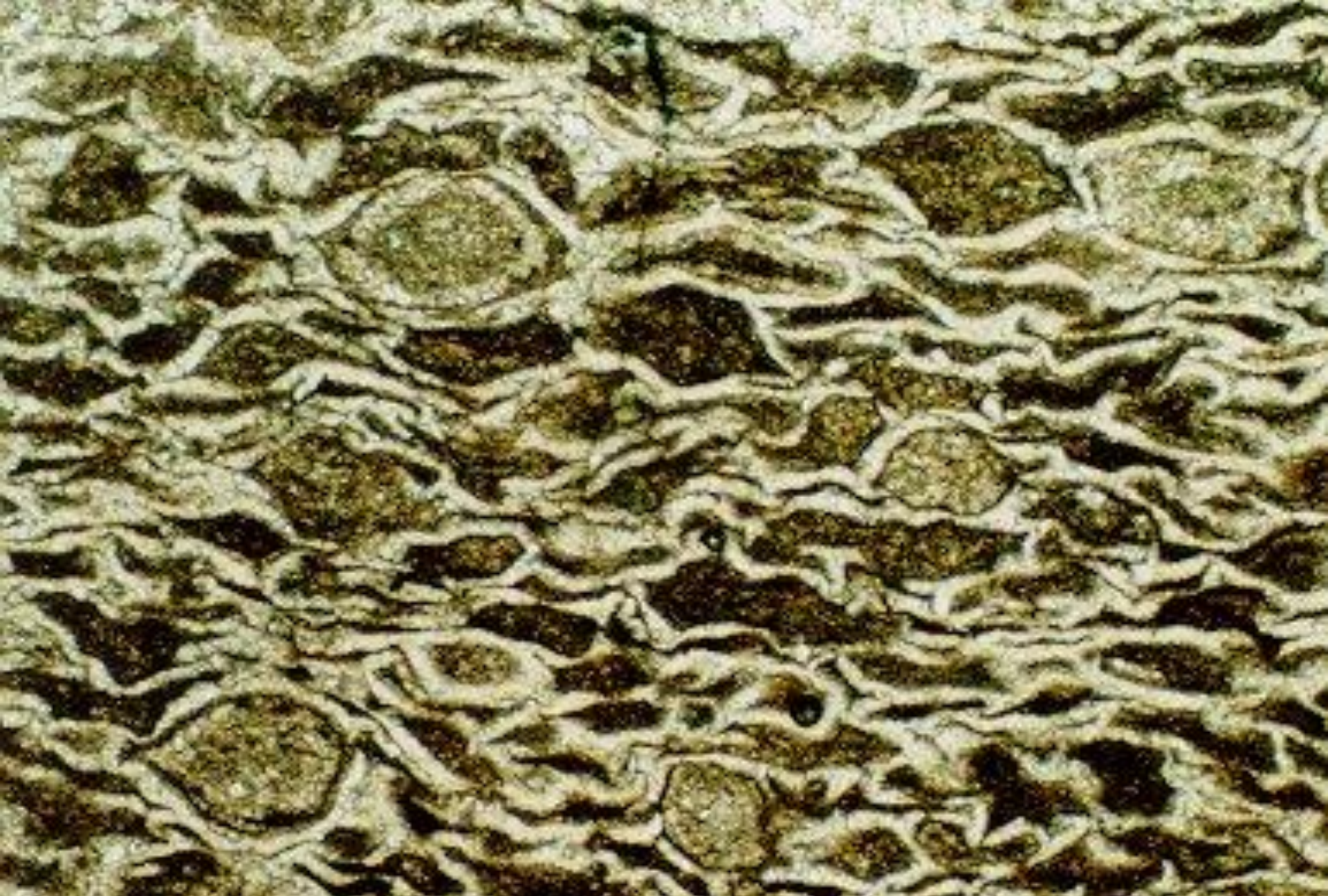
Drag zone

Diagenetic foliation or compaction cleavage in shales

Reverse fault



Diagenetic foliation σε ψαμμίτες



Παραμορφωμένα ωοειδή και relets από συμπύκνωση, σε ασβεστολιθικό πέτρωμα, δημιουργούν τη διαγενετική φύλλωση (compaction cleavage).

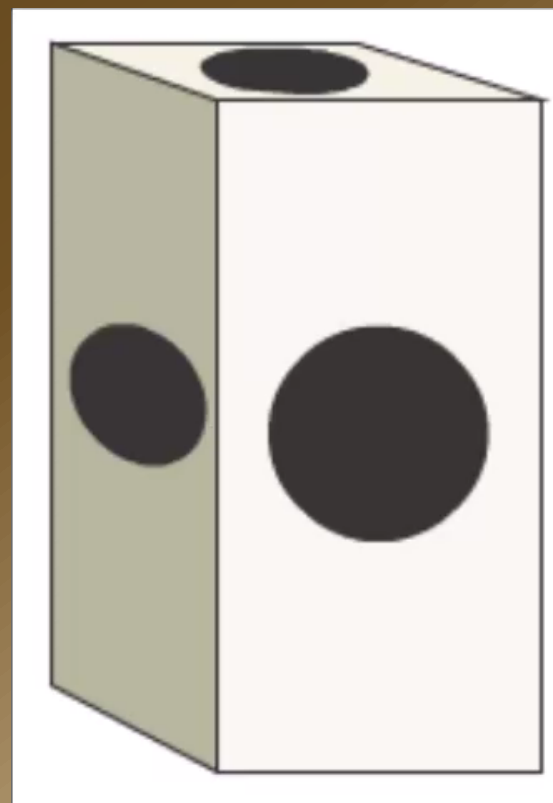
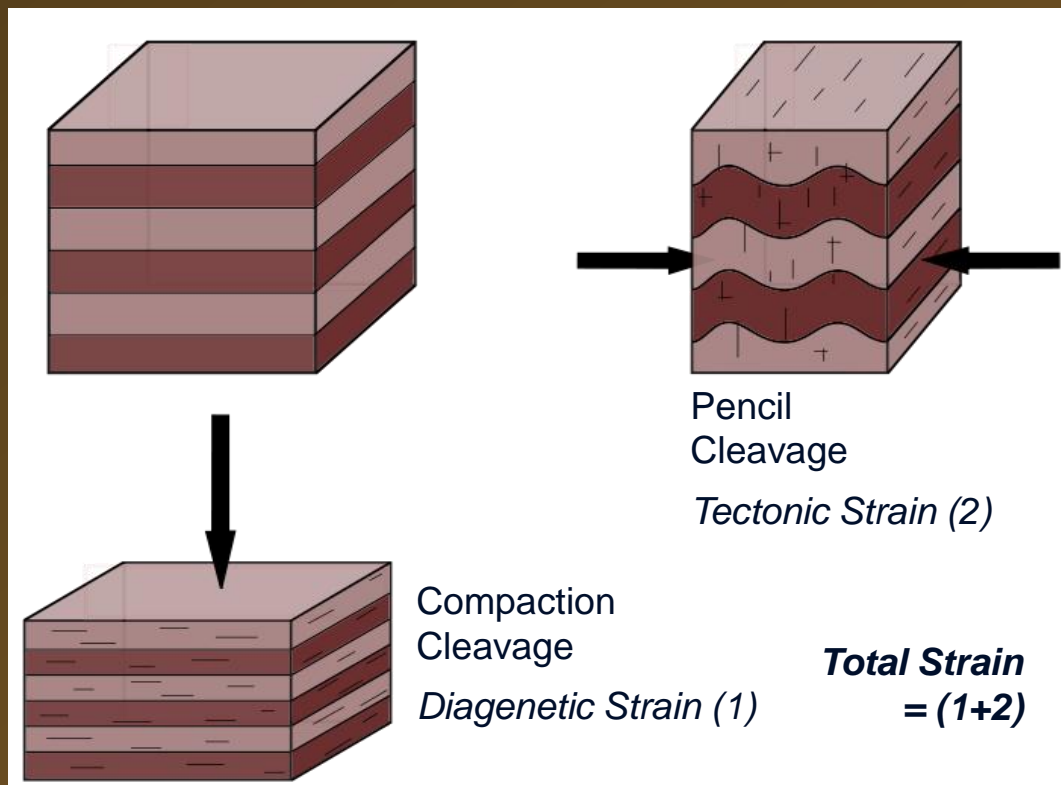


Στυλόλιθοι σε χαλαζίτη



## 2. Pencil Cleavage

- Ο σχισμός αυτός αναπτύσσεται όταν στην παραμόρφωση από συμπύκνωση **προστίθεται** και **τεκτονική παραμόρφωση** (οριζόντιος  $\sigma_1$ ) με περίπου **ίδιο μέγεθος** (άρα εν μέρει **τεκτονικός**).
- Διαλυτοποίηση του Qtz και συγκέντρωση και επαναπροσανατολισμός των αργιλικών ορυκτών, που είναι **παράλληλα** τόσο με  $S_0$  (οριζόντια) όσο και  $S_1$  (κατακόρυφη).
- Δημιουργία **τεκτονικών στυλολίθων** ( $\perp$  στην  $S_0$  και τους στυλόλιθους από compaction) σε ανθρακικά και χαλαζίτες.
- Επισημαίνεται ότι και **δύο** τεκτονικοί σχισμοί, με **μεγάλη γωνιακή σχέση** μεταξύ τους, μπορεί να δημιουργήσουν pencil cleavage (συνήθως συνδέονται με **επωθητικές ράμπες**).
- Αποτελεί συνήθη δομή της **εμπροσθοχώρας (foreland)** των ορογενετικών αλυσίδων.







Pencil cleavage σε σχιστές αργίλους (shales) από το fold-and-thrust belt της εμπροσθοχώρας των Καλιδονίδων

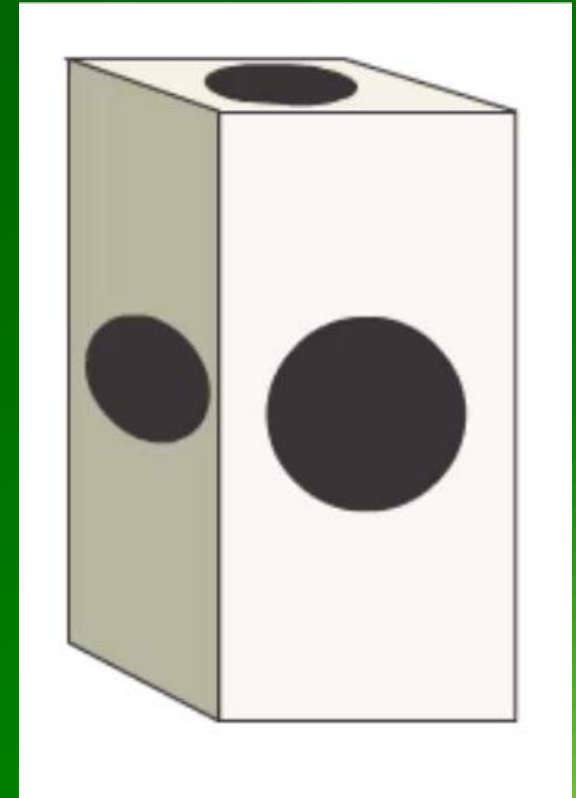
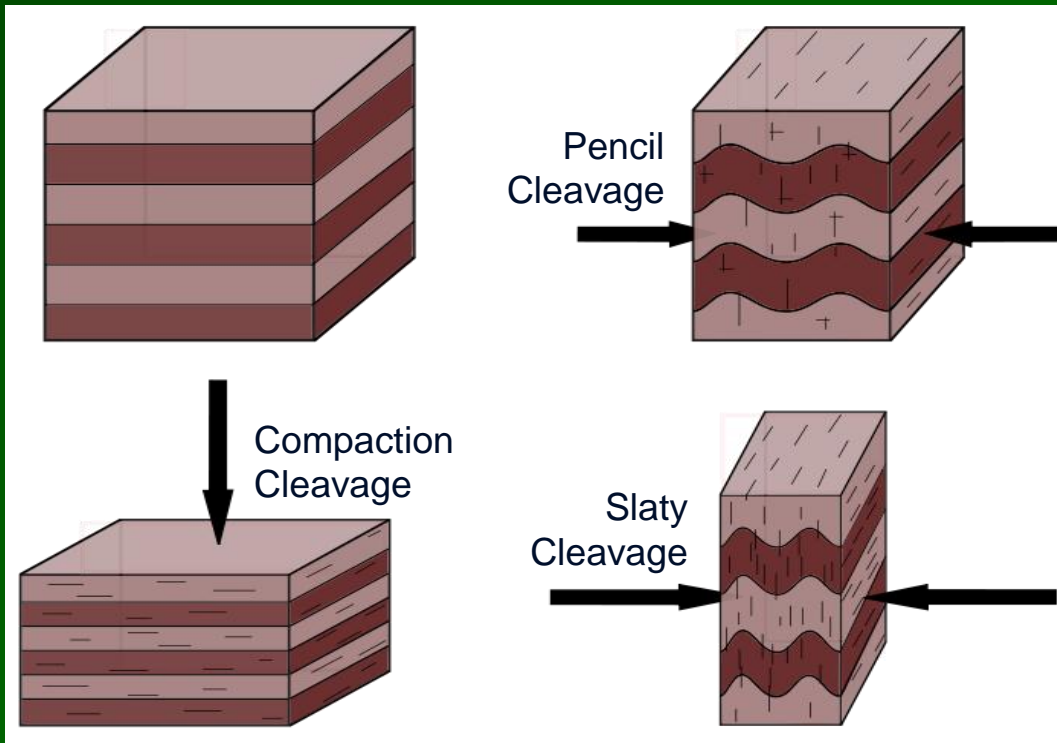


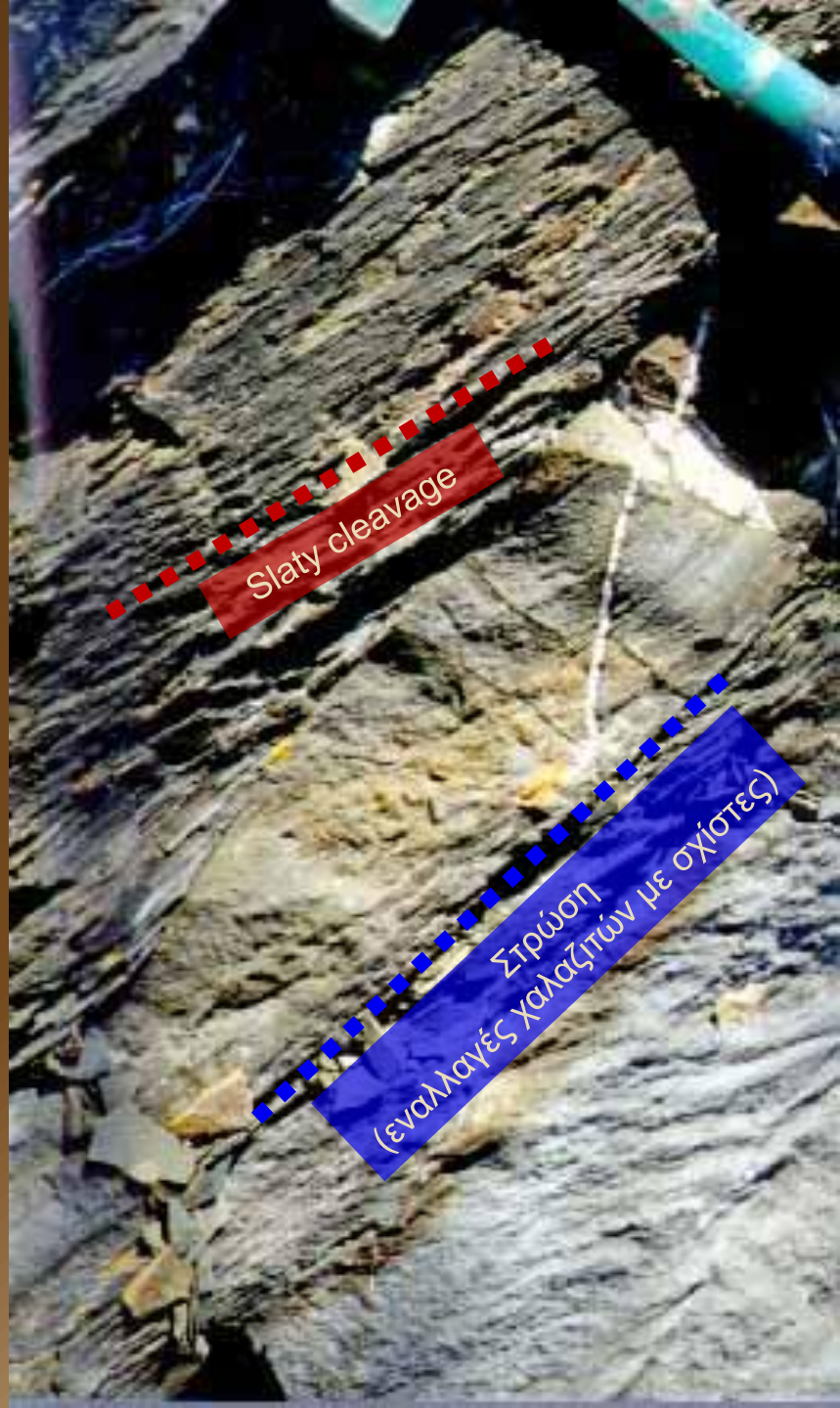
Pencil  
cleavage



### 3. Slaty Cleavage

- **Εντονότερη τεκτονική παραμόρφωση (strain)**, επιτείνει τη βράχυνση (shortening), ο **τεκτονικός σχισμός επικρατεί** και παίρνει ονόματα ανάλογα με τη λιθολογία και τις P-T συνθήκες.
- Το **slaty cleavage** δημιουργείται πρώτο, στην **απαρχή της μεταμόρφωσης**, περίπου στους **200<sup>o</sup> C**. Εκεί που η ανακρυστάλλωση των (κλαστικών) αργιλικών ορυκτών σε νέους κρυστάλλους mica μόλις αρχίζει.
- **Μηχανική περιστροφή** των κόκκων + **pressure solution (dissolution or wet diffusion)** είναι σημαντικοί μηχανισμοί. Qtz & Fsp διαλύονται (**κάθιστα** στον προσανατολισμό του τεκτονικού σχισμού) και δημιουργούν φακοειδείς συγκεντρώσεις (**QF domains**) που περιβάλλονται από στενές ζώνες φυλλοπυριτικών ορυκτών (**M domains**) → **domainal cleavages** → **disjunctive cleavages** (δηλ. ο σχισμός τέμνει εγκάρσια παρά μικροπτυχώνει προϋπάρχουσες φυλλώσεις).
- Στην ουσία αποτελεί **continuous foliation**, δεδομένου ότι τα επιμέρους πεδία είναι **αρκετά μικρότερα** από **1 mm** και διακρίνονται μόνο στο μικροσκόπιο.





Slaty cleavage

The image shows a geological outcrop with distinct sedimentary layers. A yellow dashed line indicates the orientation of slaty cleavage within the upper, reddish-brown section. A blue dashed line separates the upper section from the lower, lighter-colored section. The upper section is labeled 'Red shales' and the lower section is labeled 'Quartzite'. The Greek word 'Στρώση' (Strōshē) is also present, likely referring to the bedding planes in the lower section. A yellow pencil is placed vertically in the lower section for scale.

Στρώση

Red shales

Quartzite



Slaty cleavage

Στρώση  
(ασβεστόλιθοι)

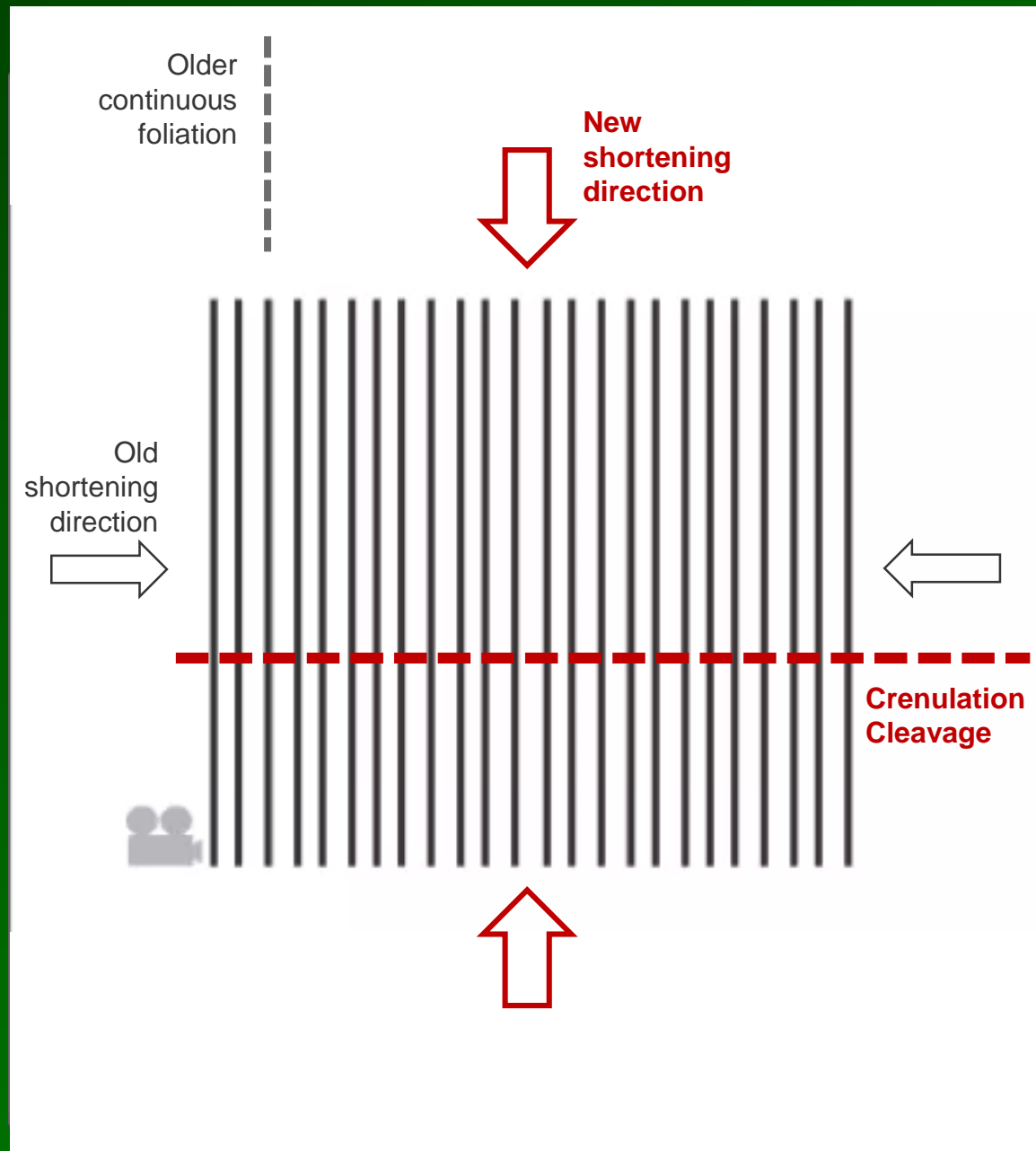


500  $\mu\text{m}$

Slaty  
cleavage

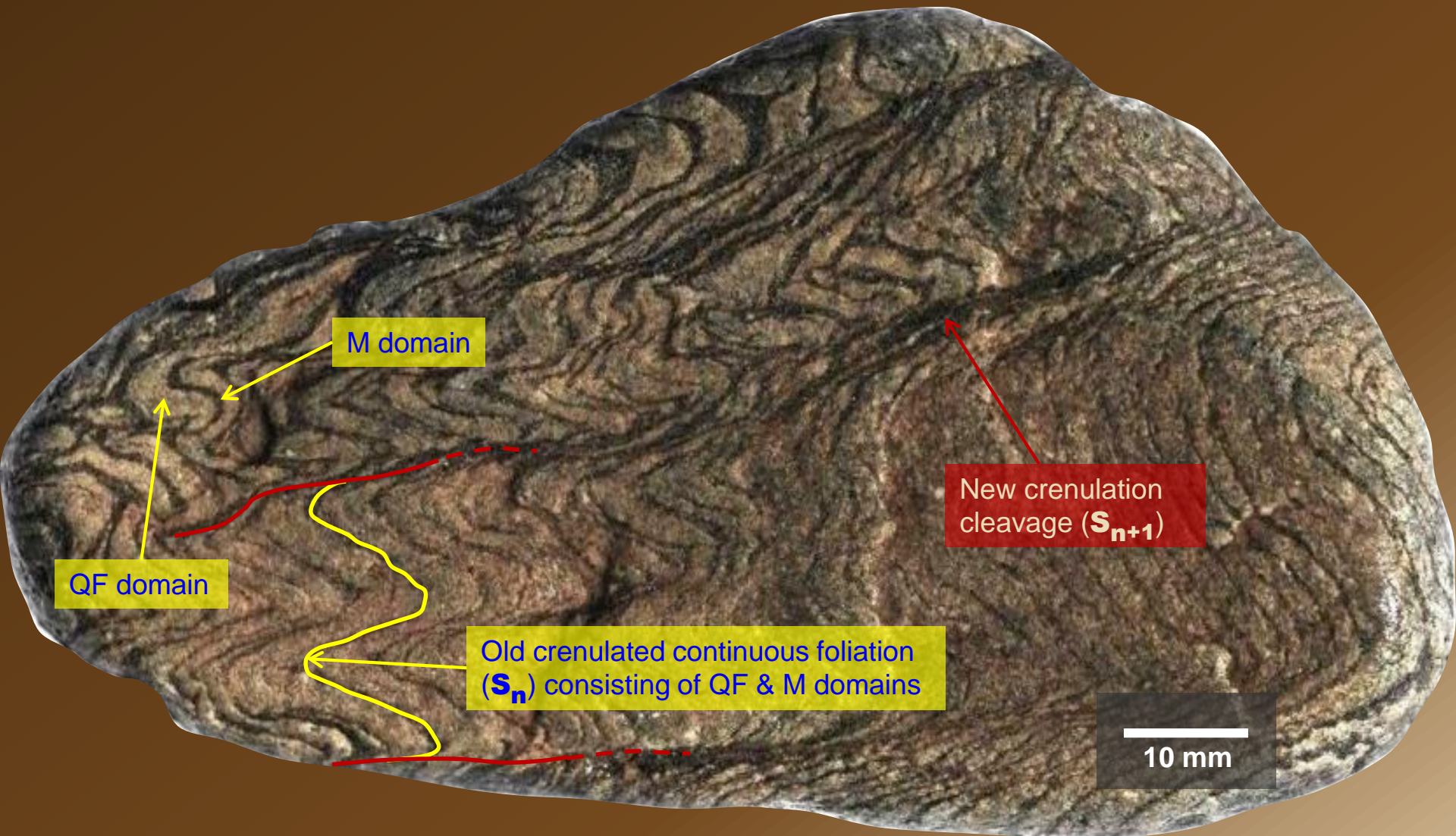
## 4. Crenulation Cleavage

- Ο τύπος αυτός προϋποθέτει **μικροπύχωση** μιας ήδη δημιουργημένης **συνεχούς τεκτονικής φύλλωσης** κάτω από **αλλαγές** του προσανατολισμού του εντατικού πεδίου (αλλαγή του **προσανατολισμού του ISA\***), είτε τοπικού χαρακτήρα, είτε στα πλαίσια μια άλλης παραμορφωτικής φάσης.
- Σχηματίζεται **εγκάρσια** στη διεύθυνση της **max βράχυνσης (X)**, επικαλύπτοντας (**overprinting**) την παλιότερη φύλλωση.
- Μηχανική περιστροφή και **pressure solution (wet diffusion)**, αποτελούν τους κυρίαρχους μηχανισμούς.
- Δημιουργείται τόσο στην **πορεία** μιας ενότητας **προς υψηλότερες T & P**, π.χ. μικροπυχώνοντας ένα slaty cleavage, που στη συνέχεια μετασχηματίζεται σε phyllitic cleavage και schistosity, όσο και στην **πορεία ανόδου** προς την επιφάνεια, π.χ. μικροπυχώνοντας μια ήδη διαμορφωμένη, σε υψηλότερες T & P, σχιστότητα.



\* ISA = Instantaneous Stretching Axes – οι δύο άξονες που το stretching (διάταση, έκταση) λαμβάνει τη max και min τιμή.

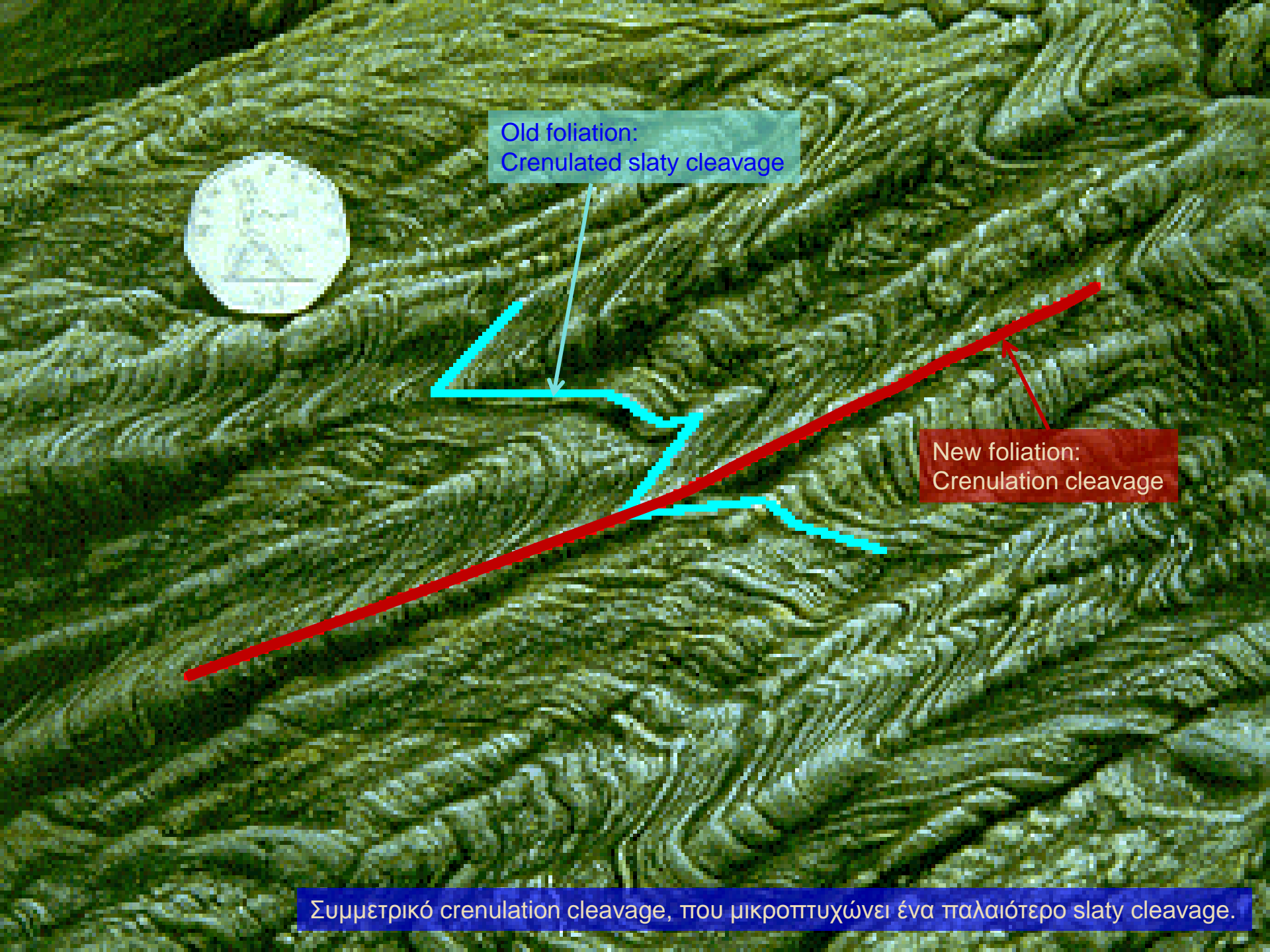




Ο νέος πτυχοσχισμός (crenulation cleavage) αναπτύσσεται στις σκουρόχρωμες, πλούσιες σε M (micas), ζώνες, απ' όπου τα QF-ορυκτά διαλύονται και απομακρύνονται με το μηχανισμό wet diffusion (ή solution transfer).



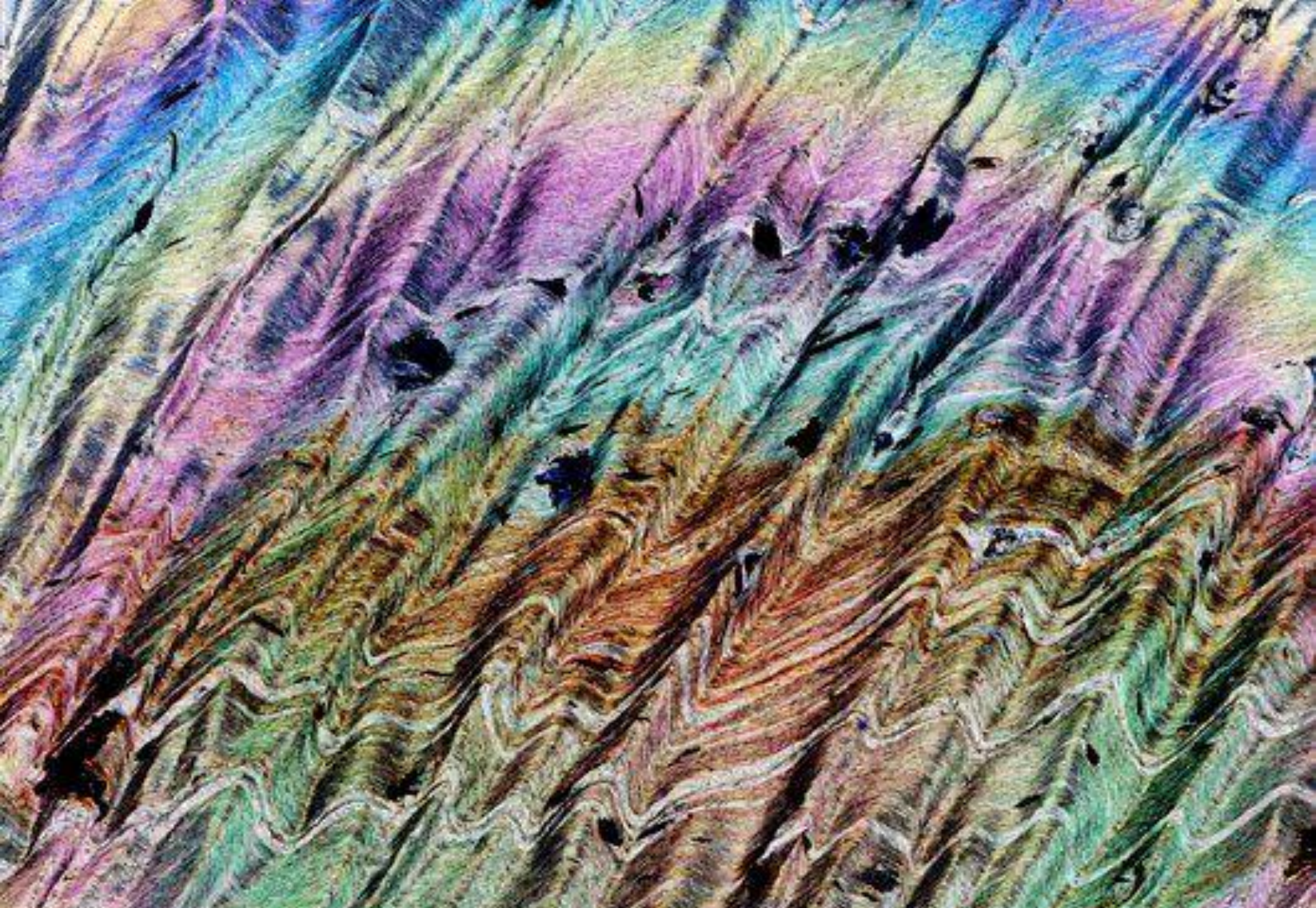
Ασύμμετρο crenulation cleavage, που μικροπτυχώνει μια παλαιότερη μυλονιτική φύλλωση και αναπτύσσεται συστηματικά στον ενδιάμεσο, πλούσιο σε micas ορίζοντα (discrete crenulation cleavage), σε αντίθεση με τους γειτονικούς, πλούσιους σε χαλαζία ορίζοντες, όπου υπολείπεται (zonal crenulation cleavage).



Old foliation:  
Crenulated slaty cleavage

New foliation:  
Crenulation cleavage

Συμμετρικό crenulation cleavage, που μικροπτιχώνει ένα παλαιότερο slaty cleavage.



Crenulation cleavage σε ασβεστίτη. Το πέτρωμα υπέστη την παραμόρφωση κατά την απόθεση του ασβεστίτη.

## 5. Phyllitic Cleavage

- Το **phyllitic cleavage** αντιπροσωπεύει ένα **continuous foliation** (τα πεδία του σχισμού δεν διακρίνονται με γυμνό μάτι), με **μεγαλύτερα ορυκτά** από το slaty cleavage, δεδομένου ότι εισερχόμαστε πια στο πεδίο της **πρασινοςχιστολιθικής φάσης** και νέα φυλλοπυριτικά ορυκτά αναπτύσσονται από το μετασχηματισμό των αργιλικών ορυκτών του αρχικού πετρώματος (shale-σχίστης).
- Τα νέα ορυκτά των **micas** αναπτύσσονται με το βασικό τους επίπεδο **εγκάρσιο** στον **Z-άξονα** του ελλειψοειδούς παραμόρφωσης (strain ellipsoid) και τον  $\sigma_1$ , καθορίζοντας τον φυλλιτικό σχισμό.
- Κυριαρχεί ο μηχανισμός **pressure solution (wet diffusion)**, που στις συνθήκες αυτές είναι πολύ **πιο έντονος**, δημιουργώντας πιο **σαφή QF- & M-domain**.
- Αρκετές περιπτώσεις phyllitic cleavages δημιουργούνται από **απλή διάτμηση (simple shear)**, είτε **επιπρόσθετα** είτε σε **αντικατάσταση της καθαρής διάτμησης (pure shear)**, γι' αυτό και αποτελούν χαρακτηριστικά πετρώματα στη **βάση των επωθητικών καλυμμάτων**.

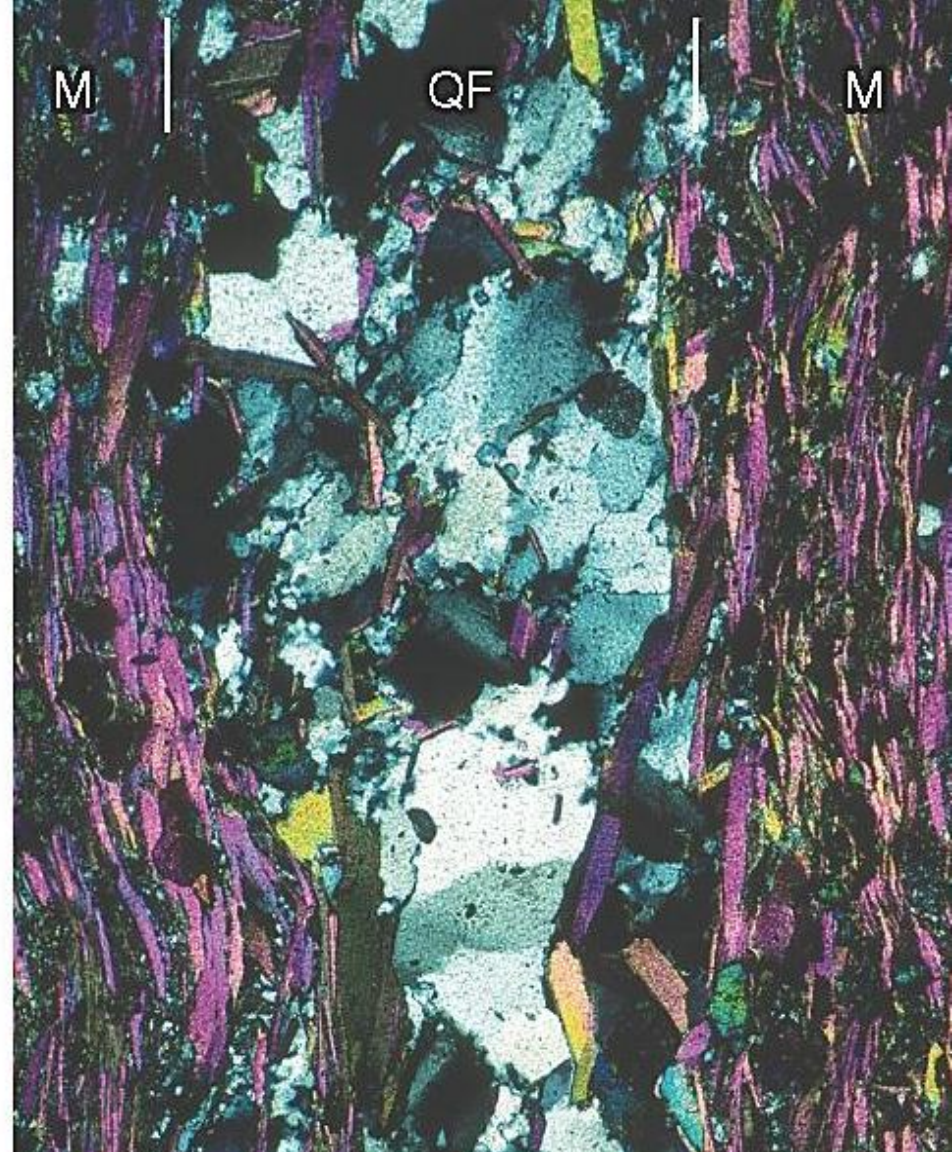


Phyllitic cleavage, που σχηματίσθηκε από ισχυρή απλή διάτμηση, στη βάση του καλύμματος των Καλιδονίδων.



Phyllitic cleavage που έχει αναπτυχθεί σε φυλλίπικο πέτρωμα σε συνθήκες κάτω-πρασινοςχιστολιθικής φάσης μεταμόρφωσης.

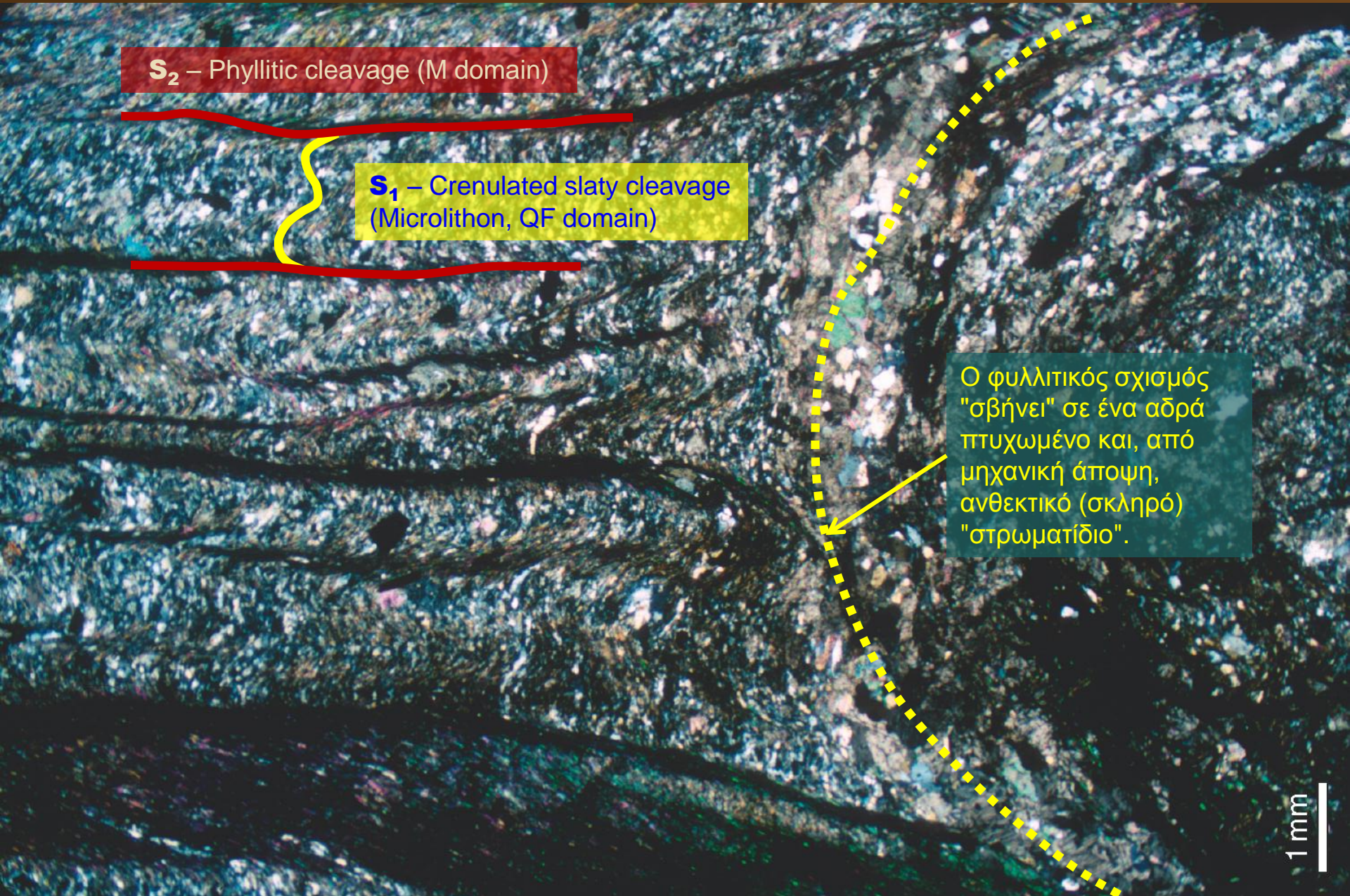
1 mm



Αυτός ο σχισμός έχει αναπτυχθεί πιο ψηλά στην πρασινοςχιστολιθική φάση, με πιο αδρόκοκκα ορυκτά και πιο καλά εκτεφρασμένα QF- & M-domain.

1 mm

- Το phyllitic cleavage παρουσιάζει **πολλές ομοιότητες** με το **crenulation cleavage**, στην εξέταση στο μικροσκόπιο. Η διαφορά είναι ότι το phyllitic crenulation είναι **μικροσκοπικό** και **μη-ορατό** με γυμνό οφθαλμό.

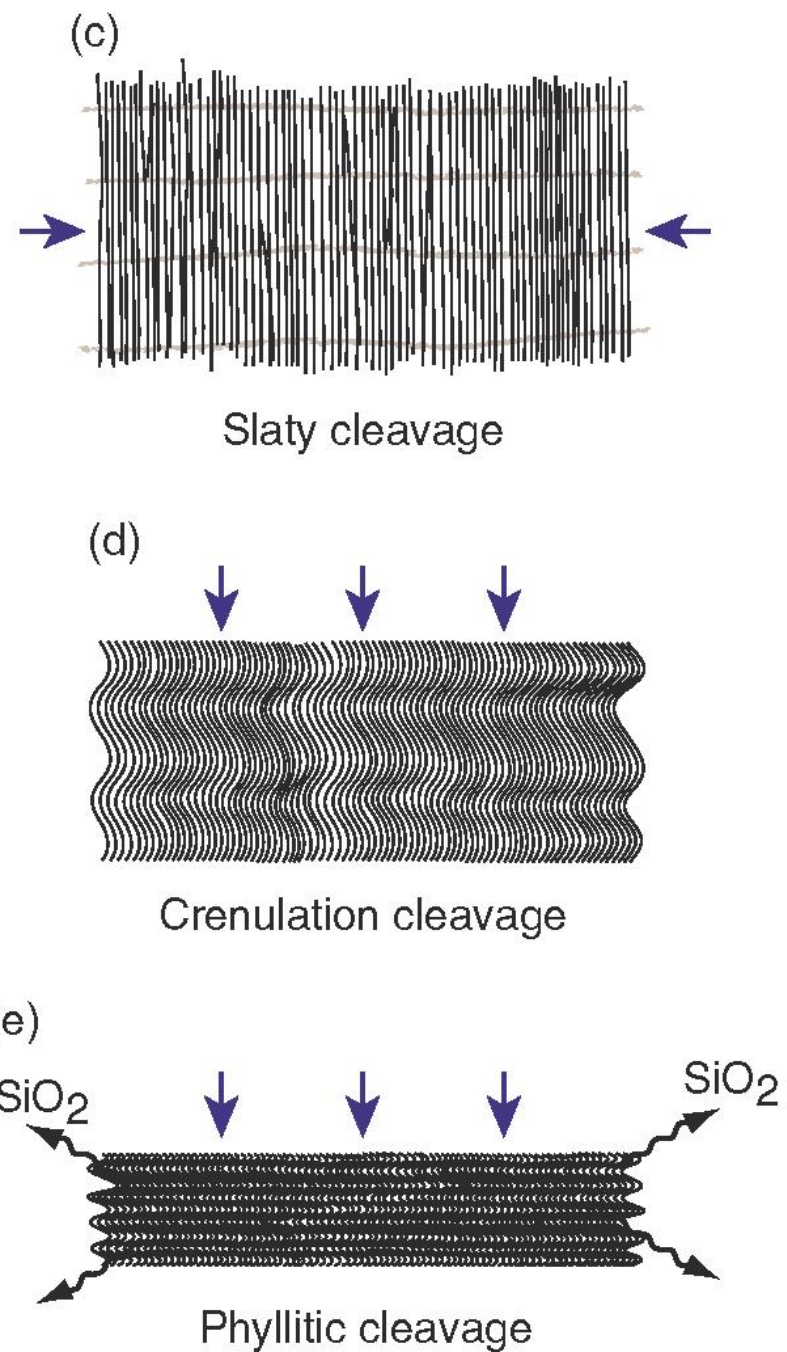
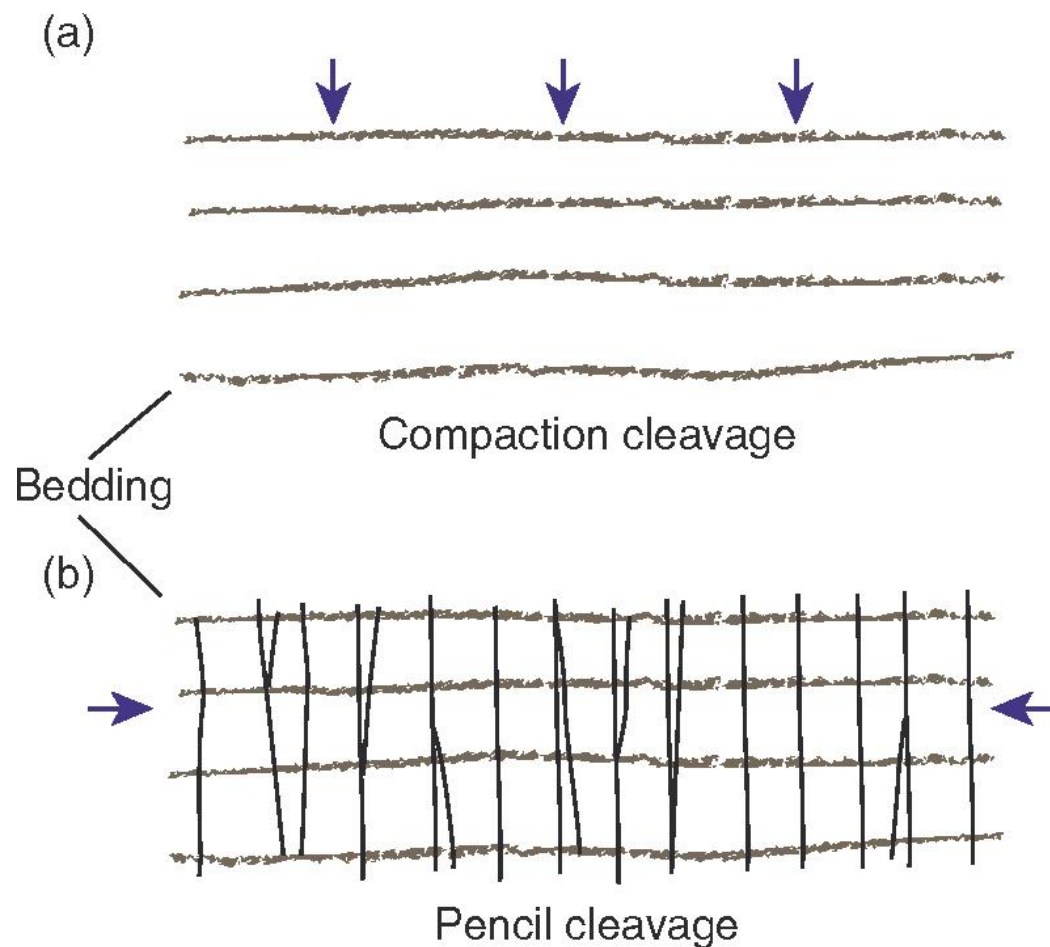


Άρα λοιπόν

## ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΝΟΝΤΑΣ

η αλληλουχία δημιουργίας των διαφόρων τύπων σχισμού είναι αυτή που παρουσιάζεται στο σχήμα αυτό.

(a) non-tectonic cleavage, (b) partial tectonic cleavage, (c), (d) & (e) typical tectonic cleavages



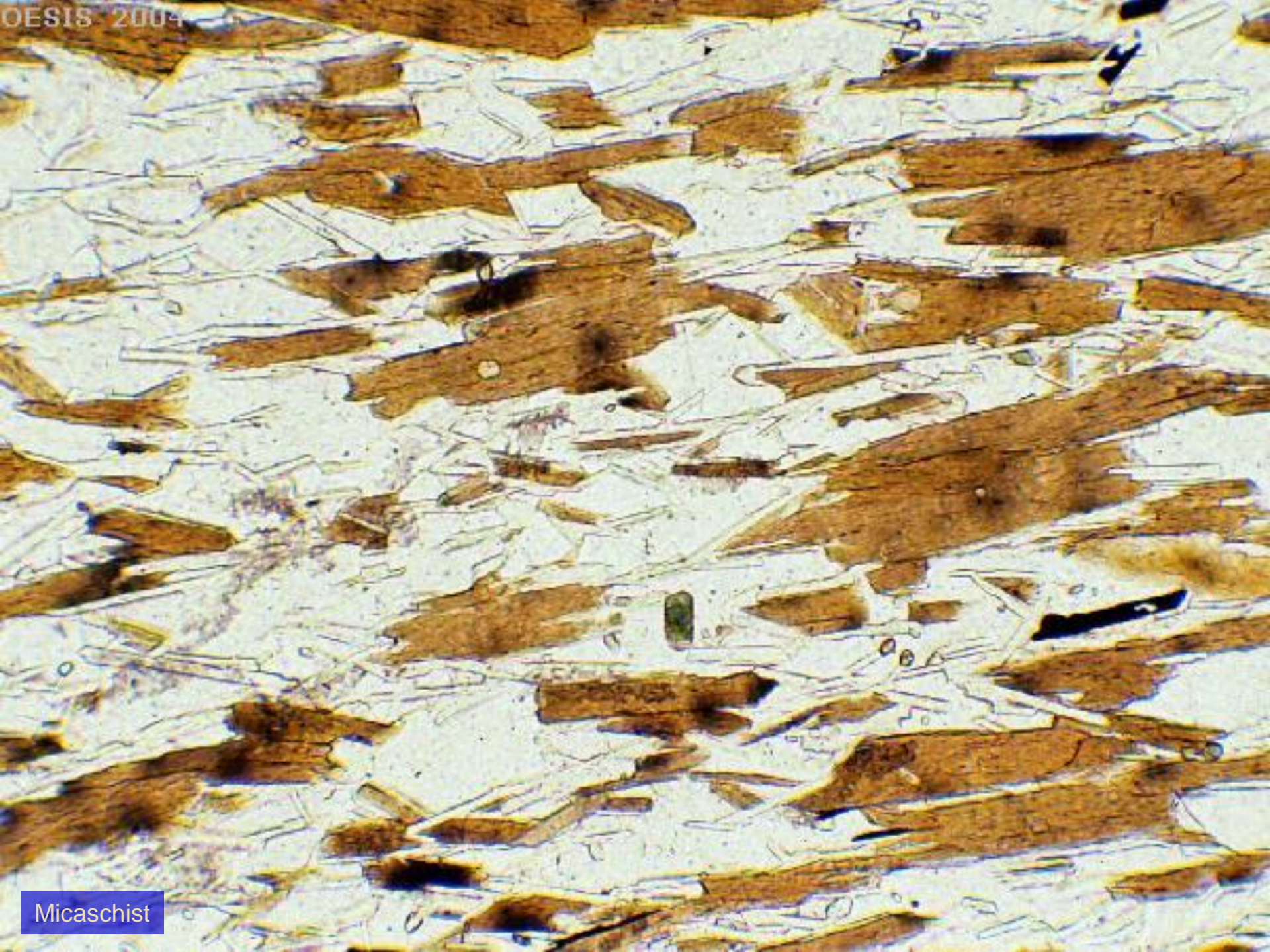


## 6. Schistosity (σχιστότητα)

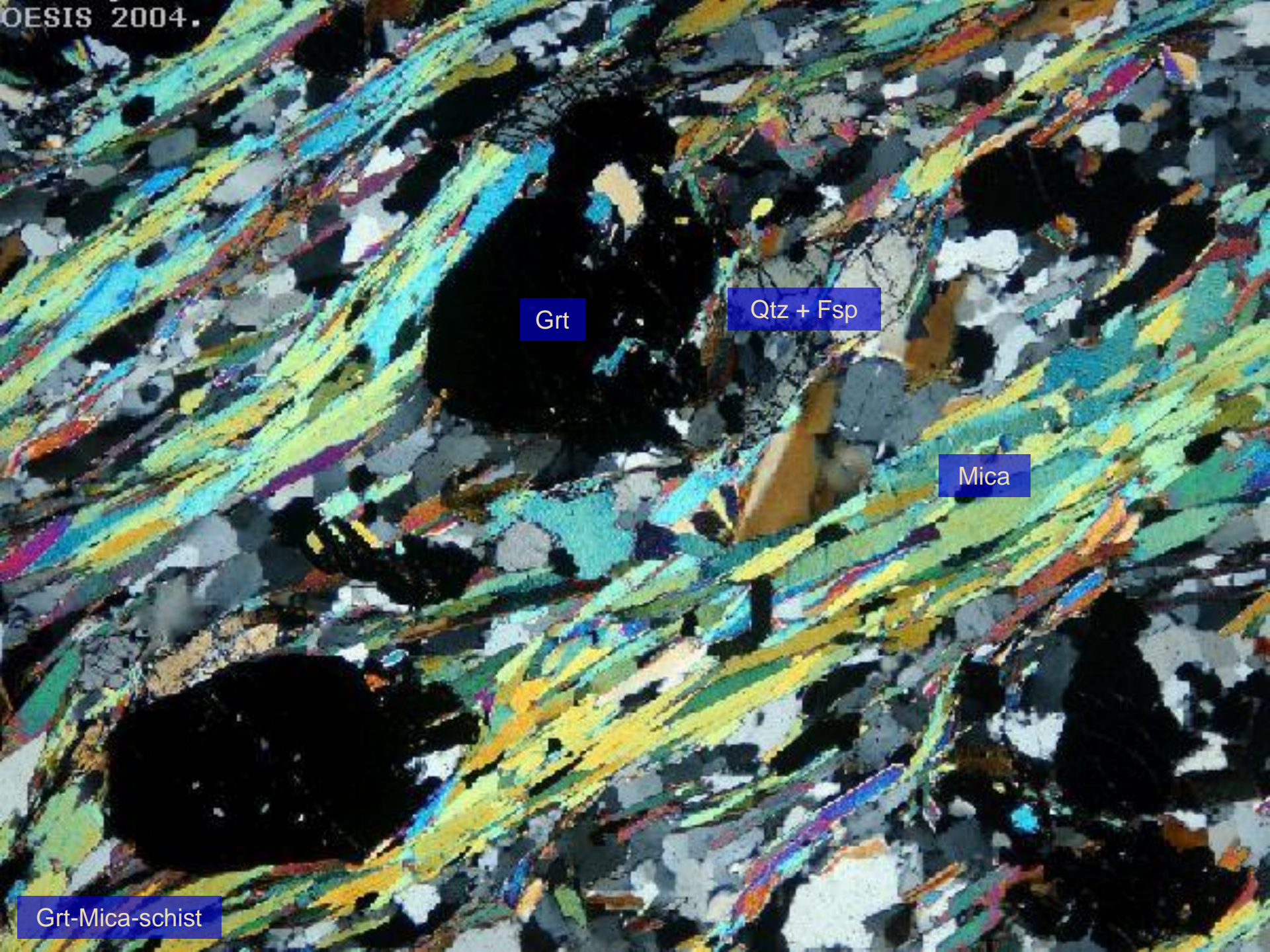
- Όταν το αρχικό πηλιτικό πέτρωμα φθάσει σε συνθήκες **άνω-πρασινοςχιστολιθικής** και πιθανά **κάτω-αμφιβολιτικής φάσης**, οι μαρμαρυγίες και τα υπόλοιπα ορυκτά **αναπτύσσονται πολύ περισσότερο** και είναι εύκολα ορατά σε επίπεδο δείγματος. Η **αδρόκοκη** αυτή **φύλλωση** αποκαλείται πια **σχιστότητα** και το πέτρωμα **σχιστόλιθος**.
- Στους **mica-schists** η **φύλλωση** είναι πιο **επίπεδη** και **κυματιστή** αφού περιβάλλει συσσωματώματα Qtz & Fsp, ή "σκληρά" μεταμορφικά ορυκτά, όπως Grt, Ky, St & Am.
- Στους **Qtz-schists** οι σιλπινοί **micas** είναι **ορατοί** με γυμνό οφθαλμό, είναι έντονα **προσανατολισμένοι** και μαζί με τους έντονα **επιμηκυμένους Qtz (shape preferred orientation)** διαμορφώνουν τη σχιστότητα, αλλά και πολύ πιο παχιά και επίπεδα QF- & M-domain.
- Ως μηχανισμός κυριαρχεί η **γρήγορη** και **εκτεταμένη ανακρυστάλλωση**.



Micaschist



Micaschist

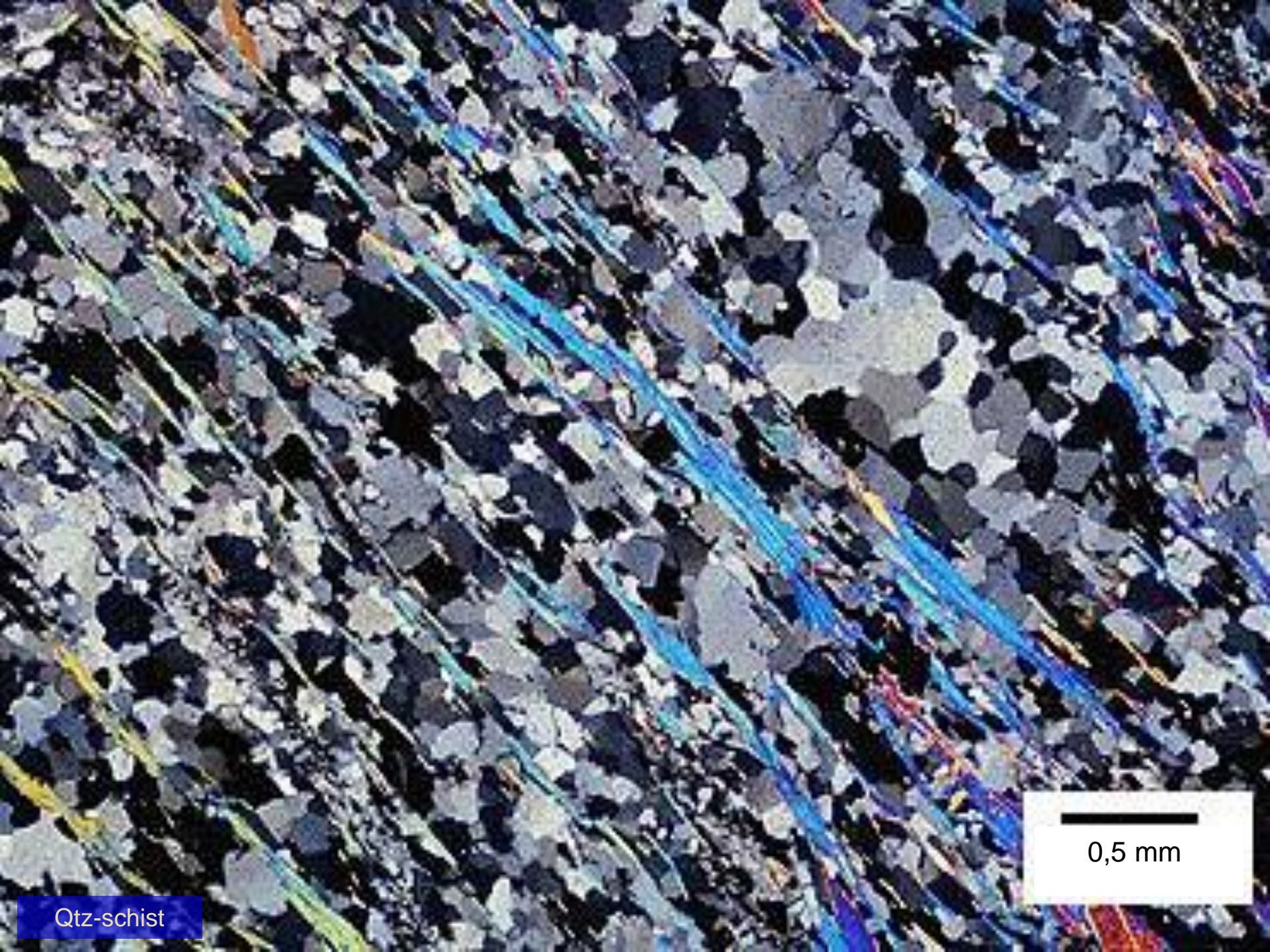


Grt

Qtz + Fsp

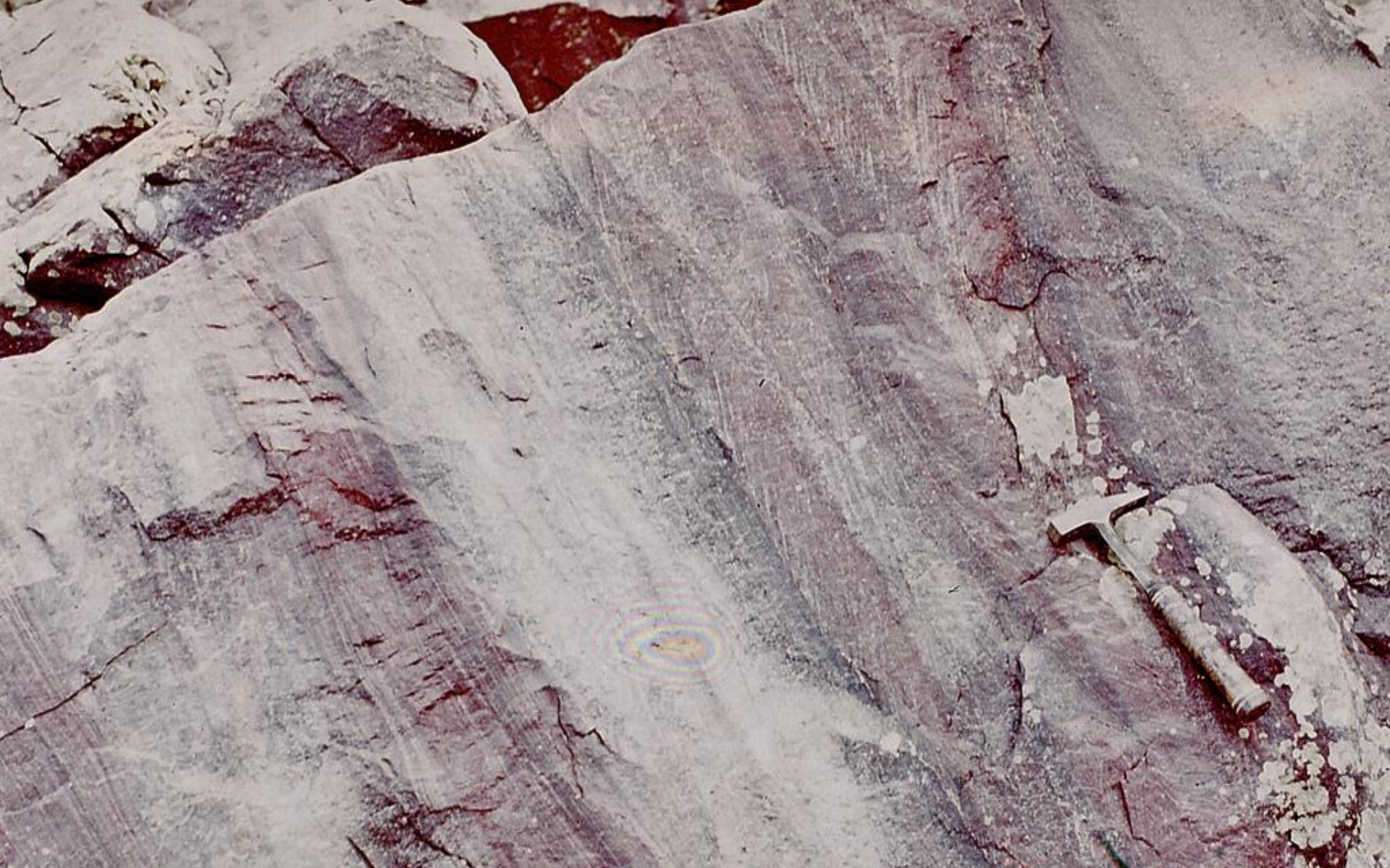
Mica

Grt-Mica-schist



0,5 mm

Qtz-schist



**Quartzitic banding:** Στους καθαρούς χαλαζίτες, ποτέ δεν αναπτύσσεται μια καλά ανεπτυγμένη σχιστότητα δεδομένου ότι δεν υπάρχουν φυλλοπυριτικά ορυκτά. Υπάρχει όμως μια ταινίωση (quartzitic banding) από διαφοροποιήσεις στο μέγεθος των κόκκων ή το χρώμα. Η φύλλωση διακρίνεται μόνο στο μικροσκόπιο, όπου παρατηρούνται πεπλατυσμένοι και πλαστικά παραμορφωμένοι κόκκοι.

## 7. Gneissic & mylonitic foliation

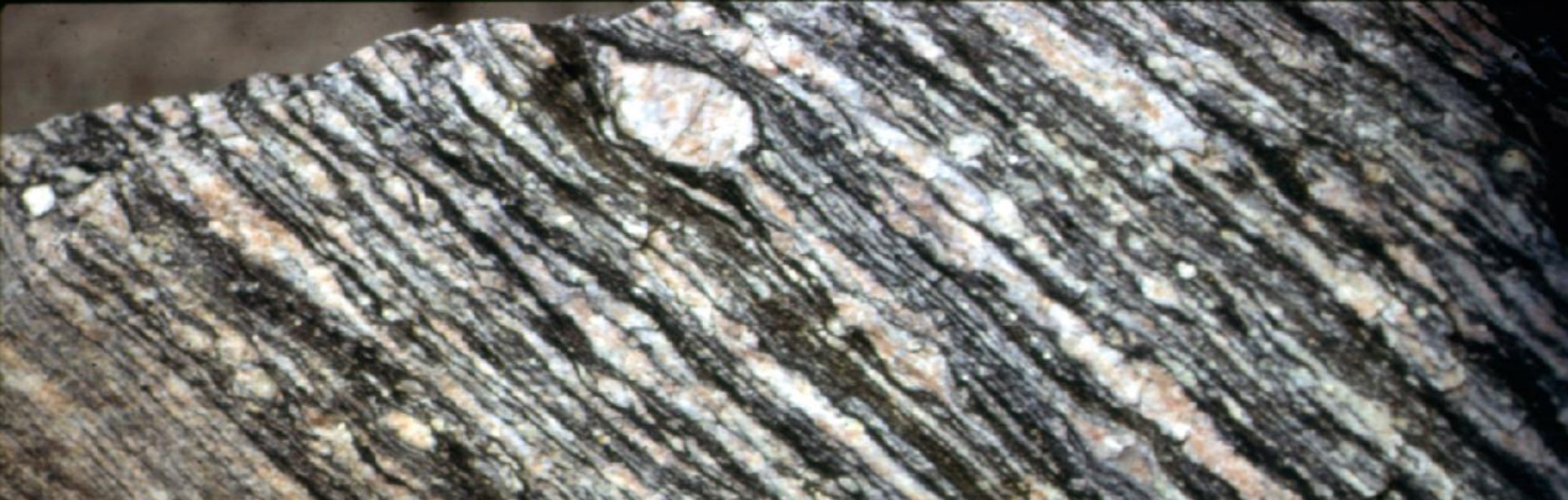
- Η ταινίωση - ζώνωση (banding) ή στρωμάτωση (layering), που παρατηρείται στους γνεύσιους, αναφέρεται ως **gneissic foliation**, **gneissic layering** ή **gneissic banding**.
- Χαρακτηρίζει εναλλαγές στρωμάτων με **έντονες αντιθέσεις** στη **σύσταση**, που αντιπροσωπεύουν **δομές** που έχουν **περιστραφεί** και **επιπεδωθεί** (flattened), όπως κοίτες ή άλλες πρωτογενείς στρωματώσεις που είναι δύσκολο να προσδιορίσουμε την προέλευσή τους.
- Η γνευσιακή φύλλωση μπορεί να είναι **μιγματιτική (migmatitic)** αν περιλαμβάνεται και μερική τήξη, ή **μυλονιτική (mylonitic)** αν το ποσοστό της παραμόρφωσης είναι πολύ υψηλό (high strain rate), όπως π.χ. στις ζώνες διάτμησης (shear zones), ή στις ζώνες επωθήσεων, που προϋποθέτουν Km-μετακινήσεις.



Γνευσιακή φύλλωση που χαρακτηρίζει εναλλαγές πηγματιτικών στρωματιδίων και boudin, με στρωματίδια πλούσια σε Am (σκούρο χρώμα) και στρωματίδια ενός ενδιάμεσης σύστασης μετα-πυριγενούς πετρώματος.



Μιγματικοί γνεύσιοι, όπου η φύλλωση περιλαμβάνει και γρανιτικούς πηγματίτες, γνωστούς ως λευκώματα.



Μυλονιτική φύλλωση που έχει σχηματισθεί από έντονη διάτμηση με αποτέλεσμα την σε πλαστικές συνθήκες μείωση του μεγέθους των κόκκων, ενός αρχικά αδρομερούς γρανιτικού πετρώματος.



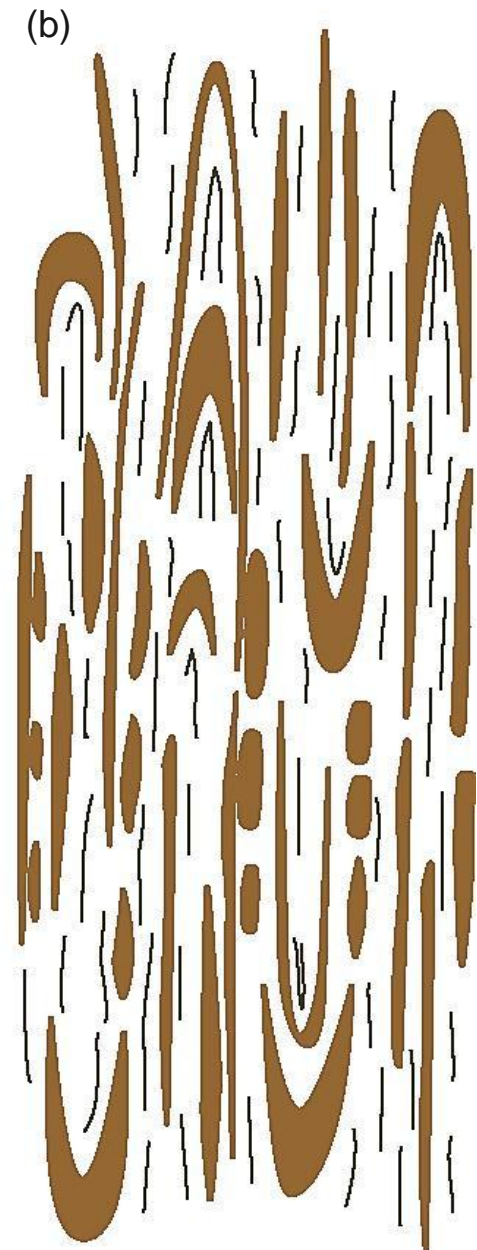
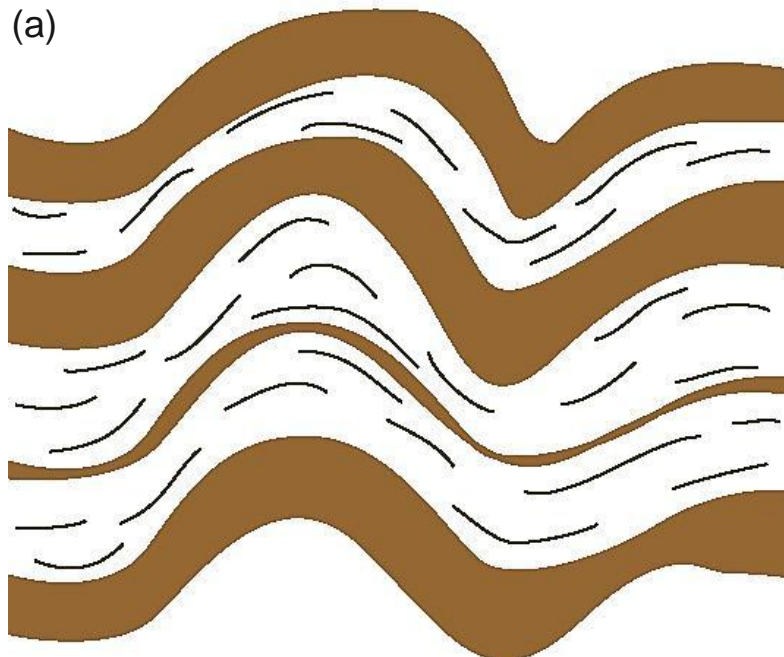
Μυλονιτικός γνεύσιος, αποτέλεσμα υψηλής μη-ομοαξονικής παραμόρφωσης, που οδηγεί σε επιπέδωση των δομών και μείωση του πάχους των στρωματιδίων.



## 7. Transposition foliation

- Η έννοια της **αντιμετάθεσης** μιας στρωμάτωσης (**transposed layering**), αναφέρεται στη διαδικασία όπου **προϋπάρχουσες δομές** (κοίτες, φλέβες, φυλλώσεις κλπ.), **επιπεδώνονται (flattening)** και **περιστρέφονται (shearing)** μέχρι **παράλληλισμού**, έτσι ώστε όλες μαζί να δημιουργήσουν μια φύλλωση ή ζώνωση (**banding**), αποκαλούμενη **transposition foliation**.
- Με προϋπόθεση το **high strain rate**, τόσο η **ομοαξονική** όσο και η **μη-ομοαξονική** παραμόρφωση μπορούν να δώσουν **transposition foliation**, αν και η **απλή διάτμηση** (δηλ. μη-ομοαξονική) συνήθως περιλαμβάνεται.
- Τα **gneissic banding** και **mylonitic foliation** σχετίζονται στενά με αντιμετάθεση μιας παλαιότερης στρωμάτωσης (**transposed layering**) και άρα χαρακτηρίζονται ως **transposition foliation**, με τυπική εικόνα κορυφαία ισοκλινών πτυχών με έντονα εκλεπτυσμένα σκέλη.

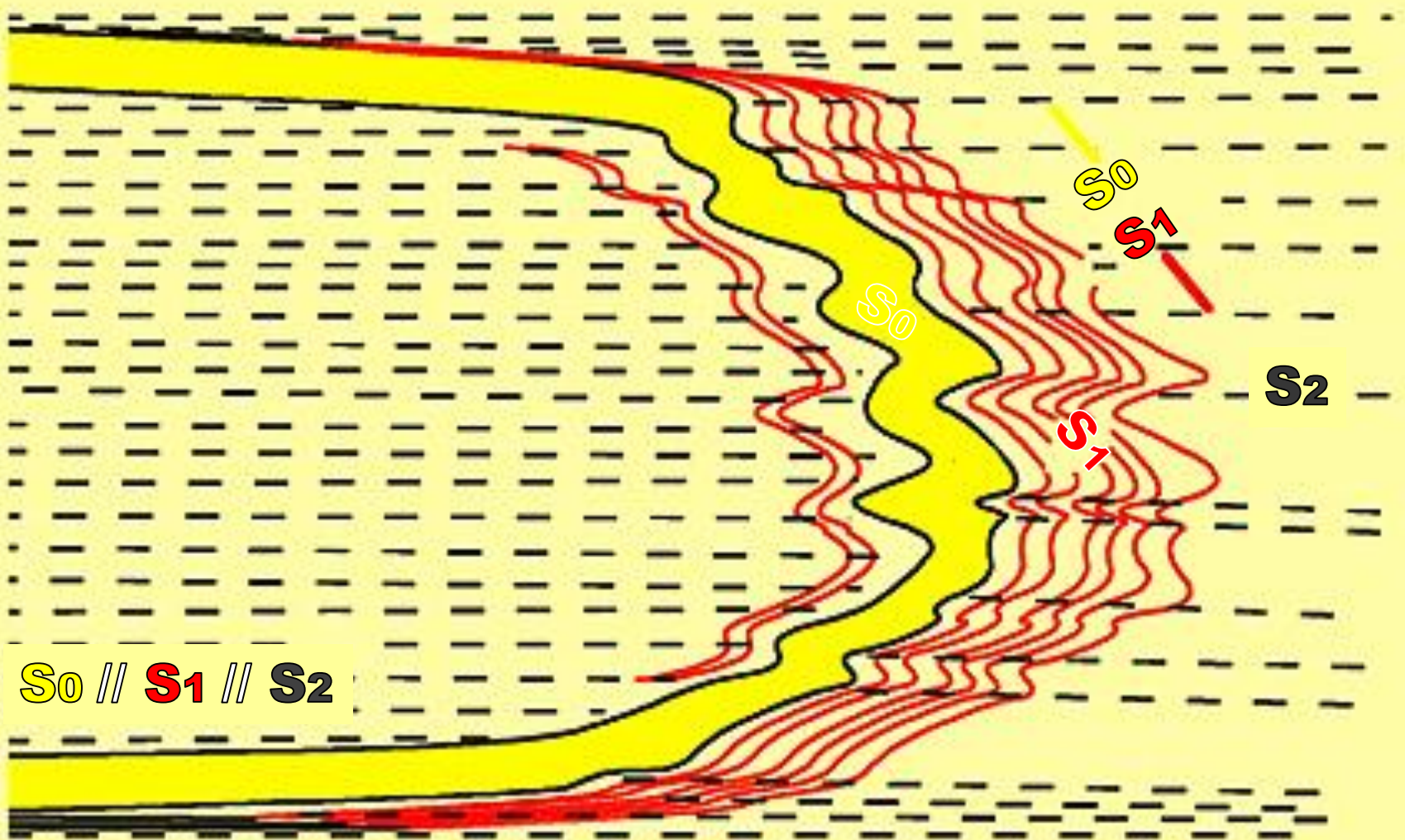
Τυπική εικόνα αντιμετάθεσης της κύριας φύλλωσης που από οριζόντια (a) γίνεται κατακόρυφη (b) και συνδέεται με οριζόντια βράχυνση και κατακόρυφη έκταση. Το αποτέλεσμα είναι ένα πέτρωμα με έντονη ταινίωση (**banding**), αποκομμένα κορυφαία (**intrafolial folds**) και εκλεπτυσμένα σκέλη.



**D1** → **S1**

Transposition foliation σε επίπεδο λεπτής τομής

**D2** → **S2**



**S0** // **S1** // **S2**



Gneissic transposition foliation, που σχηματίστηκε από διάτμηση του μιγματικού γνευσίου του υποβάθρου των Νορβηγικών Καλιδονίδων.



Transposition foliation από το Moine thrust της Σκωτίας.



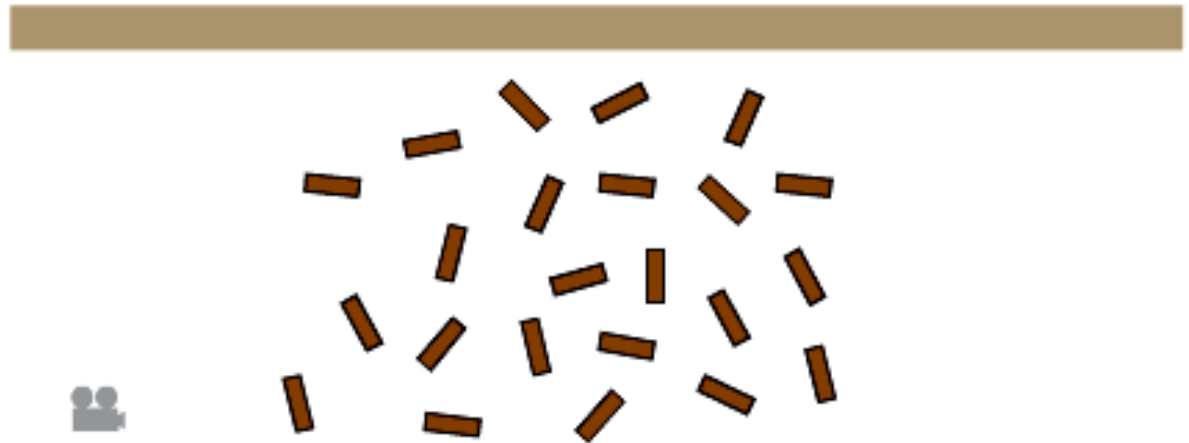
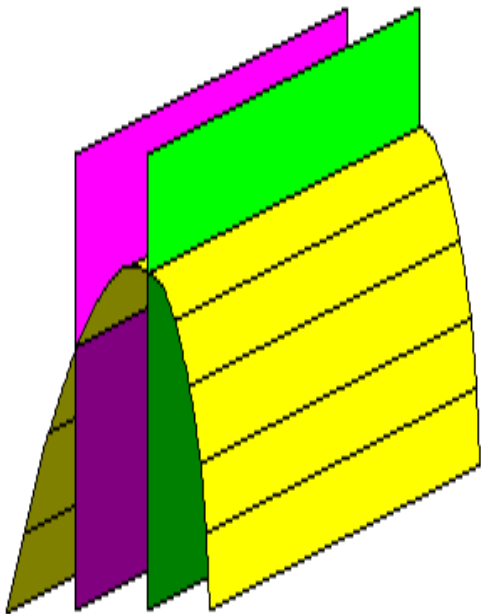
Gneissic transposition foliation.

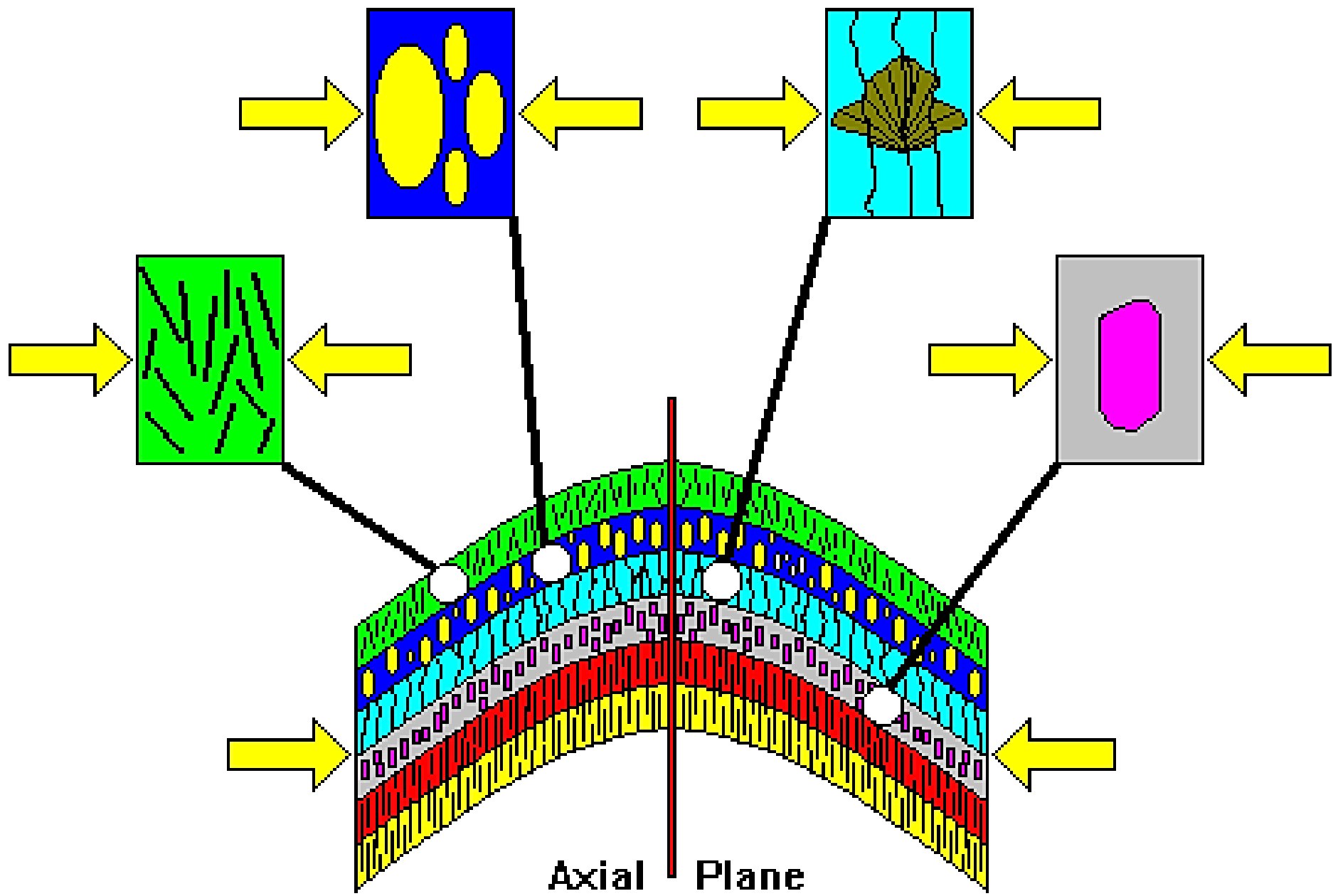
## Φύλλωση και πτύχωση – Φύλλωση κατ' αξονικό επίπεδο

Σε αρκετές περιπτώσεις οι **δευτερογενείς τεκτονικές φυλλώσεις** φαίνεται να σχετίζονται με την **πτύχωση** και στην τυπική περίπτωση αυτές προσανατολίζονται παράλληλα με τα αξονικά επίπεδα των πτυχών, γι' αυτό και χρησιμοποιείται ο όρος **φύλλωση κατ' αξονικό επίπεδο (axial planar foliation)**.

Η κύρια σχέση ανάμεσα στην πτύχωση και το σχηματισμό της φύλλωσης δείχνει ότι τόσο τα **αξονικά επίπεδα**, όσο και η **φύλλωση** προσανατολίζονται **εγκάρσια** στη **διεύθυνση** της (πεπερασμένης) **βράχυνσης (finite shortening)**.

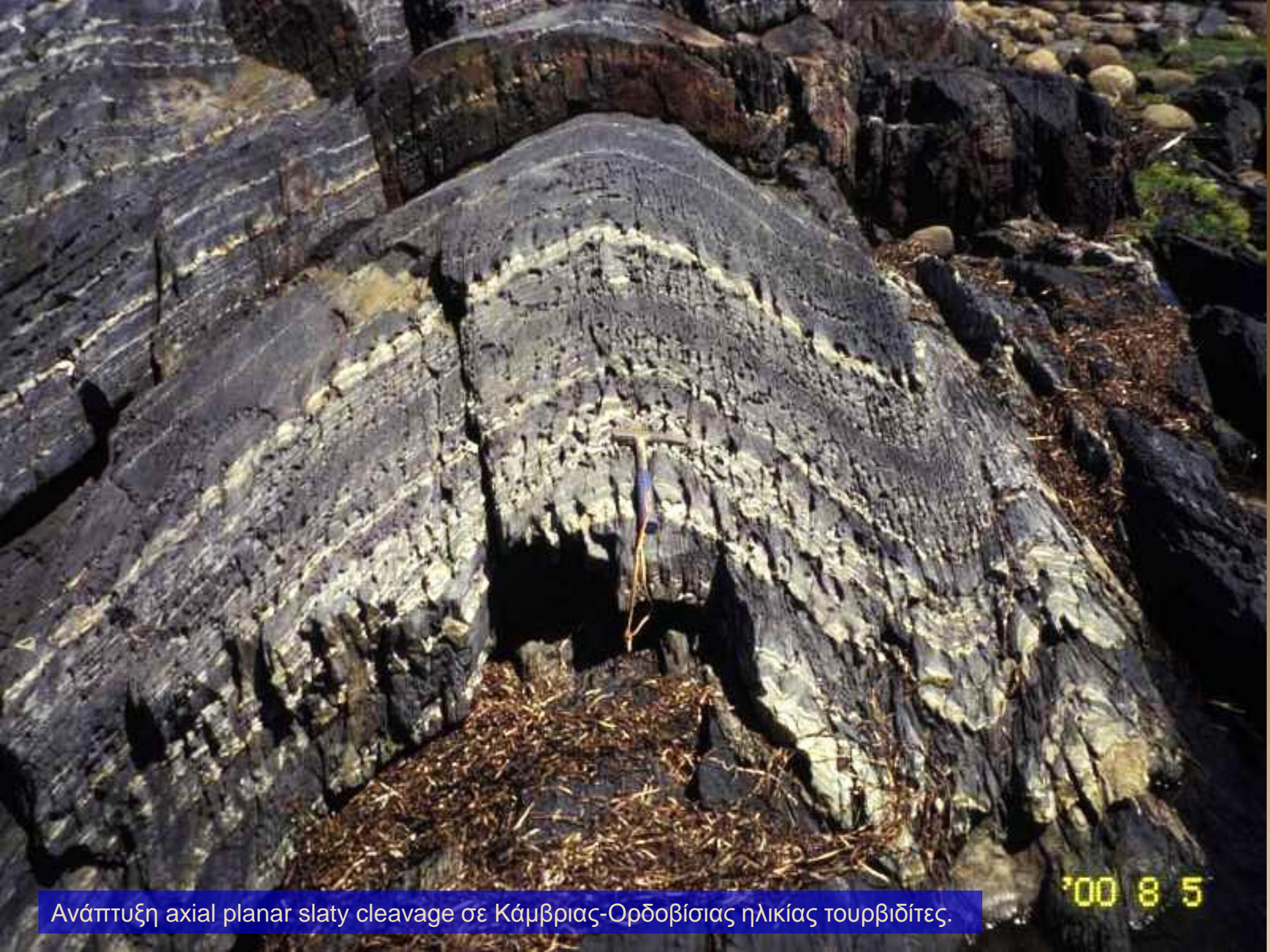
Η σχέση αυτή που φανερώνει ότι **πτύχωση** και **φύλλωση** έχουν δημιουργηθεί στην **ίδια παραμορφωτική φάση**, είχε διαπιστωθεί από πολύ παλιά από τους Sedwick (1835) και Darwin (1846).





Axial Plane

Η συμπίεση (βράχυνση) στην πιο μεγάλη κλίμακα δημιουργεί την πτυχή και η συμπίεση στη μικρή κλίμακα τις επιφάνειες της φύλλωσης, παράλληλα με τα αξονικά επίπεδα και εγκάρσια στον άξονα της βράχυνσης..



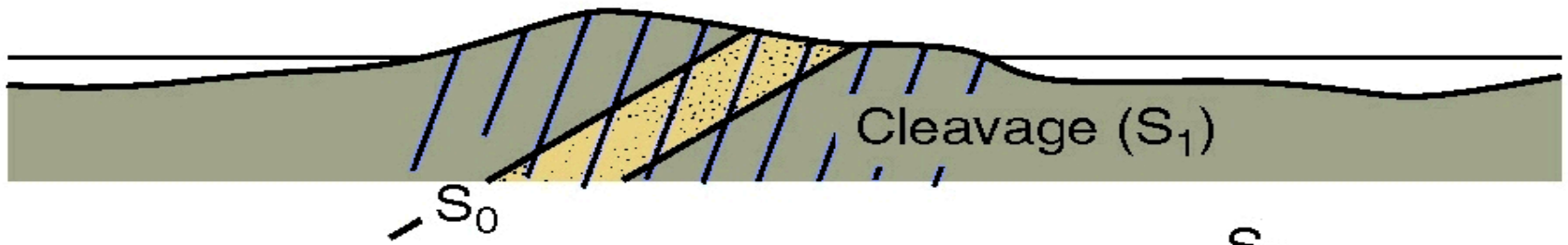
Ανάπτυξη axial planar slaty cleavage σε Κάμβριας-Ορδοβίσιας ηλικίας τουρβιδίτες.

00 8 5

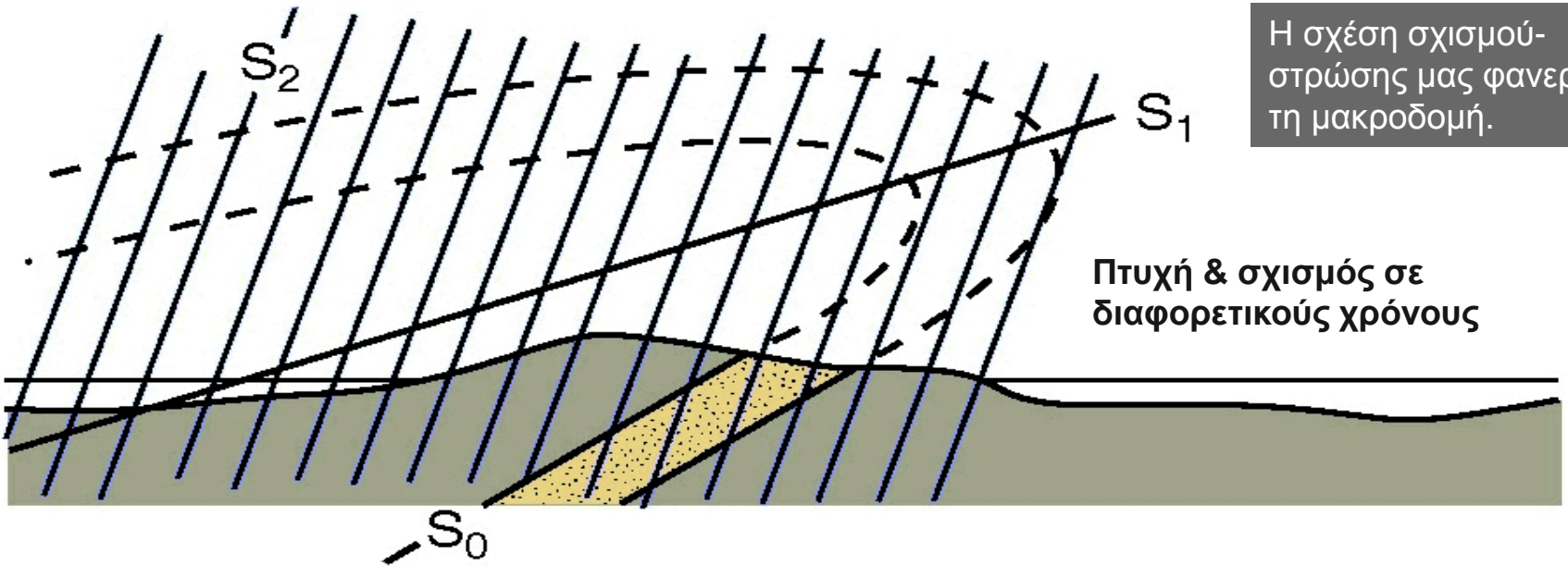
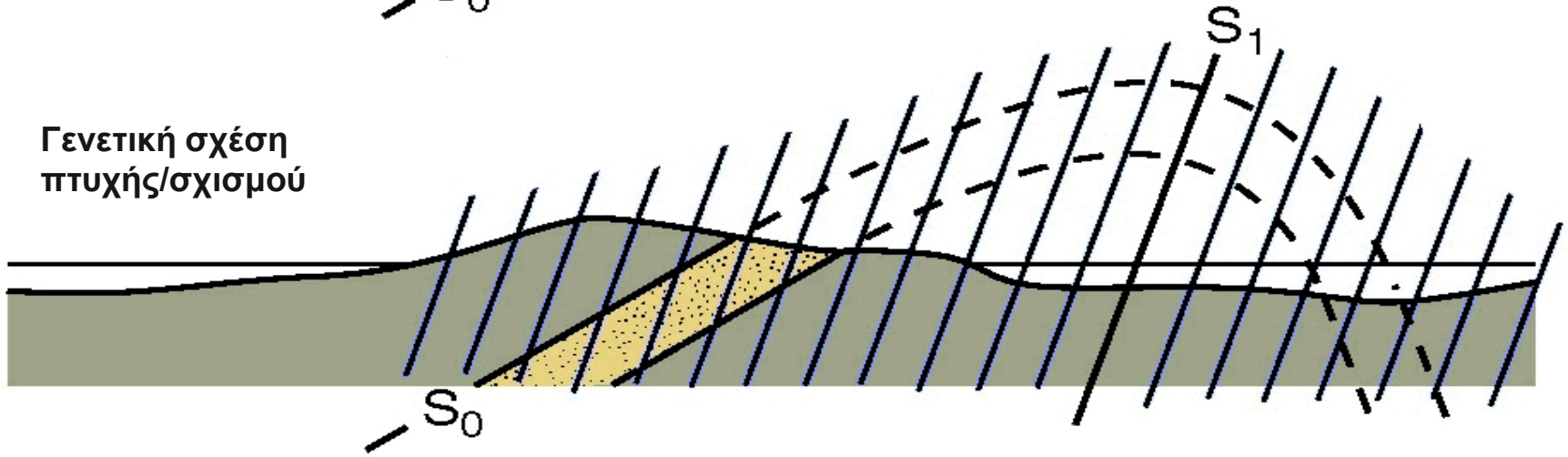


Δευτερογενής τεκτονική φύλλωση (σχιστότητα), με υπο-οριζόντια διάταξη, που καθορίζεται από τον προσανατολισμό κυρίως των μαρμαρυγιών, αλλά και των επιμηκυμένων και πεπλατυσμένων κρυστάλλων του χαλαζία, παράλληλα με το αξονικό επίπεδο της πτυχής. Το πέτρωμα είναι ένας Qtz-Mca-σχιστόλιθος.





Γενετική σχέση  
πτυχής/σχισμού

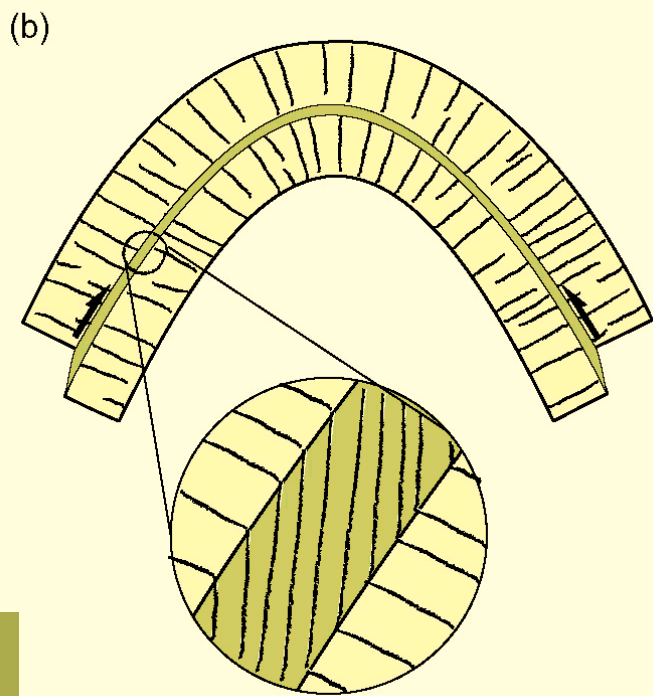
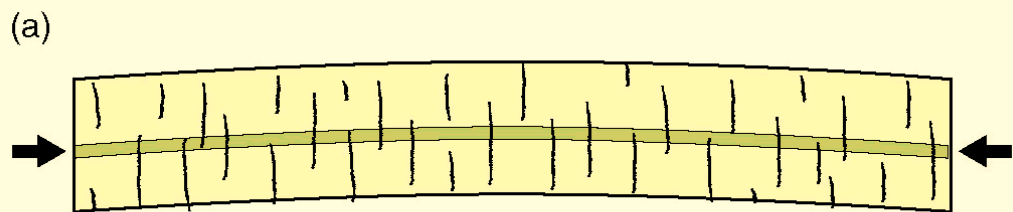


Η σχέση σχισμού-  
στρώσης μας φανερώνει  
τη μακροδομή.

Πτυχή & σχισμός σε  
διαφορετικούς χρόνους

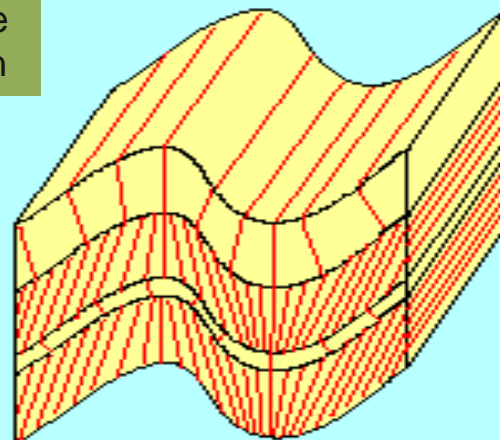
# Φύλλωση και πτύχωση – Διάθλαση της φύλλωσης

Σε πολλές περιπτώσεις ανάπτυξης σχισμού και όταν εναλλάσσονται στρώματα με **διαφορετικά μηχανικά χαρακτηριστικά**, π.χ. πηλίτες (λιγότερο ανθεκτικό "μαλακό") / ψαμμίτες (πιο ανθεκτικό "σκληρό"), παρατηρείται το φαινόμενο της **διάθλασης του σχισμού (cleavage refraction)**, όπου όταν ο σχισμός τέμνει ανθεκτικούς οριζόντες, αλλάζει γεωμετρία και συγκλίνει προς τον πυρήνα της πτυχής (ανοίγει σε σχήμα βεντάλιας προς το κορυφαίο – **foliation fanning**)

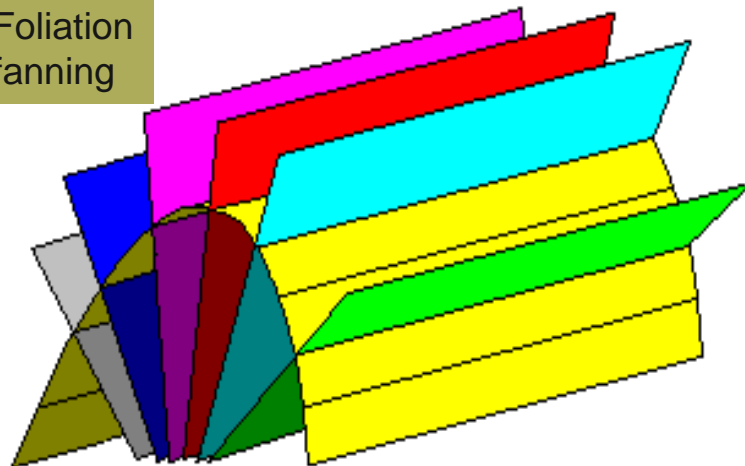


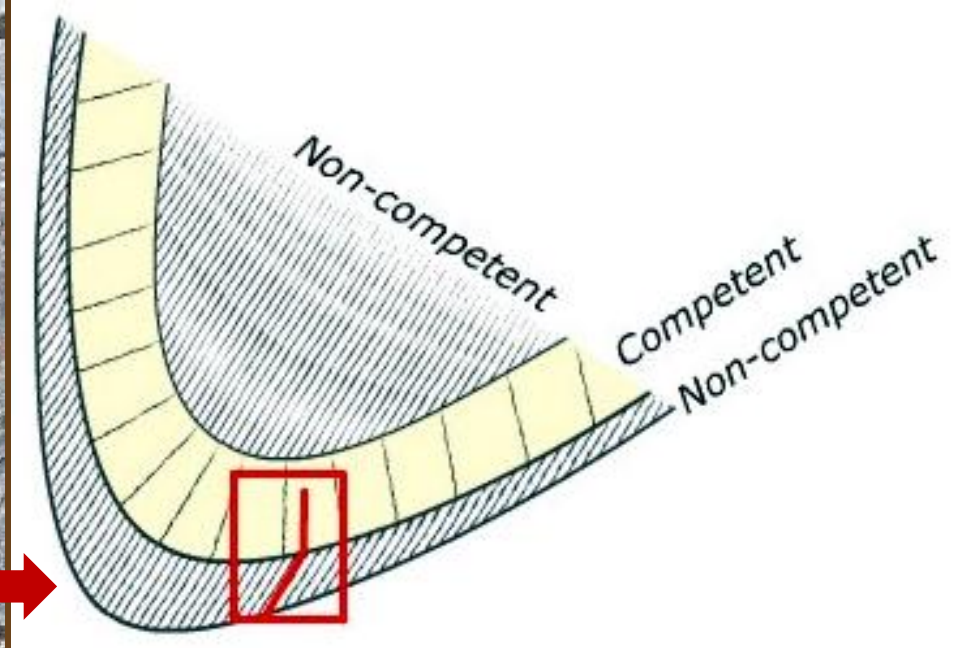
Cleavage refraction

Cleavage refraction



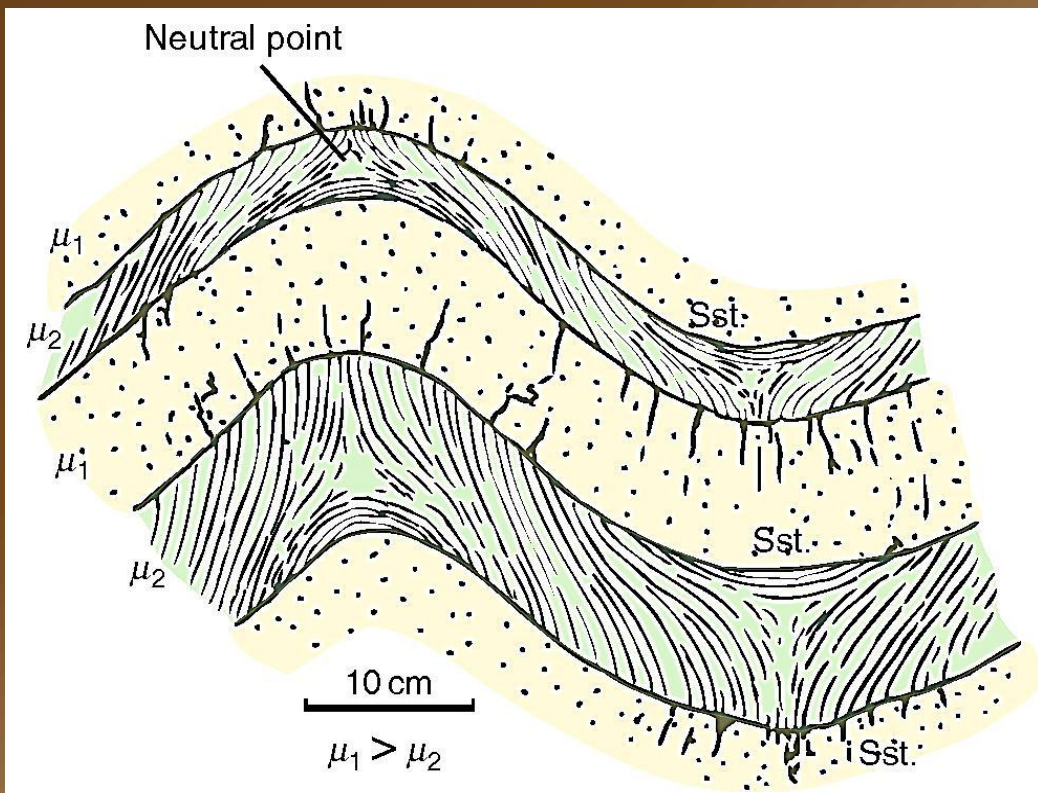
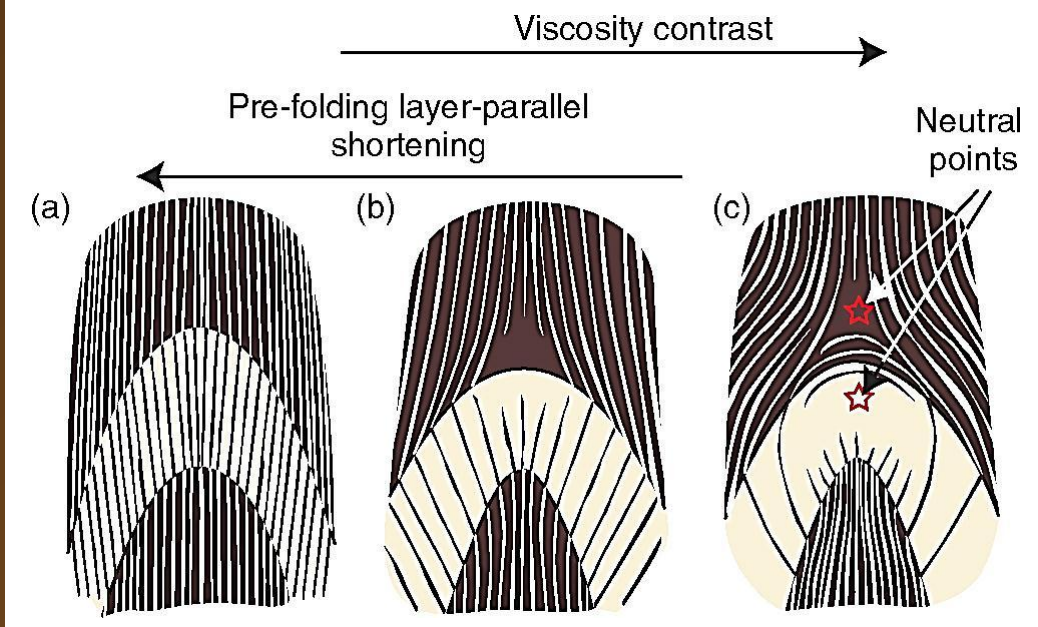
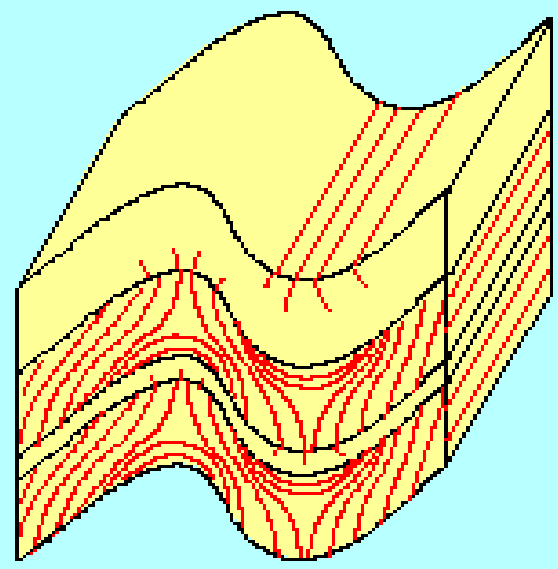
Foliation fanning





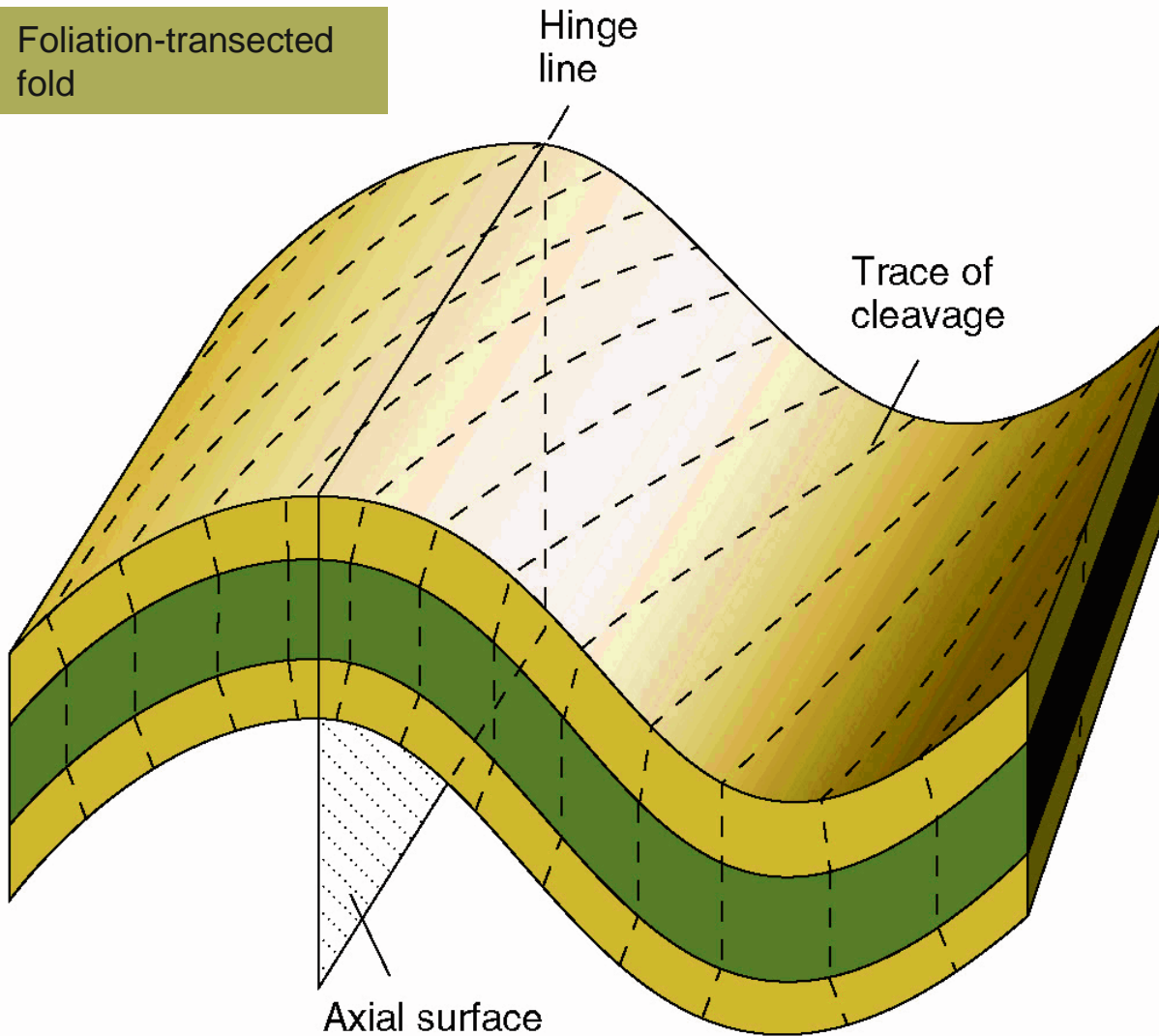
Γενικά η διάθλαση του σχισμού μπορεί να οδηγήσει σε **σημαντικές αλλαγές στη γεωμετρία**, ακόμα και σε εγκάρσια ανάπτυξη σε σχέση με το αξονικό επίπεδο. Οι κυριότεροι παράγοντες που το καθορίζουν αυτό είναι:

- αντιθέσεις στην **αντοχή** των εναλλασσομένων στρωμάτων,
- διαφοροποιήσεις στον **προσανατολισμό** του τοπικού **εντατικού πεδίου** και της **παραμόρφωσης** (π.χ. **strain partitioning**),
- η **θέση** ανάπτυξης του **σχισμού** σε σχέση με τη **γεωμετρία** της **πτυχής**,
- το **μηχανισμό δημιουργίας** της **πτυχής** (π.χ. buckling με διαστρωματική ολίσθηση -flexural shear),
- **προϋπάρχουσα** (πριν την πτύχωση) **βράχυνση** παράλληλα με τη στρώση,



## Φύλλωση και πτύχωση – Πτυχές διατεμνόμενες από τη φύλλωση

Foliation-transected  
fold



Σε ορισμένες περιπτώσεις εμφανίζεται μια αξιοσημείωτη **διαφορά** στον **προσανατολισμό αξονικού επιπέδου** και **σχισμού**, παρότι υπάρχει γενετική σχέση πτυχής και φύλλωσης και δεν υφίστανται συνθήκες για διάθλαση.

Ο σχισμός τέμνει όχι μόνο το αξονικό επίπεδο αλλά και το κορυφαίο της πτυχής και αποκαλείται **διατέμνων σχισμός (transecting cleavage)** και η πτυχή διατεμνόμενη από τη φύλλωση (**foliation-transected fold**).

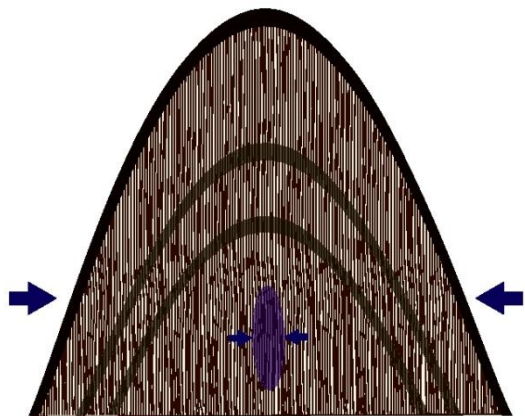
Οι δομές αυτές σχηματίζονται σε καθεστώτα **διασυμπίεσης** (που προϋποθέτουν περιστροφή των δομών κατά τη διάρκεια της παραμόρφωσης) και όταν υπάρχει μια μικρή **διαφορά** στην **έναρξη σχηματισμού πτυχής** και **φύλλωσης**. Σχηματίζονται και σε **ομοαξονική παραμόρφωση**, όταν δεν έχουμε τεκτονική ροή σταθερής κατάστασης (**non-steady-state flow**) π.χ. οι **ISA περιστρέφονται** σε σχέση με το παραμορφωμένο πέτρωμα.

# Φυλλώσεις και $XY$ -επίπεδο παραμόρφωσης (strain)

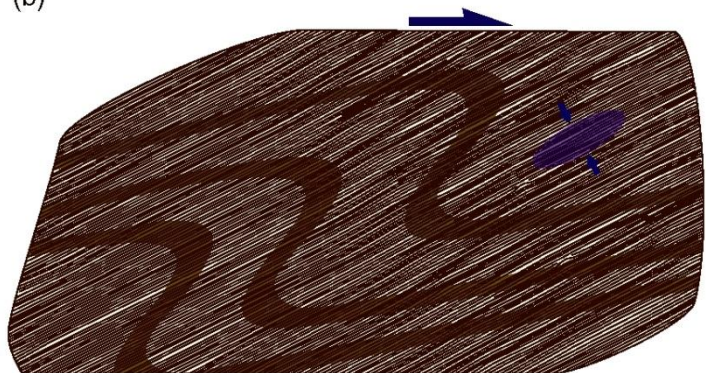
Στις περισσότερες περιπτώσεις οι **φυλλώσεις ταυτίζονται** με το  **$XY$ -επίπεδο (finite flattening plane)** της τεκτονικής παραμόρφωσης, με άλλα λόγια σχηματίζονται εγκάρσια στον minimum άξονα  $Z$  της πεπερασμένης παραμόρφωσης (finite strain). Αυτό ισχύει για την **ομοαξονική**, όσο και τη **μη-ομοαξονική παραμόρφωση**, όπως η απλή διάτμηση (simple shear).

Αυτό επιβεβαιώνεται από τις περιπτώσεις όπου **κροκάλες** (ή άλλοι **δείκτες παραμόρφωσης**, π.χ. απολιθώματα, reduction spots κλπ.) υπάρχουν στα παραμορφωμένα πετρώματα. Η γεωμετρία της παραμόρφωσης στις περιπτώσεις αυτές κυμαίνεται από **plane** σε **flattening**, δεδομένου ότι η prolate strain δεν παράγει καλά εκπεφρασμένες φυλλώσεις, αλλά γραμμικές δομές .

(a)



(b)



Η καθαρή διάτμηση (pure shear) δημιουργεί μια φύλλωση (flattening foliation), που είναι παράλληλη στη ζώνη παραμόρφωσης.

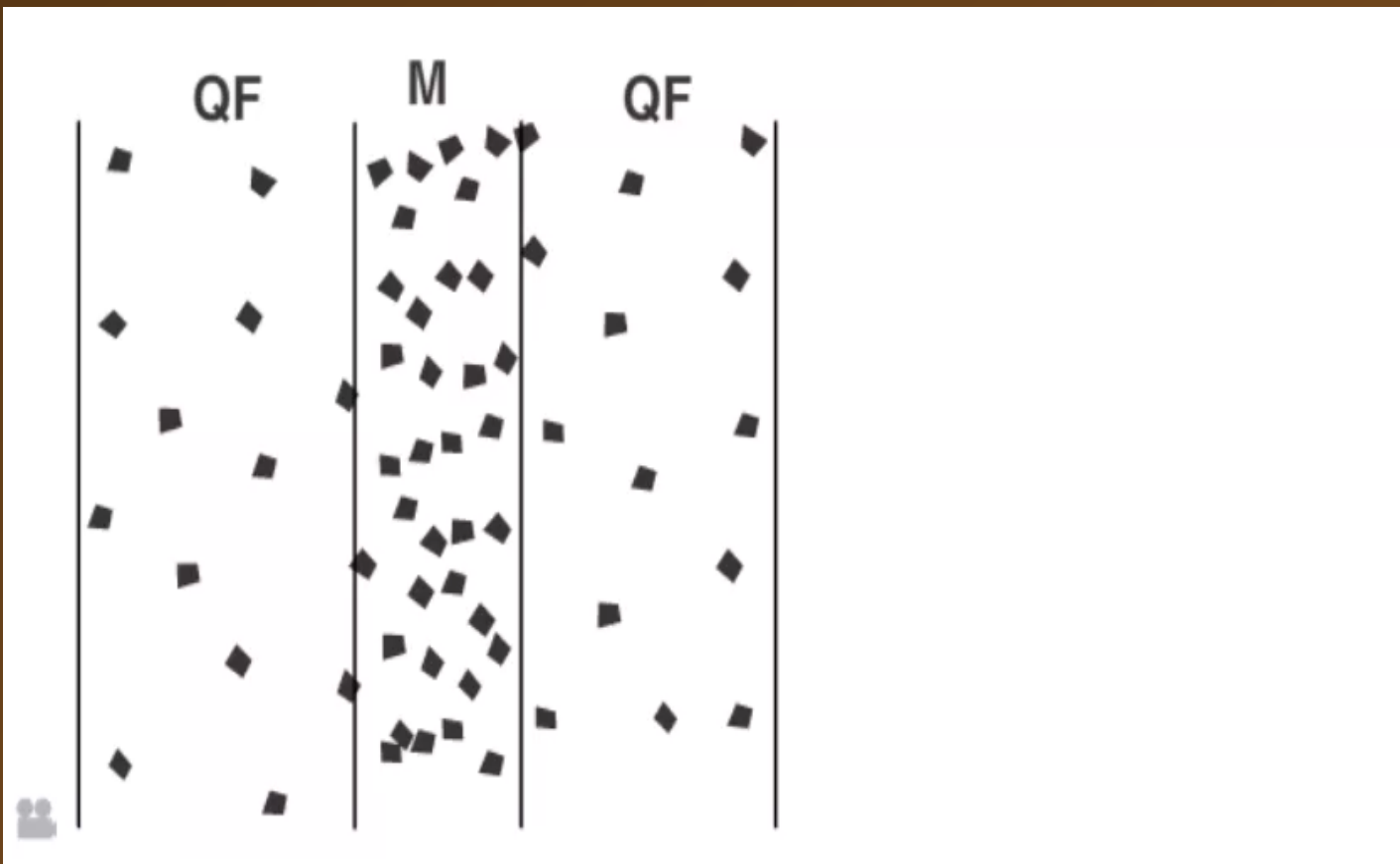


Η απλή διάτμηση (simple shear) δημιουργεί μια φύλλωση (flattening foliation), που είναι πλάγια στη ζώνη διάτμησης (shear zone).

Ο **προσανατολισμός** των **crenulations** και των **επιφανειών** που λαμβάνει χώρα η **διάλυση υπό πίεση** (**pressure solution seams**), εκφράζουν ένα σημαντικό **ποσοστό** της **παραμόρφωσης** λόγω **βράχυνσης** (**shortening strain**) εγκάρσια στη φύλλωση. Η παραμόρφωση αυτή μπορεί να **ποσοτικοποιηθεί** με διάφορους τρόπους:

- με τη σύγκριση της **διαφοράς** στα **ποσοστά συμμετοχής** των **αδιάλυτων ορυκτολογικών** φάσεων στα **M-** και **QF-domains** (ποσοτικοποιεί τη βράχυνση λόγω dissolution),
- χρησιμοποιώντας τα **reduction spots**, που πρωταρχικά ήταν σφαιρικά,
- μέσω του υπολογισμού της **διαλυτοποίησης (dissolution) απολιθωμάτων** (π.χ. γραπτόλιθοι).

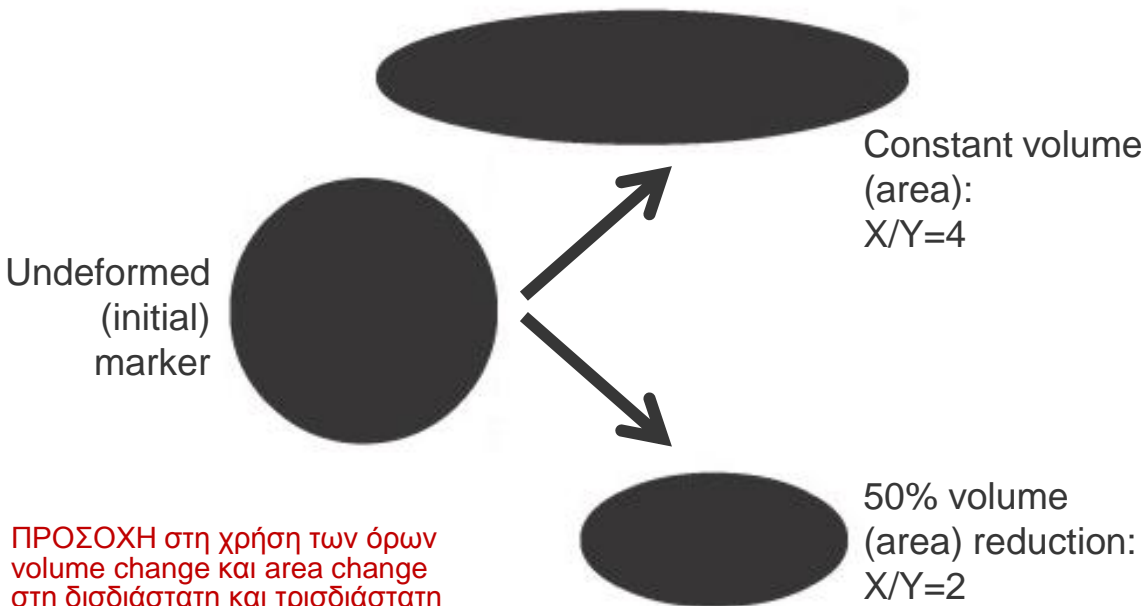
Από αντίστοιχους υπολογισμούς, η **βράχυνση** εγκάρσια στις επιφάνειες του σχισμού **κυμαίνεται** τυπικά από **30%-70%**.



Είναι σύνηθες αρκετό ποσοστό αυτής της παραμόρφωσης να **αποδίδεται** στη **μείωση όγκου (volume loss)**, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις αυτό αποδεικνύεται δύσκολα. Πρέπει να επισημανθεί ότι ο υπολογισμός της βράχυνσης από το ελλειψοειδές παραμόρφωσης (π.χ. reduction spot) εξαρτάται με το αν αυτή η **βράχυνση εξισορροπείται**, ή όχι, από **επιμήκυνση** στο **XY-επίπεδο**.



Reduction spots σε φυλλίτες.



**ΠΡΟΣΟΧΗ** στη χρήση των όρων volume change και area change στη δισδιάστατη και τρισδιάστατη παραμόρφωση.

Τα ελλειψοειδή παραμόρφωσης μπορεί να είναι το αποτέλεσμα μείωσης όγκου (κάτω) ή ομοαξονική παραμόρφωση με σταθερό όγκο (επάνω). Το παράδειγμα αφορά δισδιάστατη παραμόρφωση (plane strain).

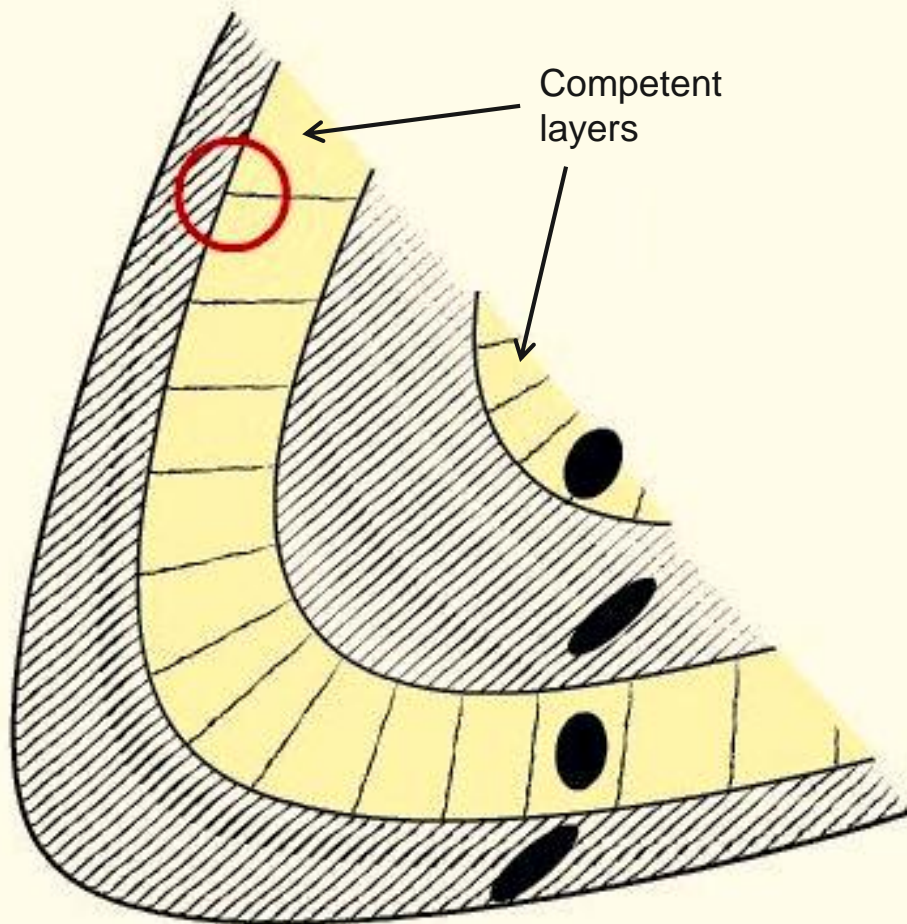
Για μια δεδομένη βράχυνση (50% στην περίπτωση μας), η ελλειπτικότητα του ελλειψοειδούς παραμόρφωσης γίνεται μεγαλύτερη όταν ο όγκος διατηρείται.





Phyllite

Quartzite



Competent layers

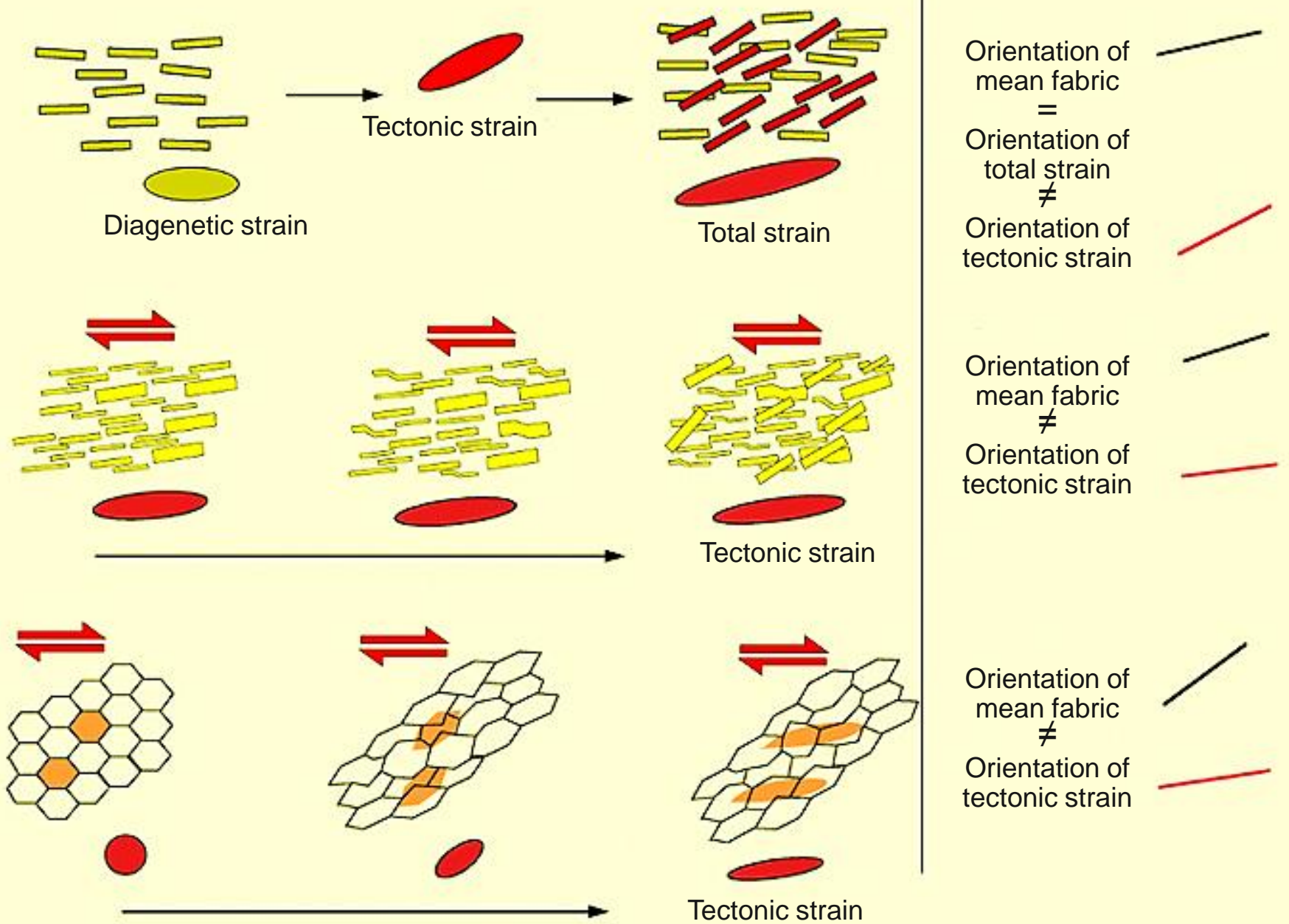
Η παραμόρφωση είναι μικρότερη στον χαλαζίτη (ανθεκτικό στρώμα) και λόγω της διάθλασης το ελλειψοειδές αλλάζει προσανατολισμό. Η ζώνη του αξονικού επιπέδου είναι η μόνη περιοχή όπου το  $XY$ -επίπεδο παραμόρφωσης και ο σχισμός ταυτίζονται απόλυτα.

Η γεωμετρία του σχισμού στην ύπαιθρο μας αποκαλύπτει και τη γεωμετρία της μακροδομής.



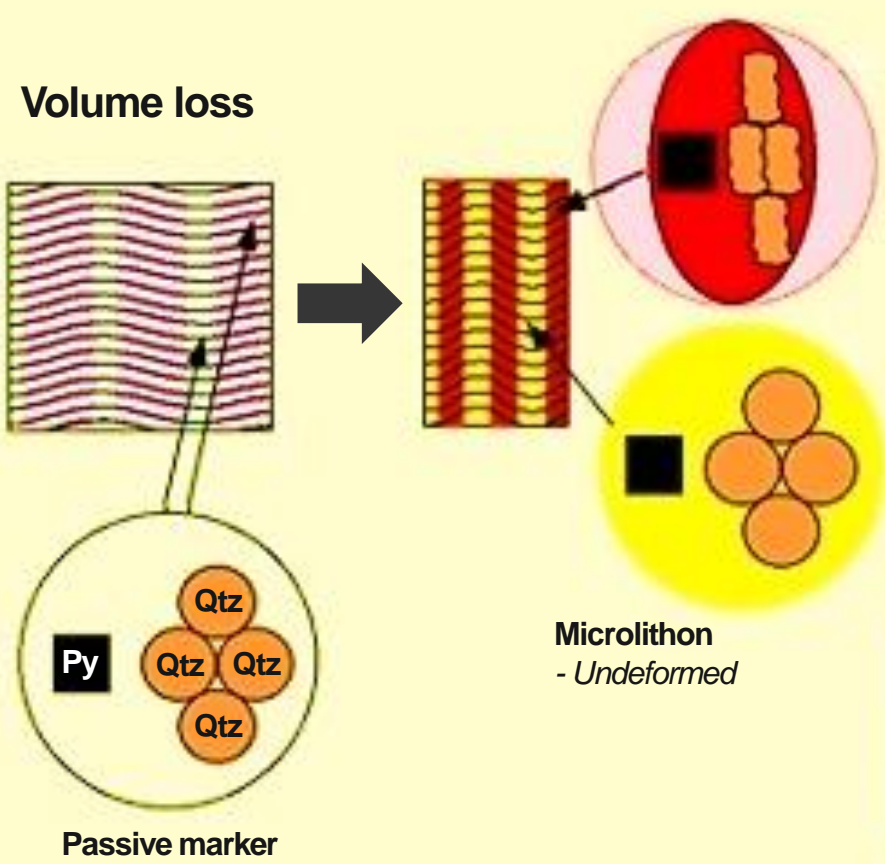
Η ανάπτυξη του σχισμού εξαρτάται κυρίως από τη λιθολογία, αλλά και από την κατανομή της παραμόρφωσης (strain). Στη φωτογραφία ο σχισμός αναπτύσσεται πολύ καλύτερα στη ζώνη του κορυφαίου, γιατί στη ζώνη αυτή η παραμόρφωση είναι υψηλότερη.

**ΕΞΑΙΡΕΣΕΙΣ** όπου οι προκύπτουσες φυλλώσεις μιας ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΙΚΗ ΦΑΣΗΣ δεν είναι εντελώς παράλληλες με το ΧΥ-επίπεδο της τεκτονικής παραμόρφωσης (tectonic strain) που αντιστοιχεί στη φάση αυτή



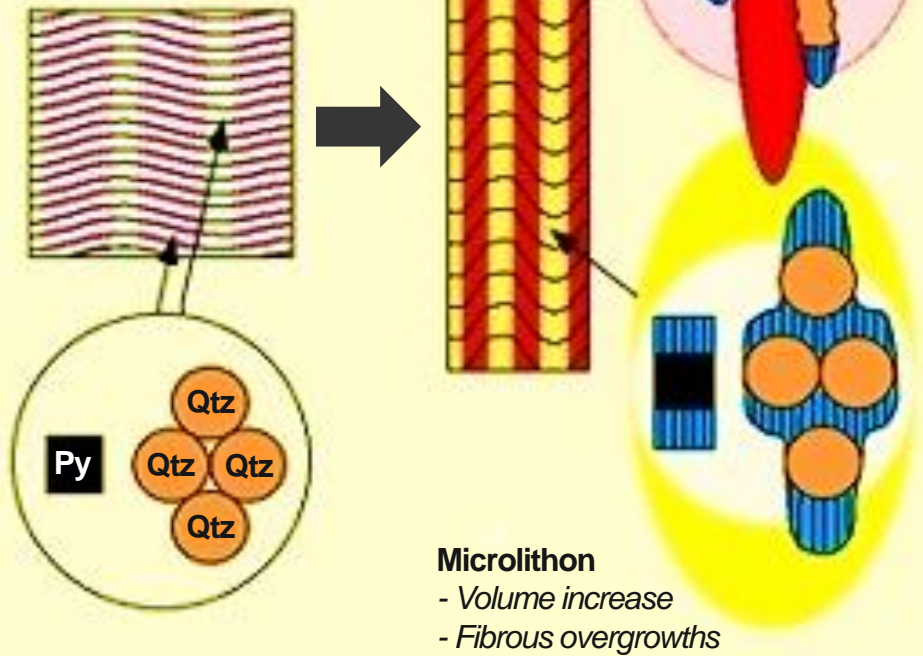
# Φυλλώσεις, παραμόρφωση (strain) και μεταβολή όγκου (volume change)

## Volume loss



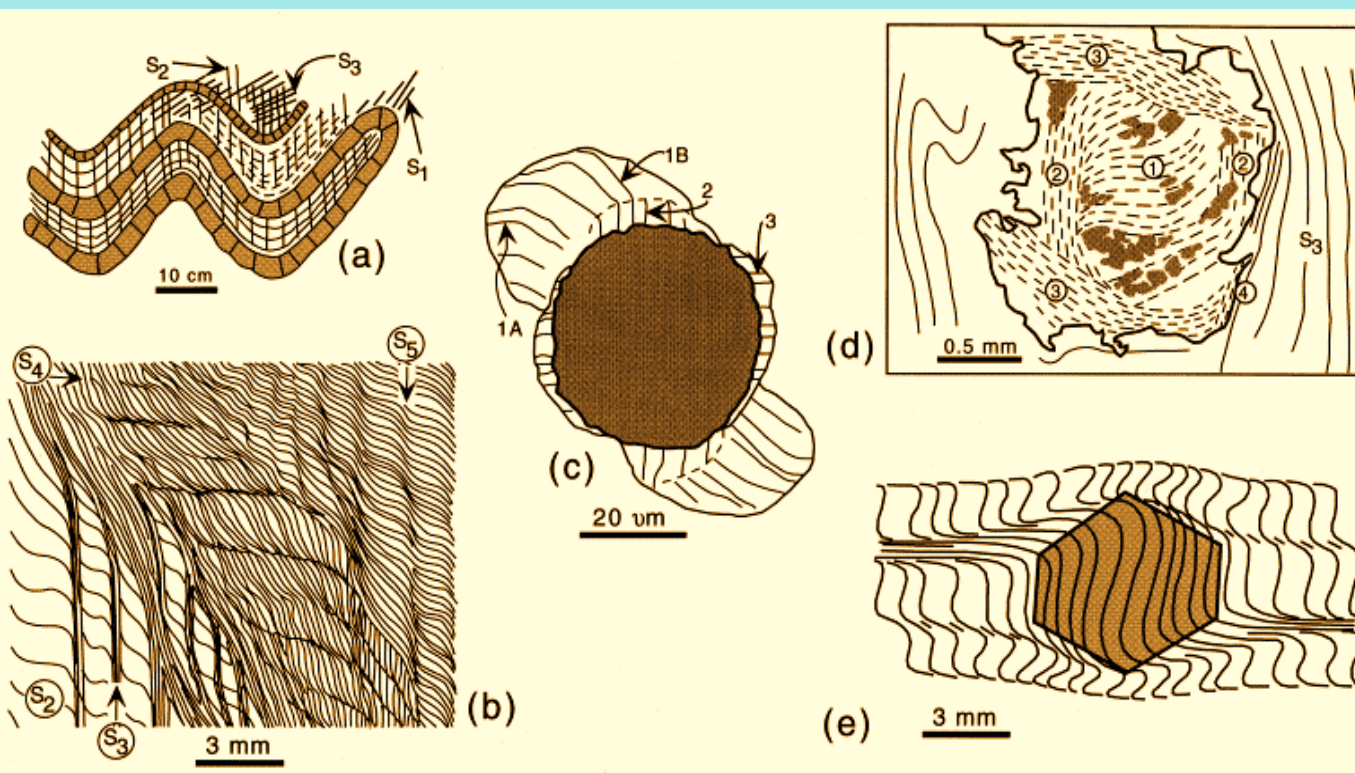
Volume loss of cleavage domains  
=  
Volume increase of microlithons

## No volume change



# Πρακτική χρήση των φυλλώσεων – Σχέσεις επικάλυψης (overprinting)

- Στα προηγούμενα περιγράψαμε τις πληροφορίες που μας δίνουν οι **φυλλώσεις** για τις **συνθήκες μεταμόρφωσης** (π.χ. ανάπτυξη προσανατολισμένων ορυκτών καθορίζει τις συνθήκες P/T δημιουργίας της φύλλωσης – προσοχή στη μιμητική ανάπτυξη), αλλά και την **παραμόρφωση** (π.χ. φυλλώσεις και ΧΥ-επίπεδο παραμόρφωσης).
- Τις φυλλώσεις όμως τις χρειαζόμαστε και για την αποκάλυψη των **σχέσεων επικάλυψης** μεταξύ τους (**overprinting relations**) με σκοπό τον προσδιορισμό της **τεκτονομεταμορφικής εξέλιξης**.
- Συνήθως υπάρχει μια **κύρια φύλλωση** που έχει σχηματισθεί στο **peak** της **μεταμόρφωσης**, ενώ **μεταγενέστερα γεγονότα** παραμορφώνουν αυτή τη φύλλωση προξενώντας **λιγότερο έντονες και λιγότερο διαμπερείς φυλλώσεις**, σε **χαμηλότερες μεταμορφικές συνθήκες** ή σε συνθήκες **χωρίς την παρουσία υγρής φάσης**.
- Κατά τη διάρκεια της **προοδευτικής μεταμόρφωσης** το **νερό** σε γενικές γραμμές **απελευθερώνεται** κατά τις

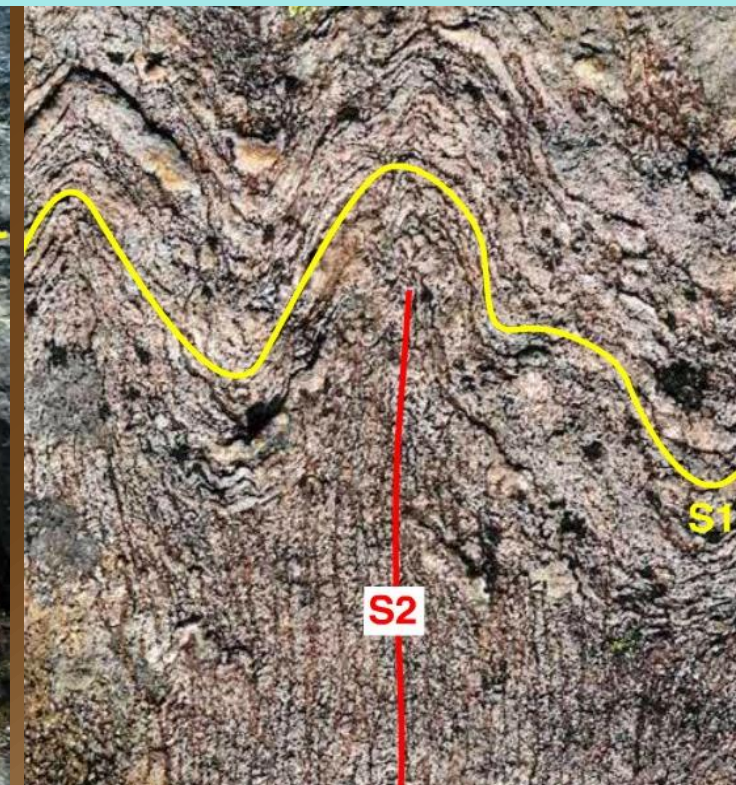
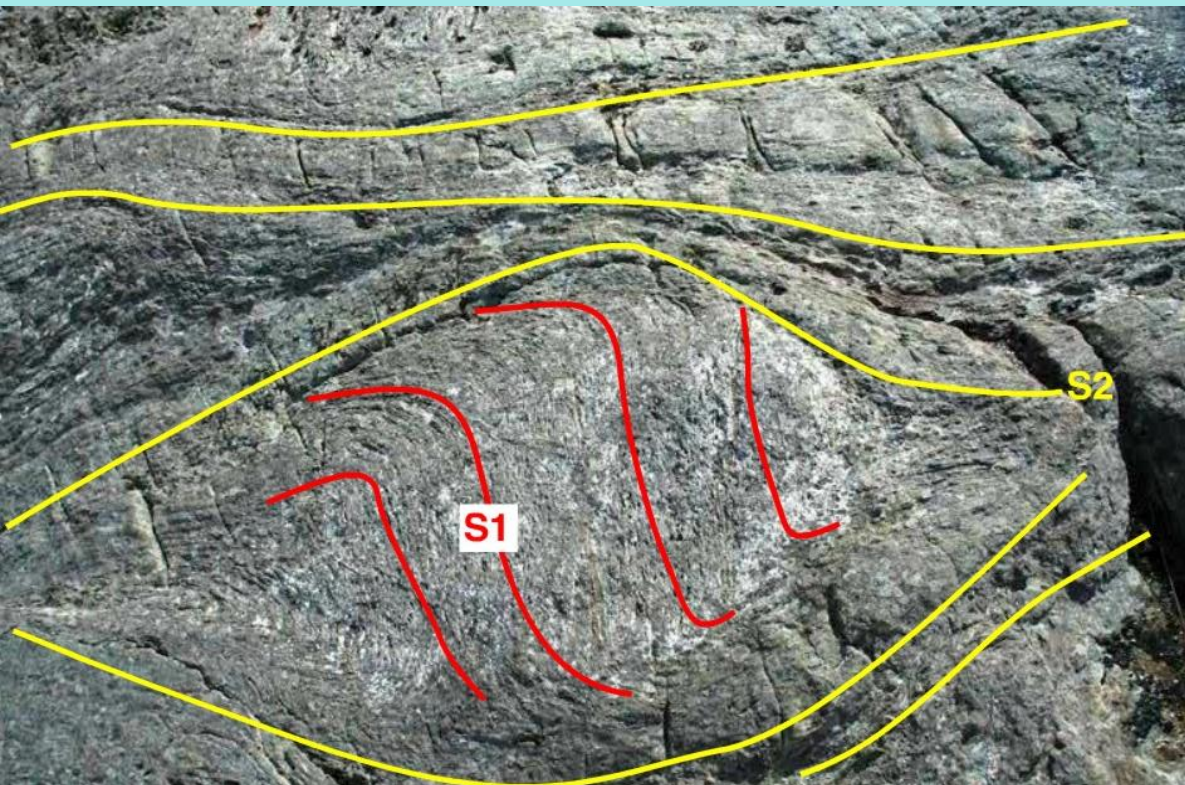


αντιδράσεις των ορυκτών ευνοώντας την **ολική ανακρυστάλλωση** κατά την παραμόρφωση.

- Μετά το **peak** της μεταμόρφωσης και σε **ανάδρομες συνθήκες**, όταν το πέτρωμα έχει **χάσει το περισσότερο νερό**, η **ανακρυστάλλωση** είναι **δύσκολη** και η παραμόρφωση χαρακτηρίζεται κυρίως **πτύχωση, παραμόρφωση και μυλονιτιοποίηση παλαιότερων δομών**.

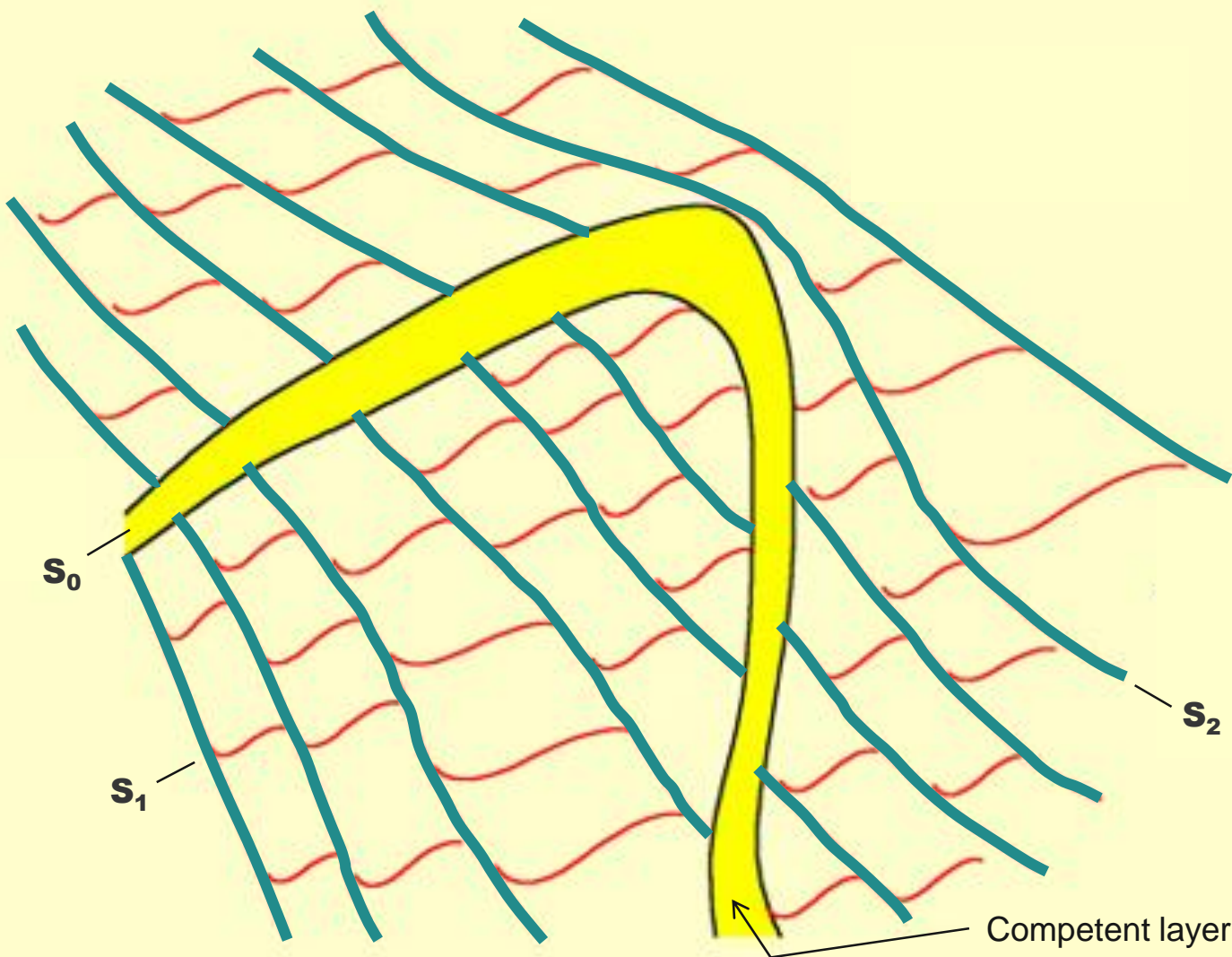
## ΟΙ ΒΑΣΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ (1):

- Οι φυλλώσεις αναπτύσσονται σε διαφορετικές χρονικές περιόδους και άρα σε διαφορετικά εντατικά πεδία και φυσικές συνθήκες (δηλ. P/T).
- Μια νεότερη φύλλωση μπορεί να επικαλύπτει (overprint) μια παλαιότερη (ή παλαιότερες), ή μπορεί να προέρχεται από περιστροφή (rotation) ή αντιμετάθεση (transposition) παλαιότερων φυλλώσεων.
- Σε ένα πολυπαραμορφωμένο πέτρωμα την πρώτη φύλλωση την αποκαλούμε  $S_1$  και τις επόμενες  $S_2$ ,  $S_3$  κλπ.



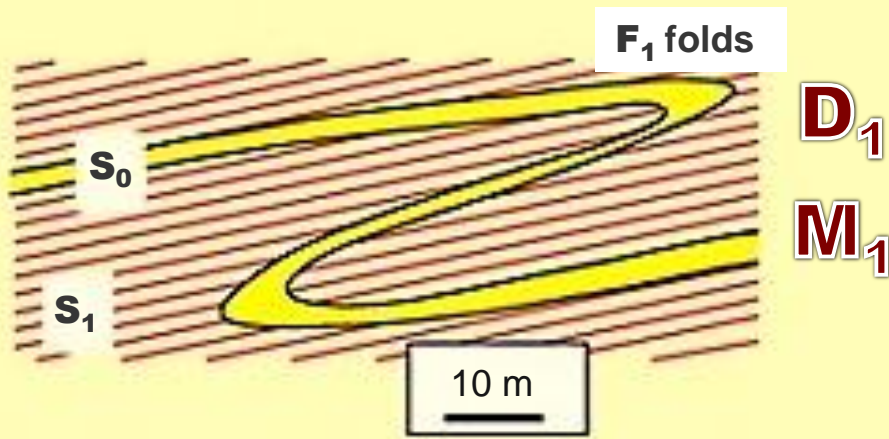
## ΟΙ ΒΑΣΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ (2):

- Μια πτυχωμένη επιφάνεια είναι πάντα παλαιότερη από τα στοιχεία του τεκτονικού ιστού που αναπτύσσονται παράλληλα με τα αξονικά επίπεδα ή κόβουν τις πτυχές.
- Κάθε επιφάνεια που σχετίζεται με τα αξονικά επίπεδα των πτυχών σχετίζεται γενετικά με τις πτυχές αυτές.
- Φυλλώσεις που τέμνουν τις πτυχές εγκάρσια ή πλάγια είναι νεότερες από τις πτυχές.

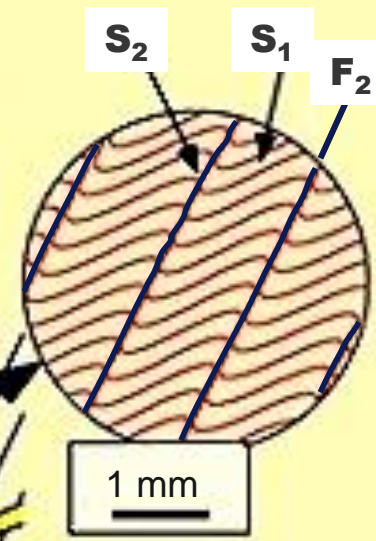
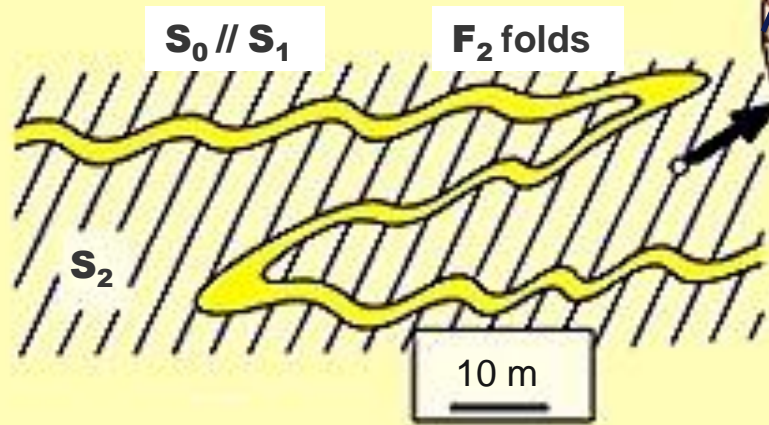


Η  $D_1$  πτυχή πτυχώνει την στρώση  $S_0$  και αναπτύσσει κατά αξονικό επίπεδο την  $S_1$  φύλλωση.

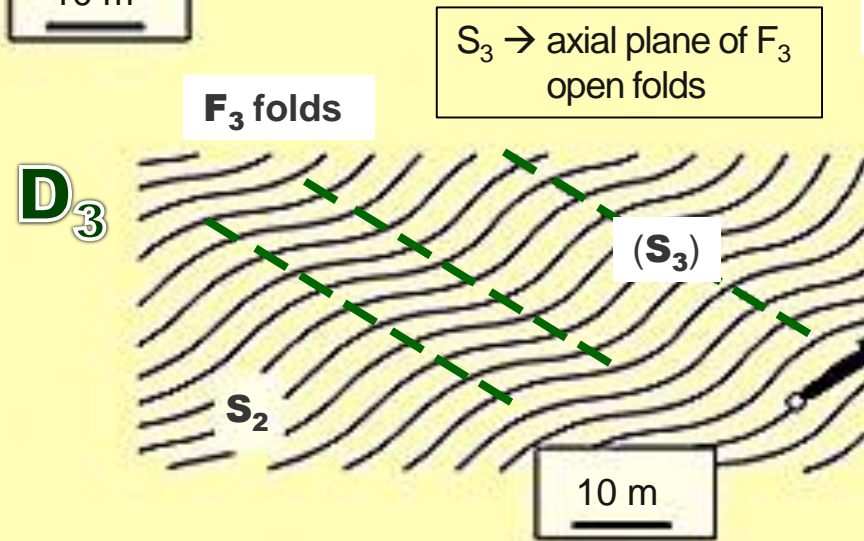
Μια μεταγενέστερη  $D_2$  παραμόρφωση μικροπτυχώνει την  $S_1$  και δημιουργεί την  $S_2$  (crenulation cleavage), που αναπτύσσεται στα πηλιτικά στρώματα, κόβοντας την  $D_1$  πτυχή (και αποκλίνοντας γύρω από το πιο ανθεκτικό και αντιστεκόμενο κορυφαίο).



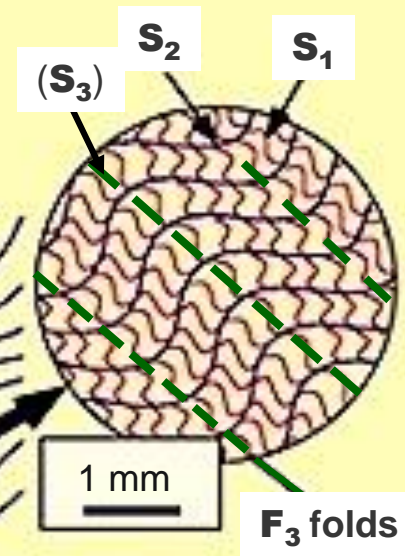
$S_1 \rightarrow$  slaty cleavage or continuous schistosity, (perhaps crenulated in SEM),  
 $F_1 \rightarrow$  isoclinal, asymmetric –  $S_0 // S_1$  (long limbs).



$S_2 \rightarrow$  crenulation cleavage, folding  $S_1$ .  
 Morphology:  $\rightarrow$  a) deformation intensity, b) grain growth (P/T conditions).

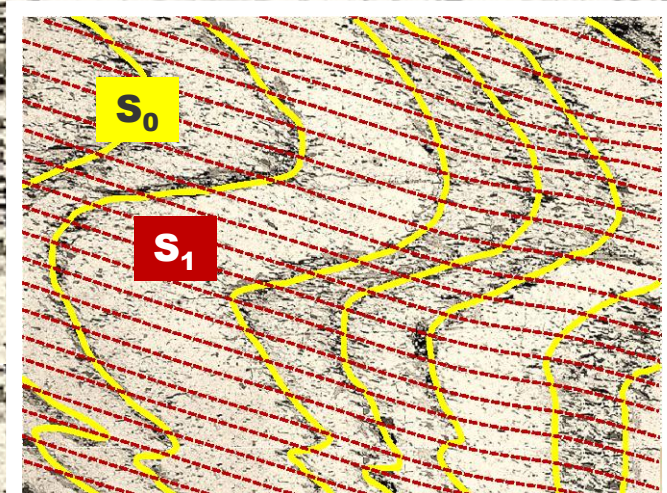
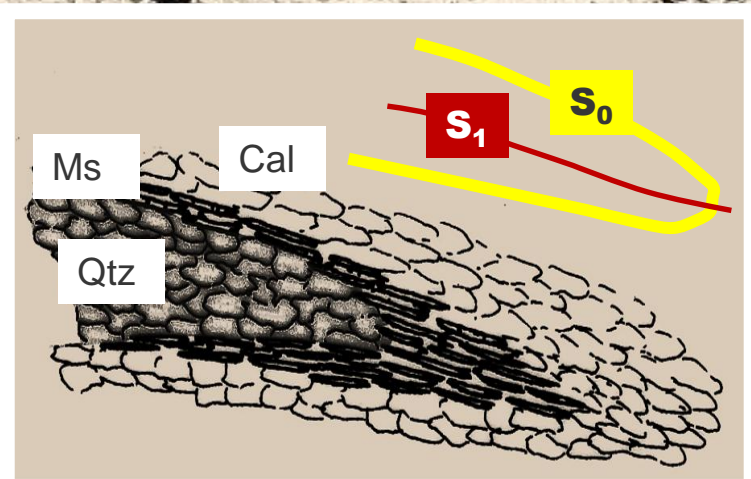


$S_3 \rightarrow$  axial plane of  $F_3$  open folds

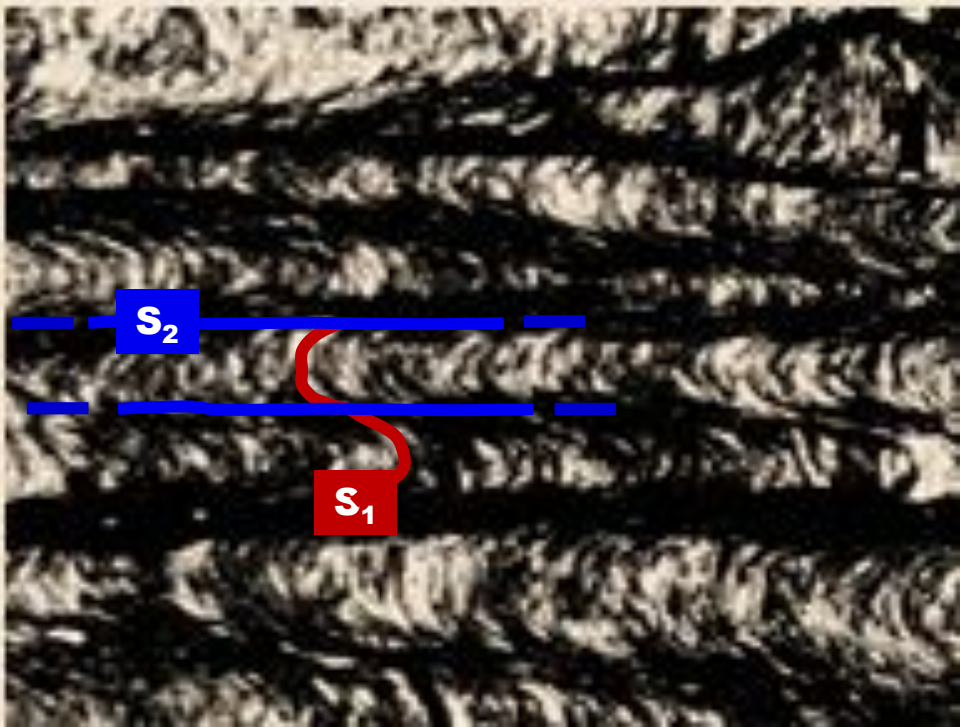
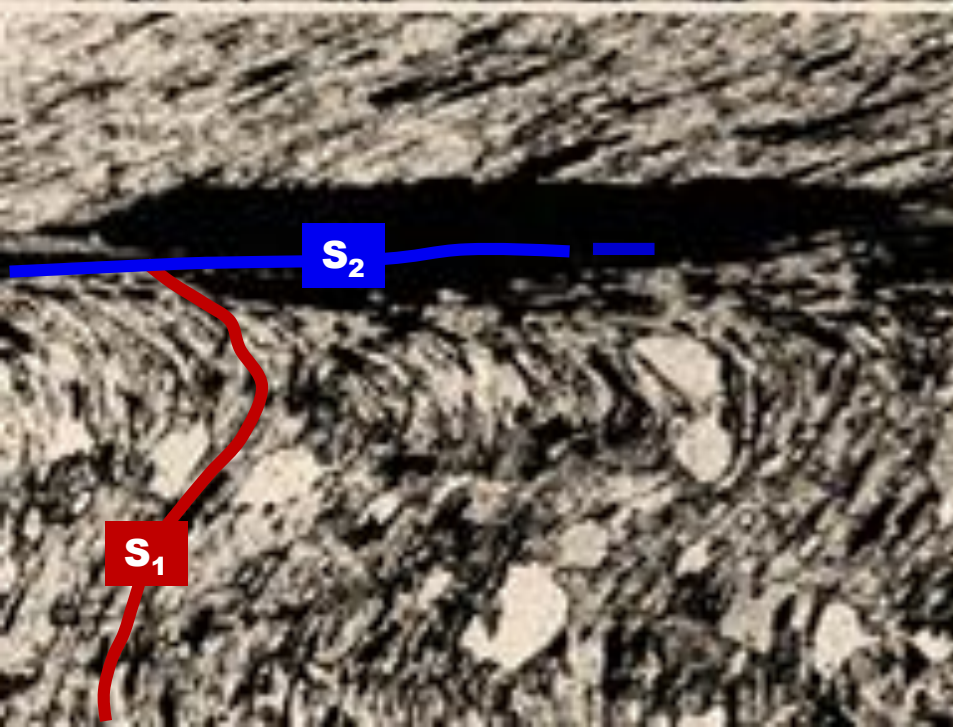
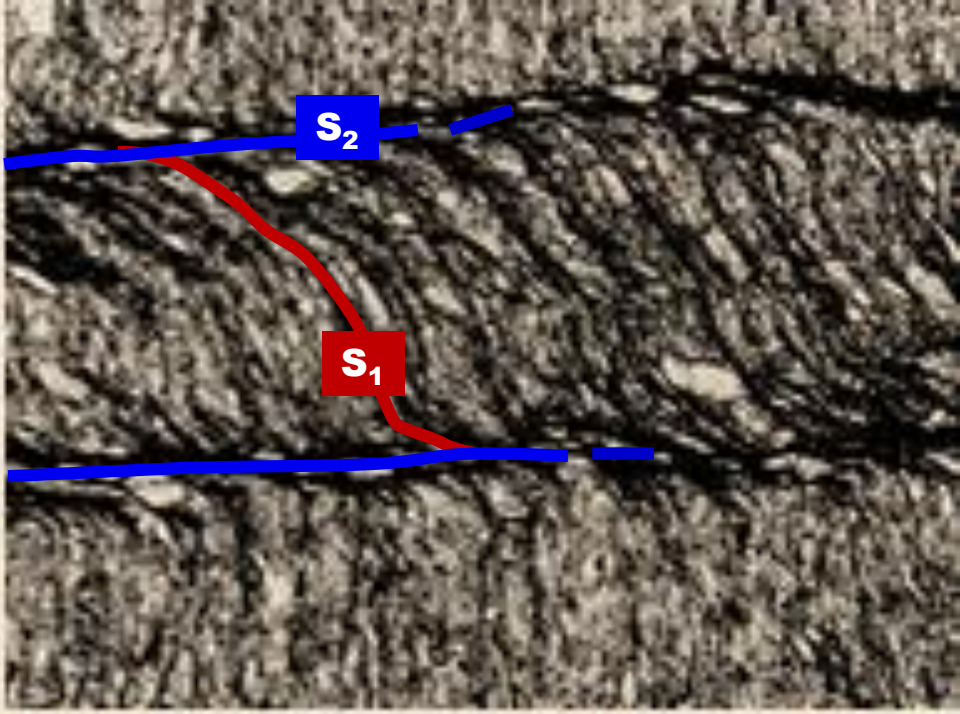


**GENERAL OUTLINE OF A COMMON SEQUENCE OF EVENTS IN SLATE AND SCHIST BELTS**

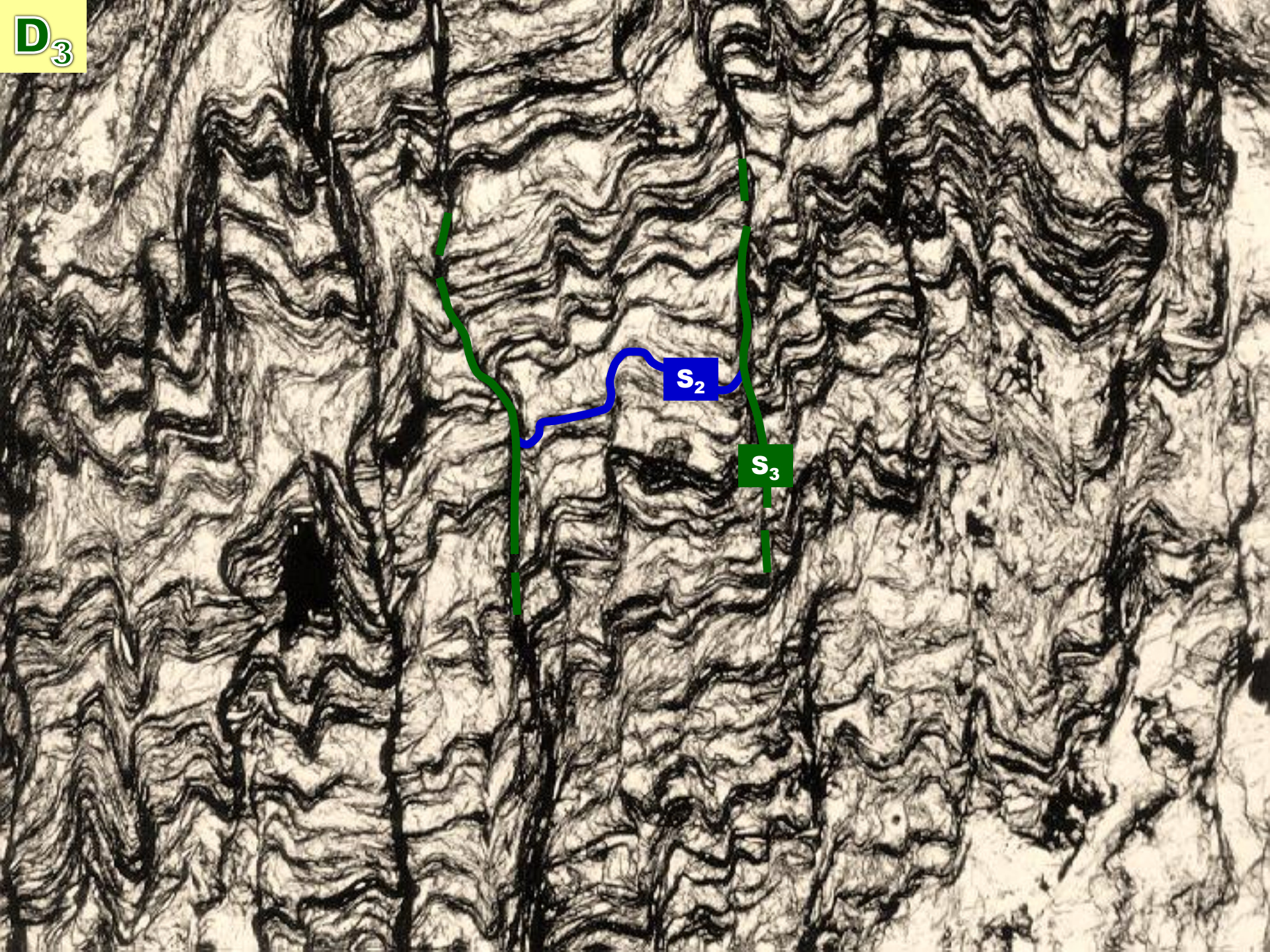




**D<sub>2</sub>**

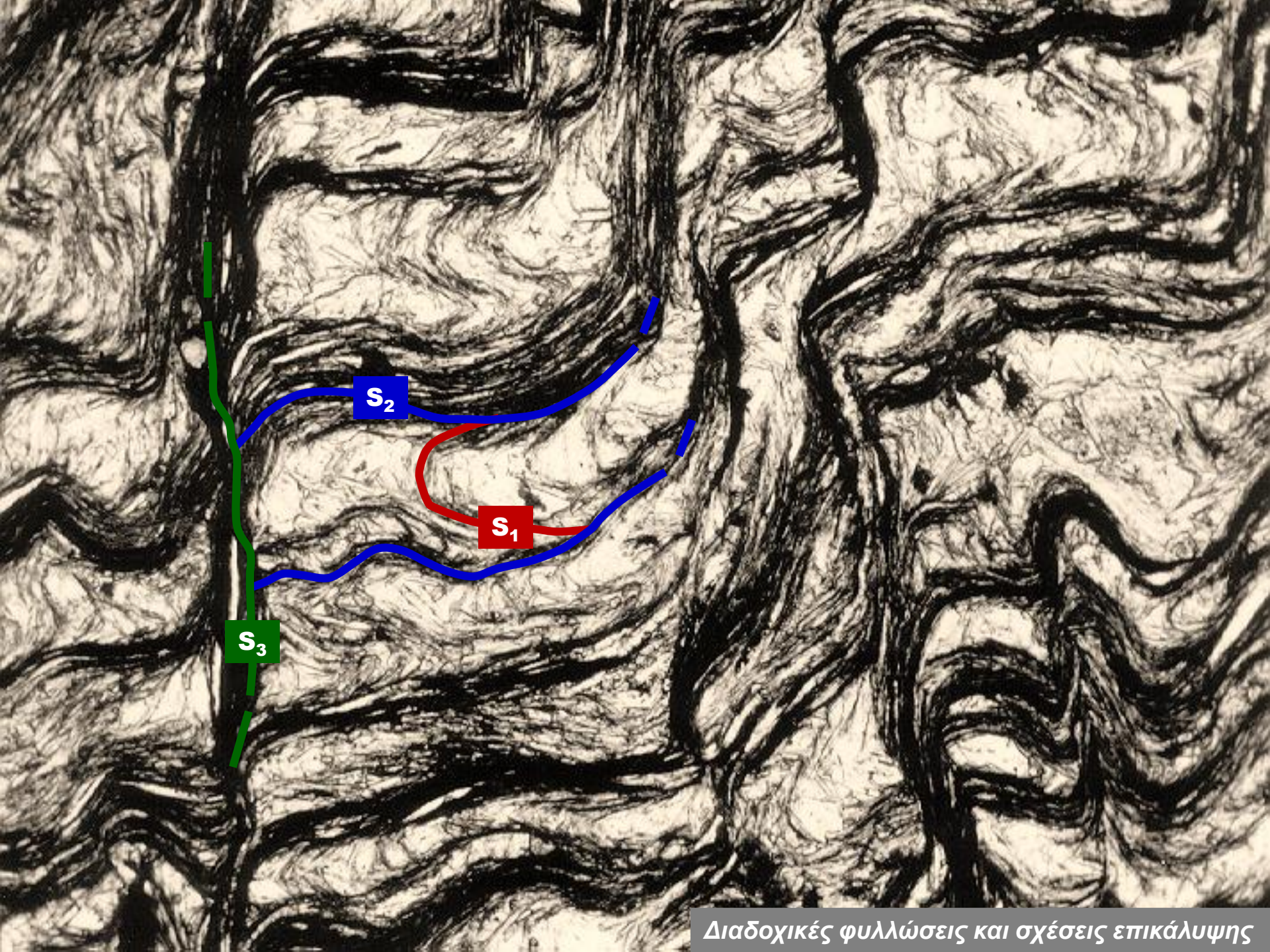


**D**<sub>3</sub>

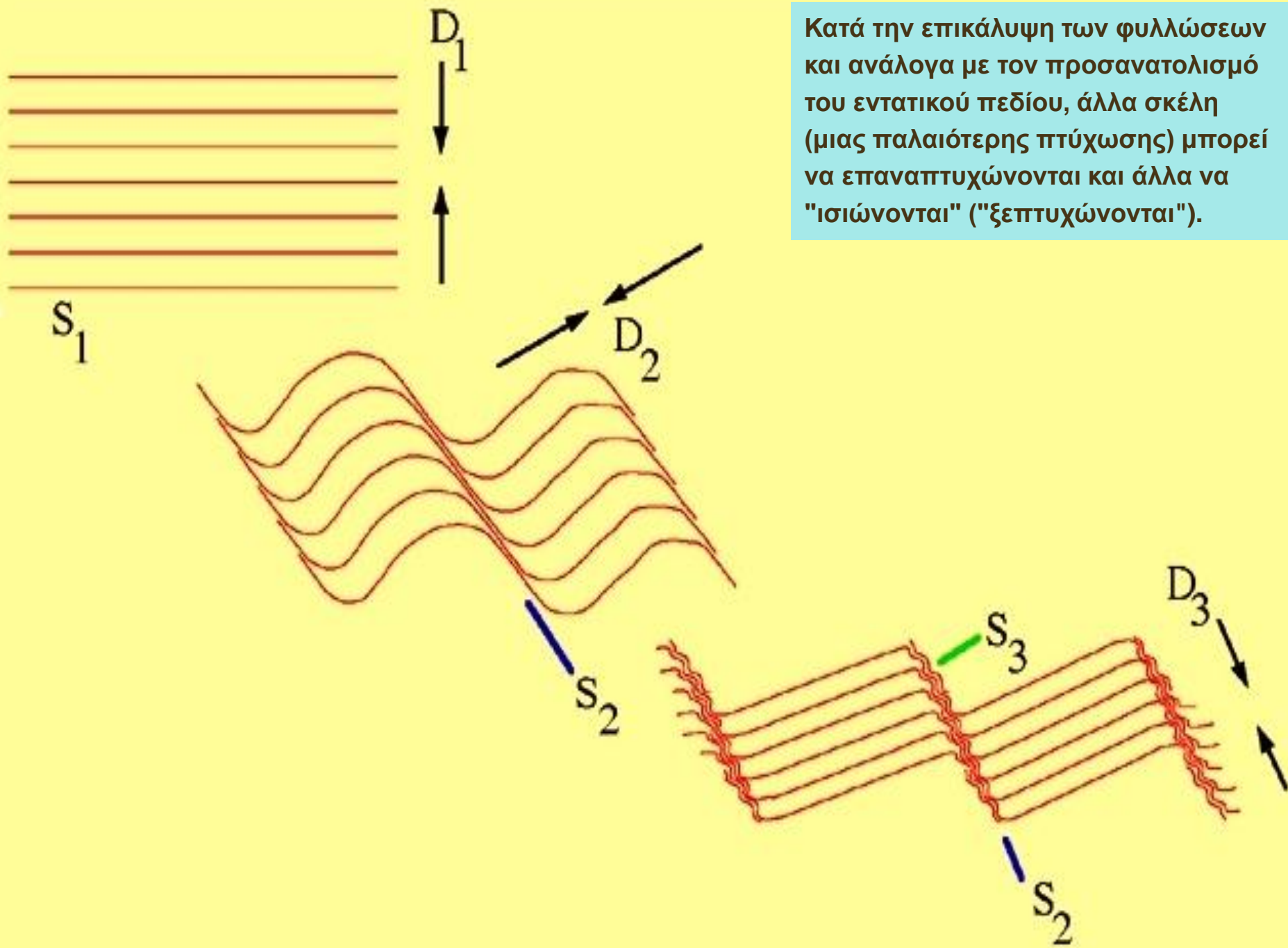


**S**<sub>2</sub>

**S**<sub>3</sub>

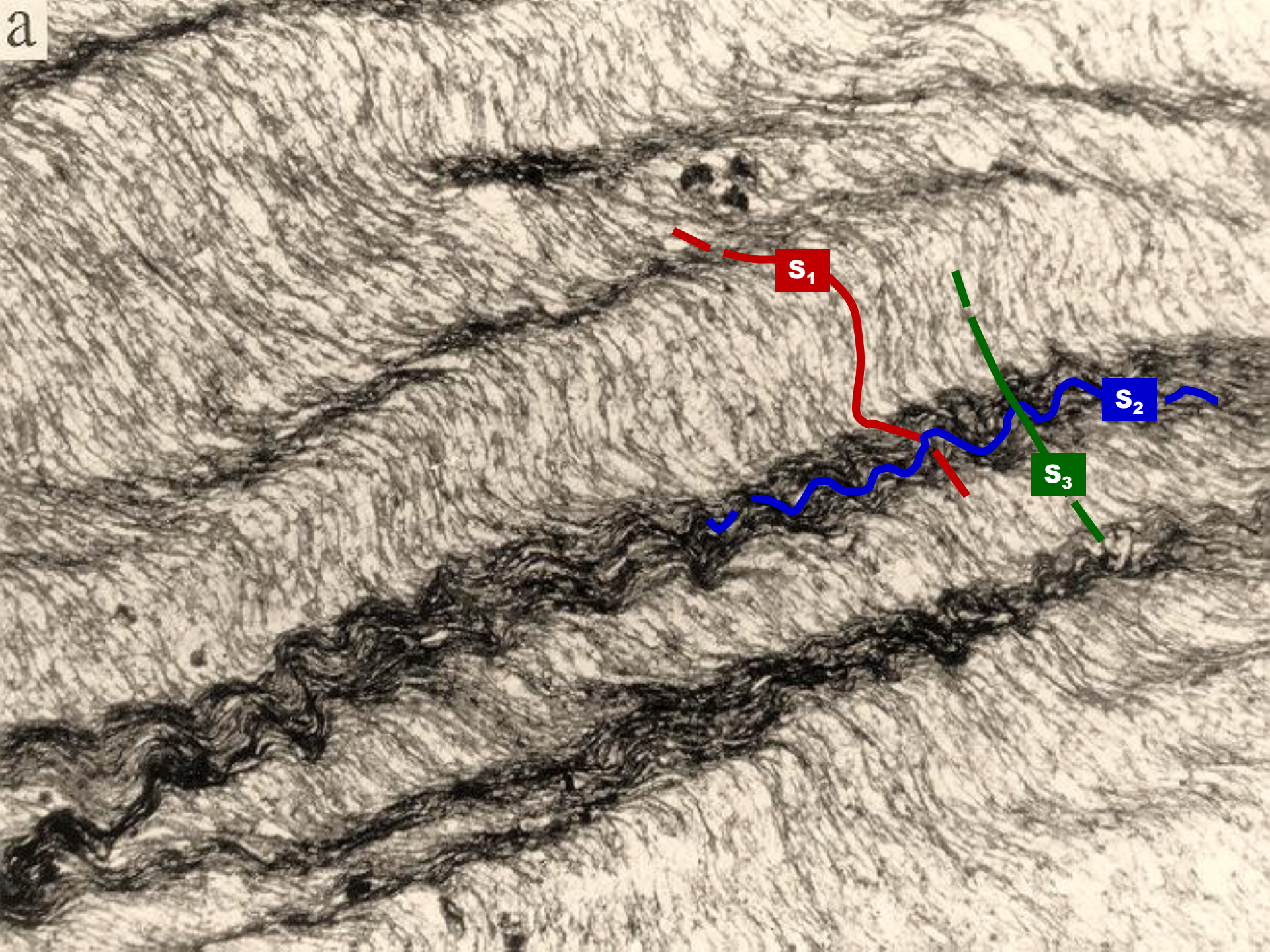


Διαδοχικές φυλλώσεις και σχέσεις επικάλυψης

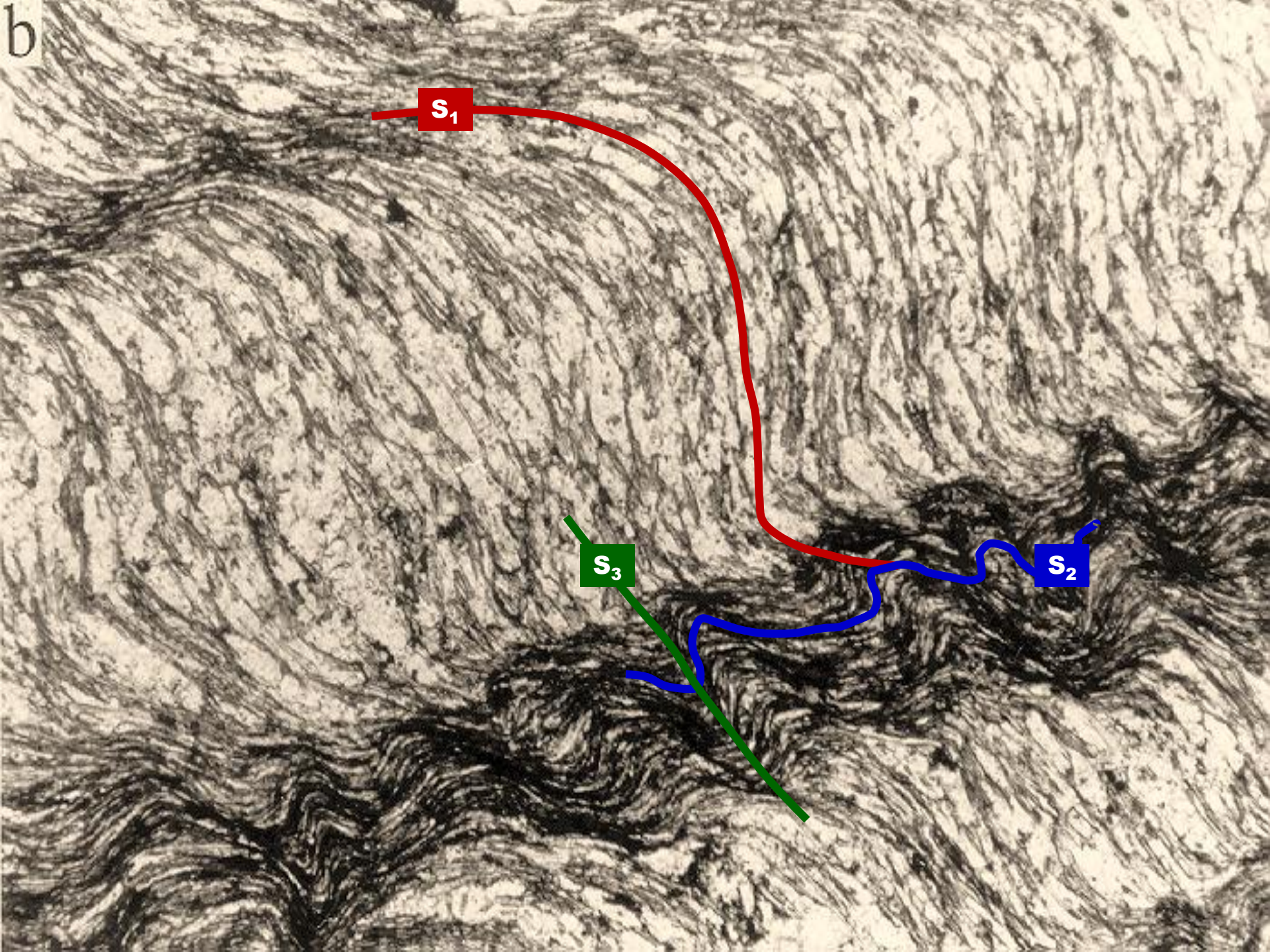


Κατά την επικάλυψη των φυλλώσεων και ανάλογα με τον προσανατολισμό του εντατικού πεδίου, άλλα σκέλη (μιας παλαιότερης πτύχωσης) μπορεί να επαναπτυχώνονται και άλλα να "ισιώνονται" ("ξεπτυχώνονται").

a



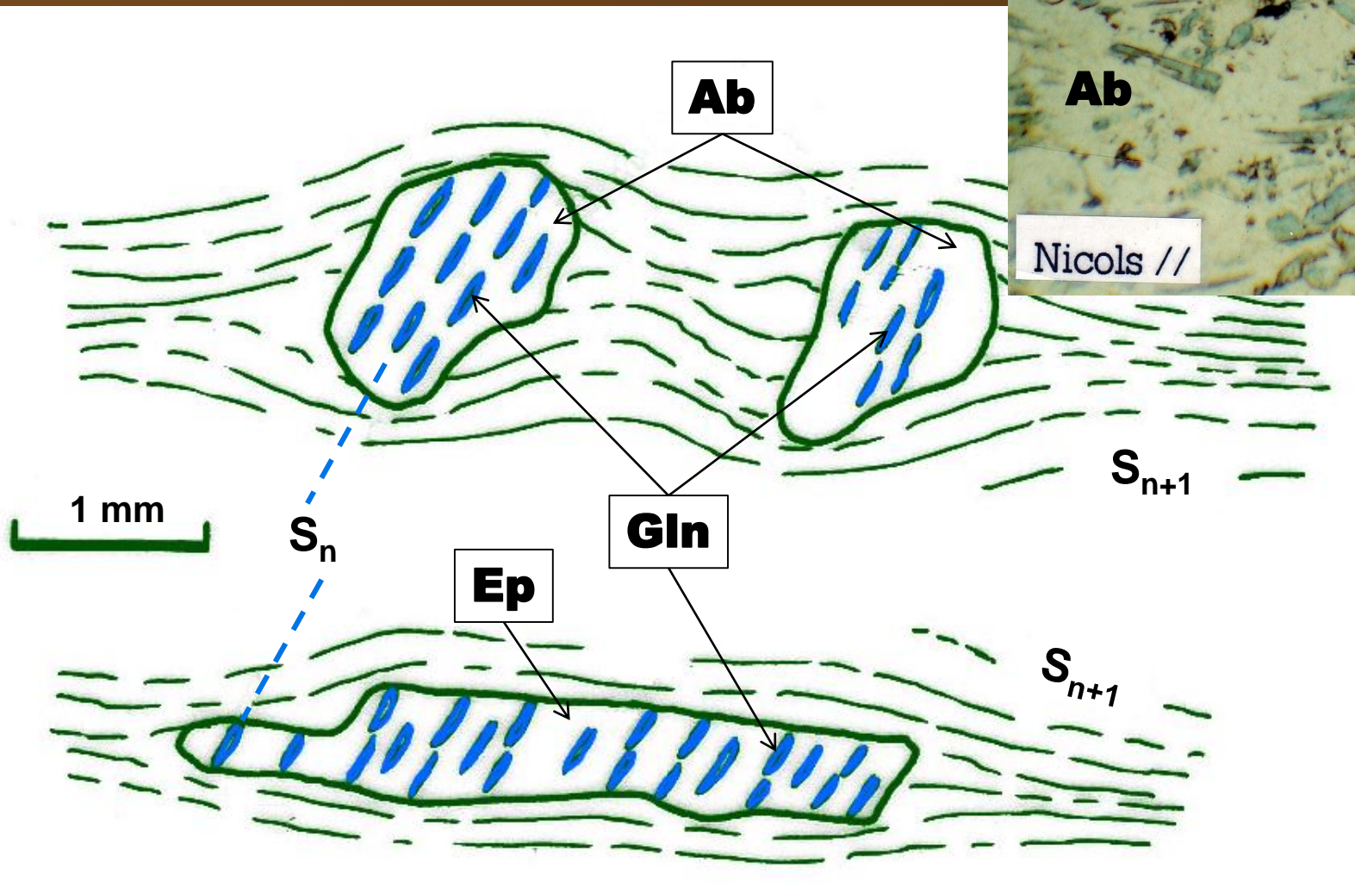
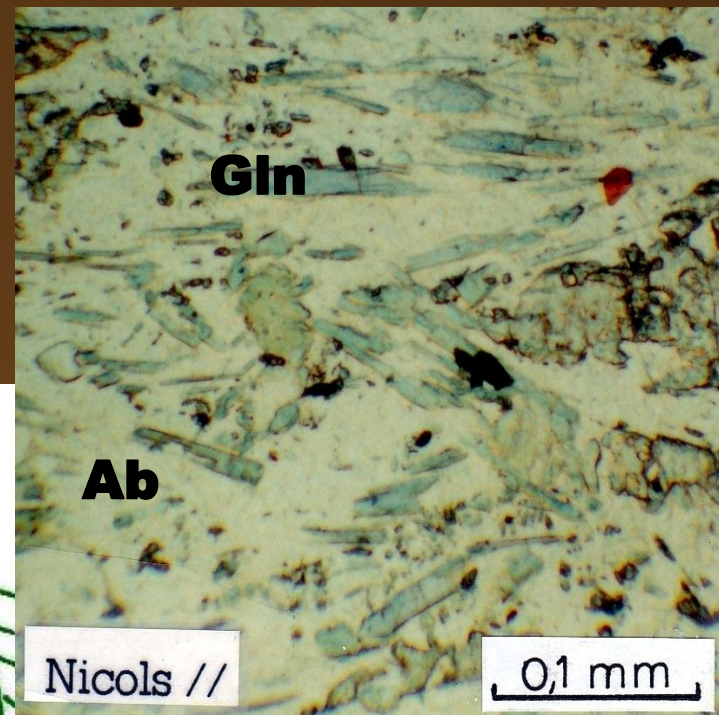
b



ΙΣΤΟΡΙΕΣ ΣΧΕΣΕΩΝ .....

(επικάλυψης εννοείται): Μέρος Α΄

- Μια "παλιά ιστορία" από τη ΒΑ Αττική (σχετικά αυτόχθονη ενότητα "Αττικής").

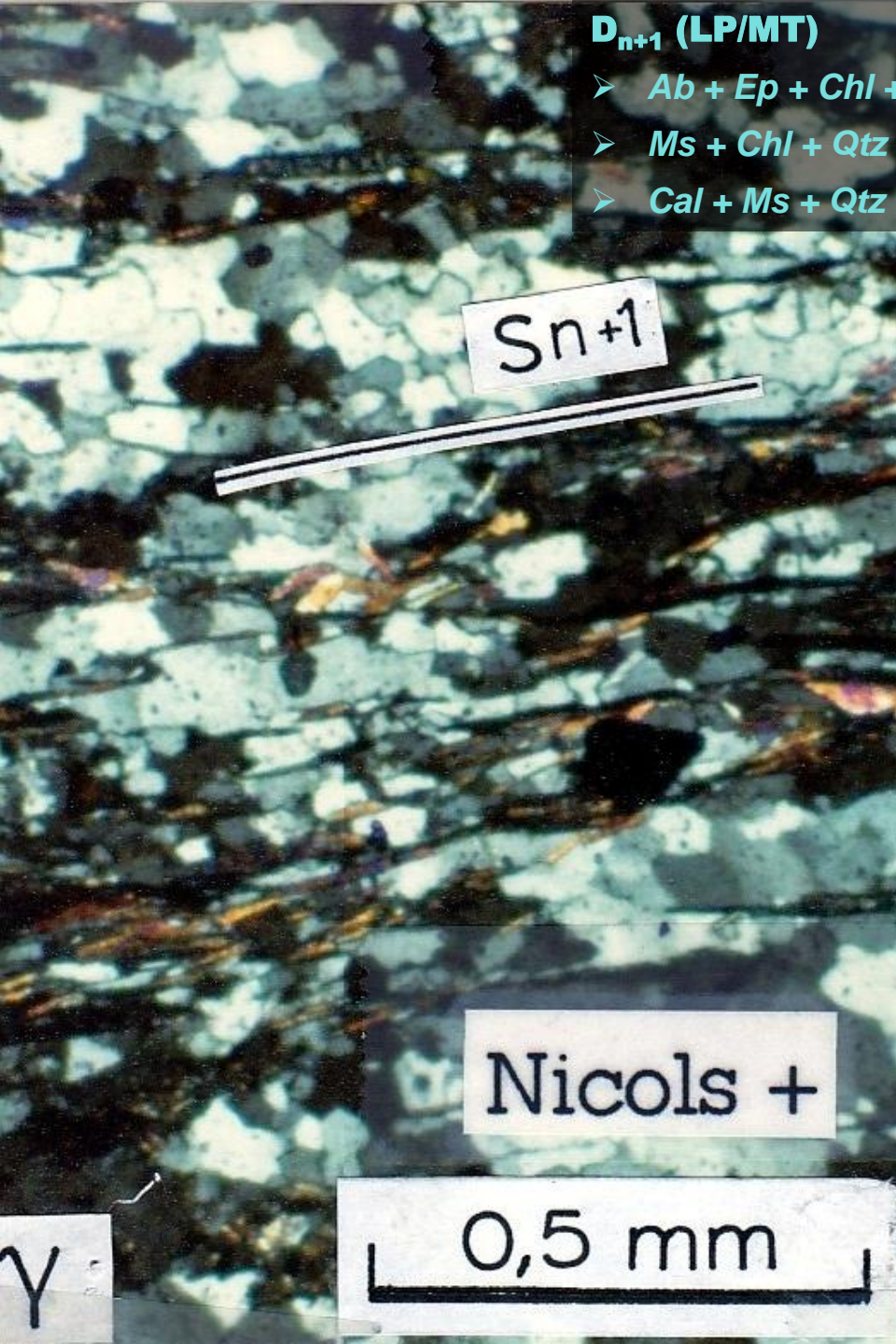


**D<sub>n</sub> (HP/LT)**



**D<sub>n+1</sub> (LP/MT)**

- *Ab + Ep + Chl + Act + Spn + Bt + Qtz*
- *Ms + Chl + Qtz + Bt + Ab + Grt + Gr*
- *Cal + Ms + Qtz + Chl + Bt + Ab + Ep*

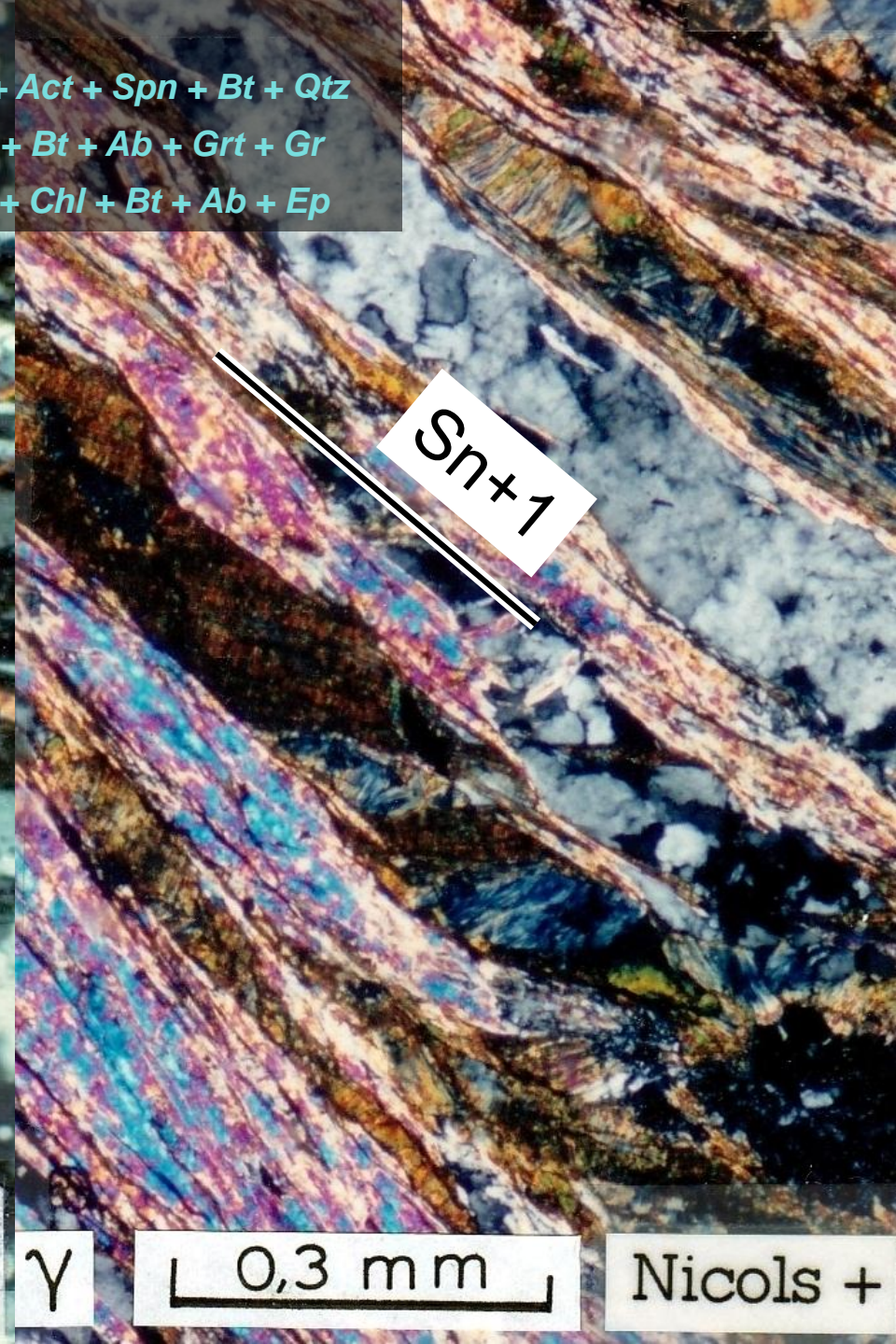


Sn+1

Nicols +

0,5 mm

γ



Sn+1

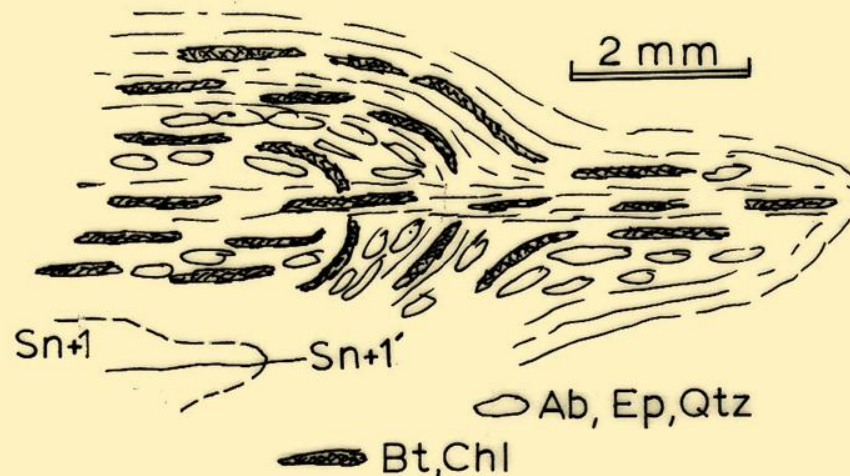
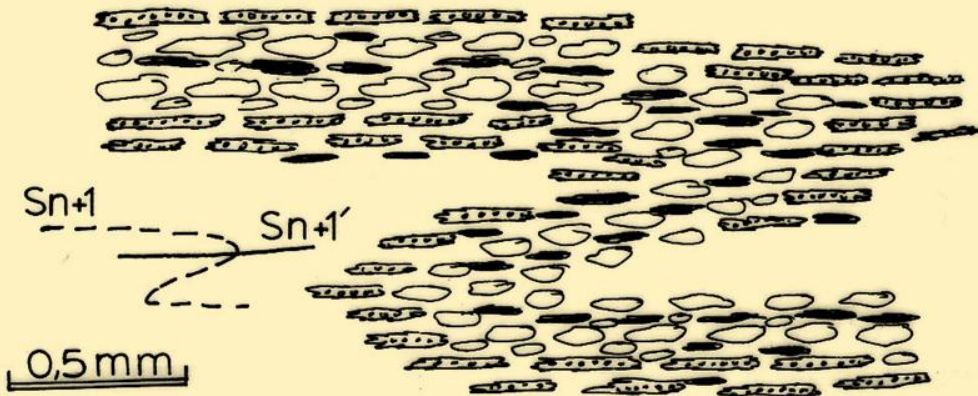
Nicols +

0,3 mm

γ

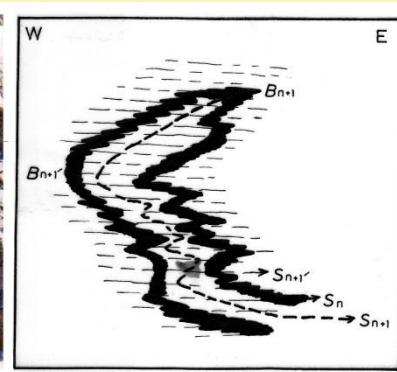
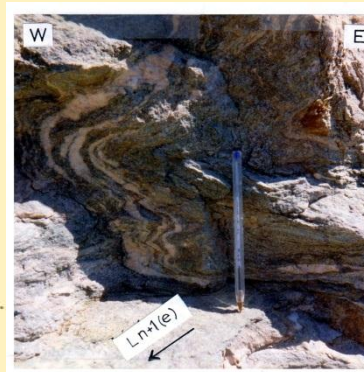
Ομοαξονικές επαναπτυχώσεις κατά τη διάρκεια της  $D_{n+1}$ .  
(Γεωμετρία και συνθήκες μεταμόρφωσης σταθερά).

○ Ab, Qtz   ▭ Ms, Bt   ▨ Chl



▨ Ep   ▭ Ms   ▭ Chl  
○ Qtz, Ab

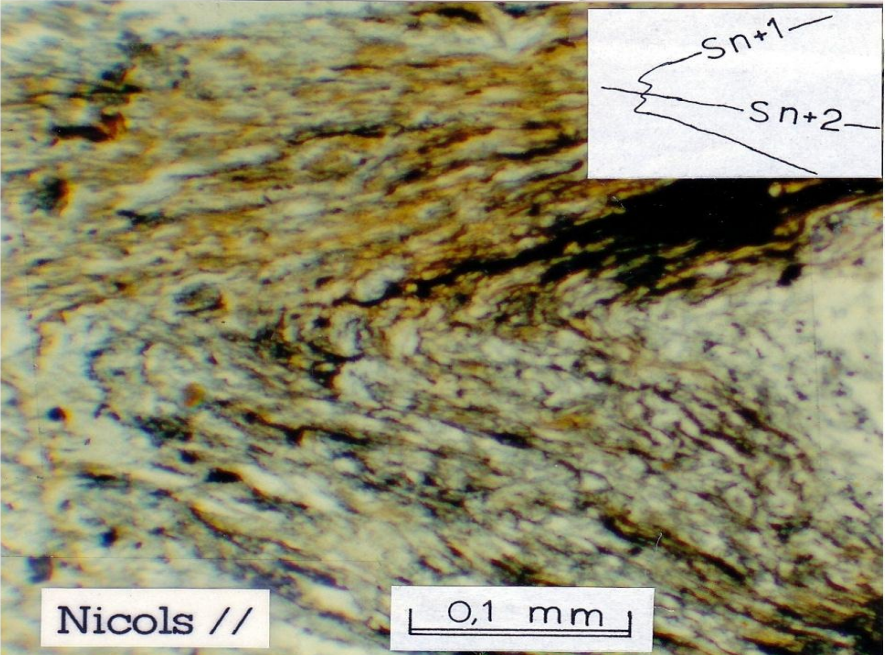
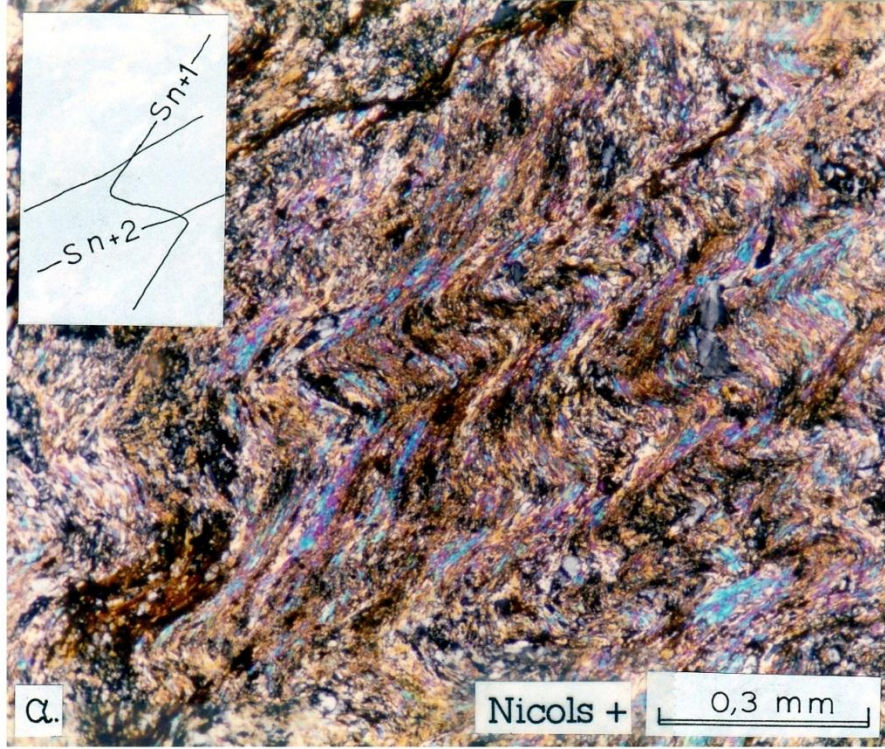
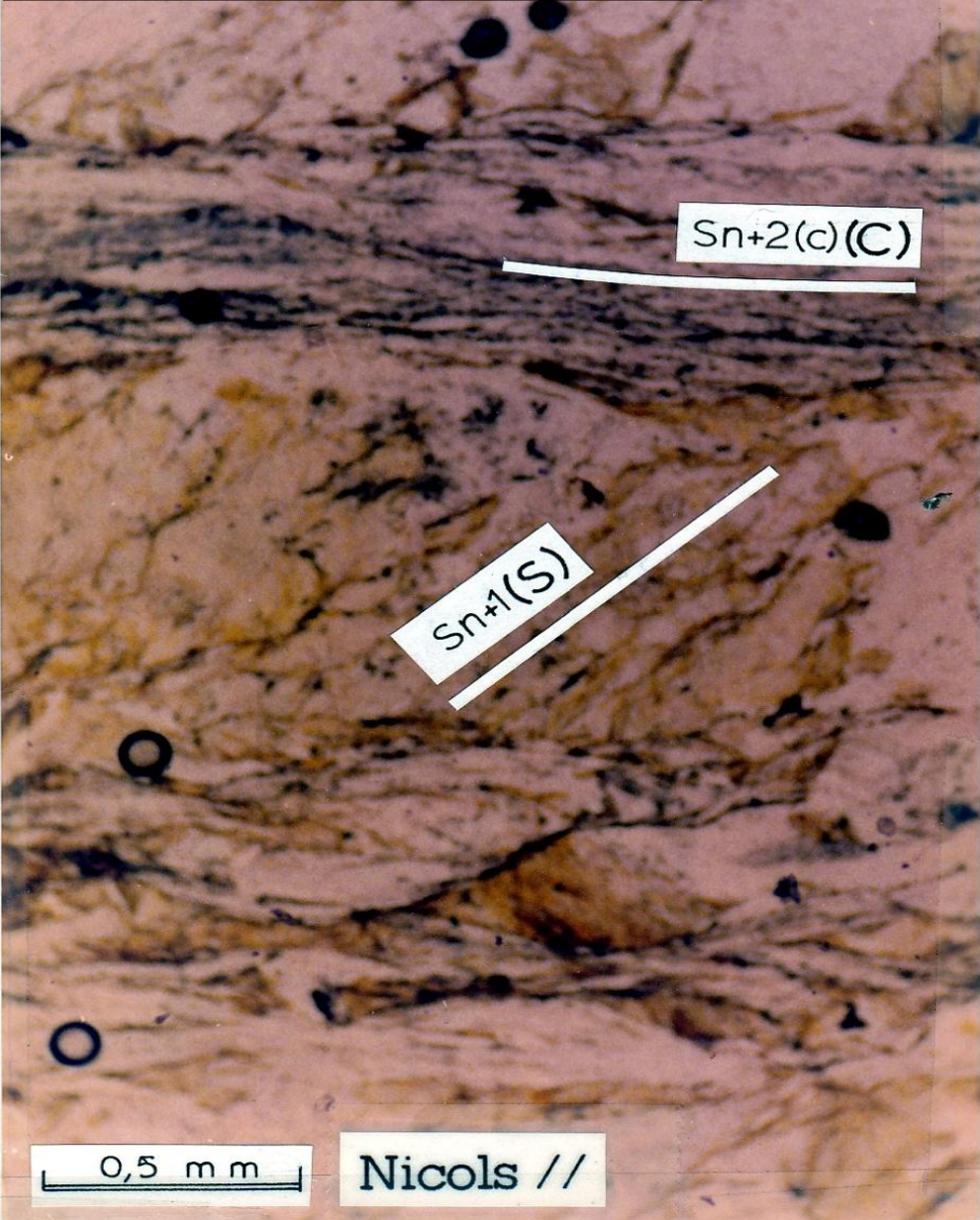
Sn+1'   Sn+1

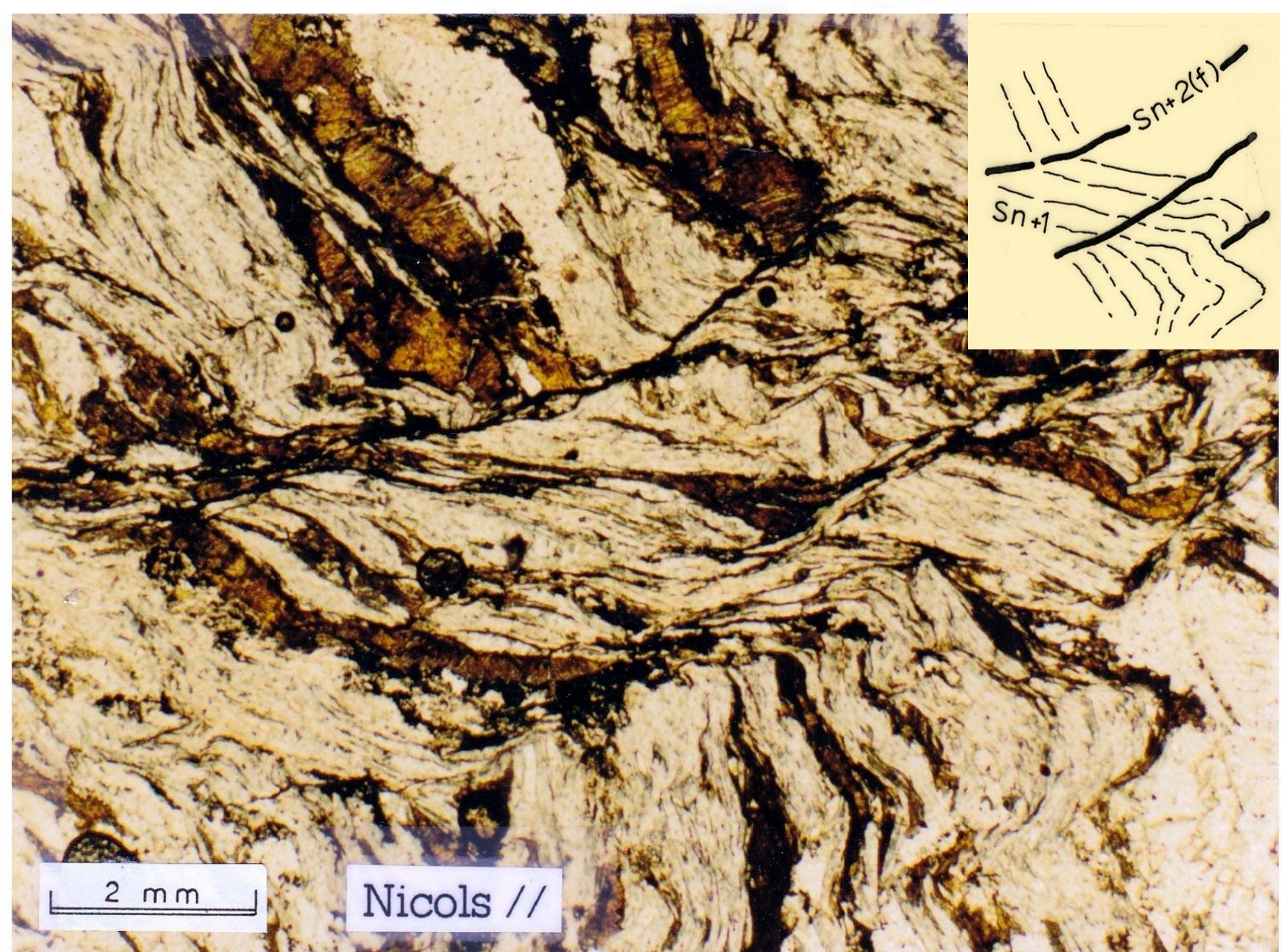


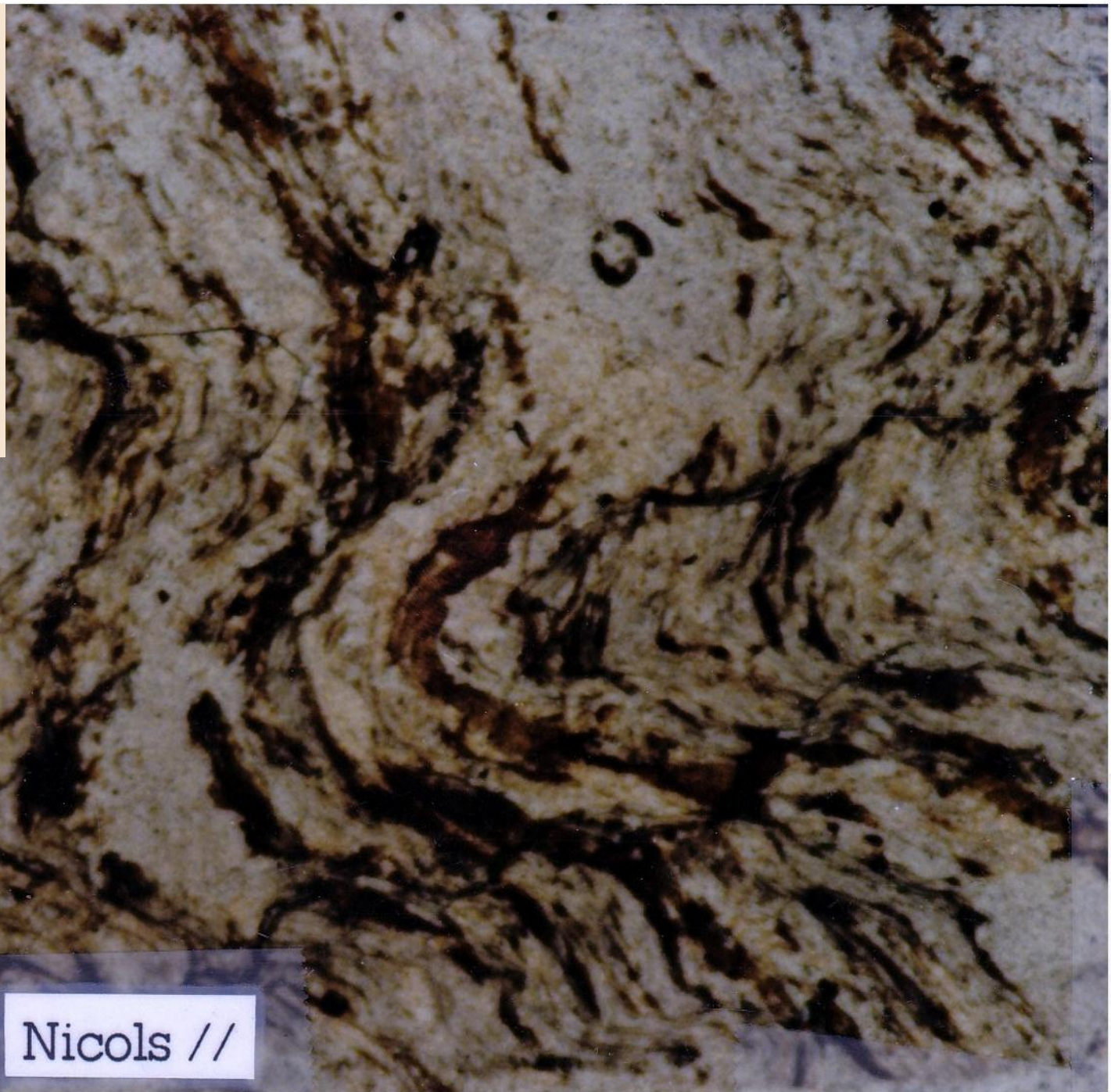
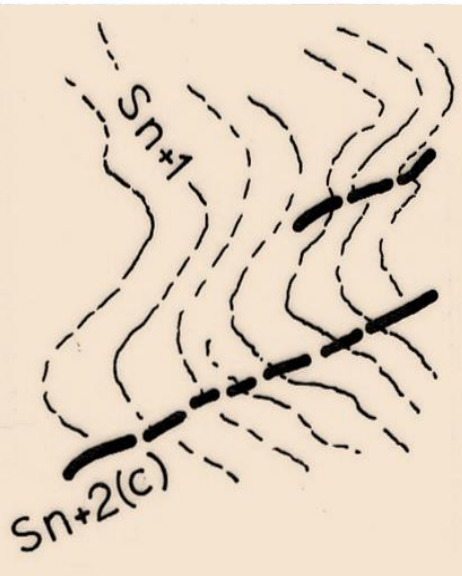
# $D_{n+2}$ (Lower Greenschist)

- Ανακρυστάλλωση  $Chl + Ms + Qtz$
- Χωρίς μεταμόρφωση

$\beta$ .







2 m m

Nicols //

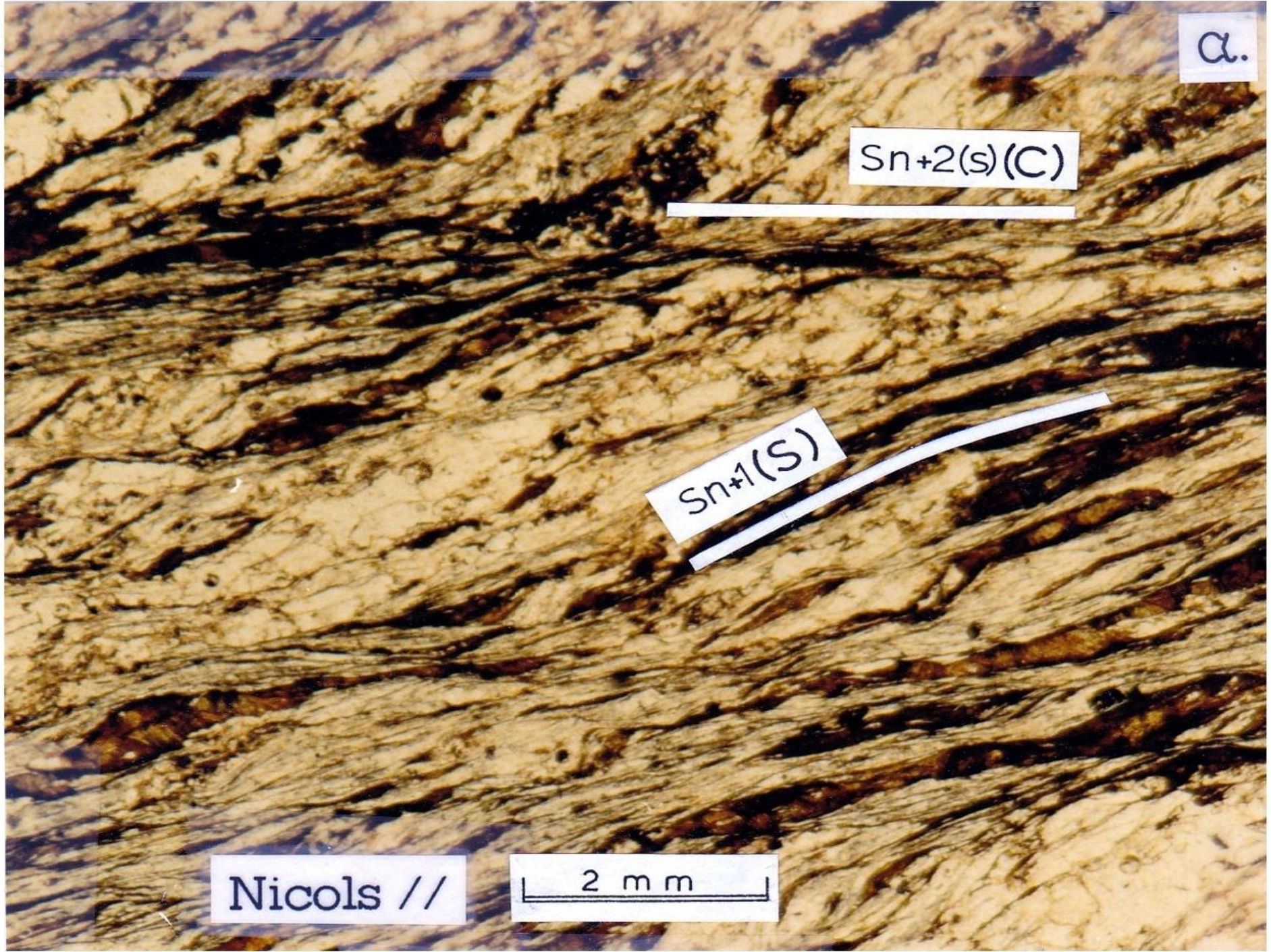
$\alpha.$

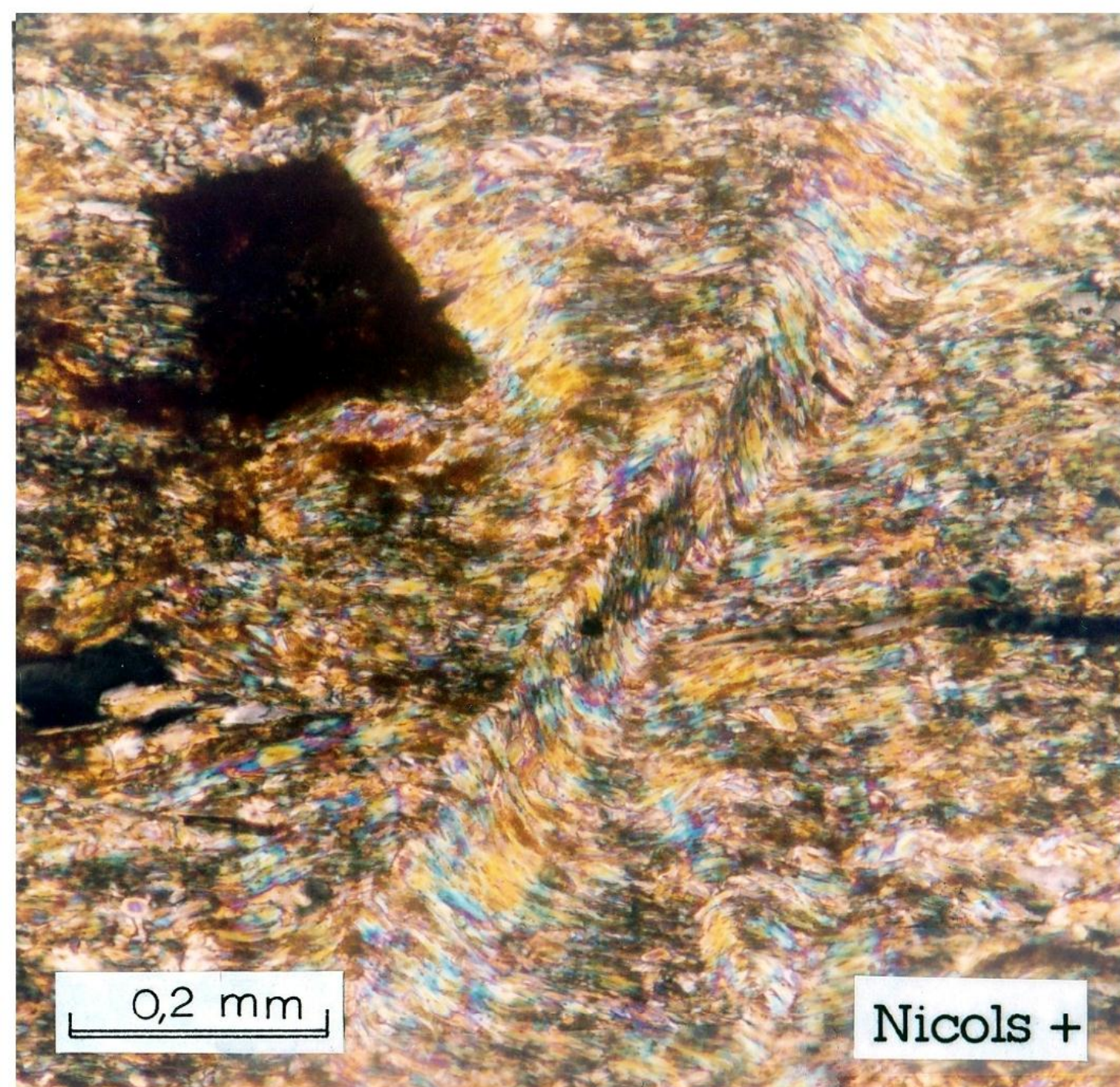
$Sn+2(s)(C)$

$Sn+1(S)$

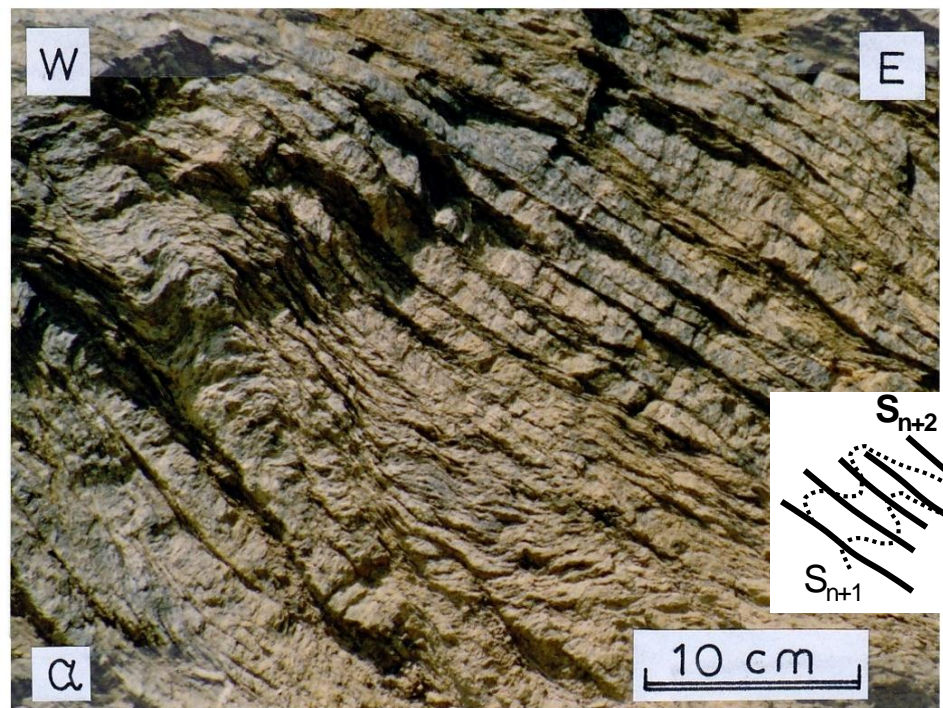
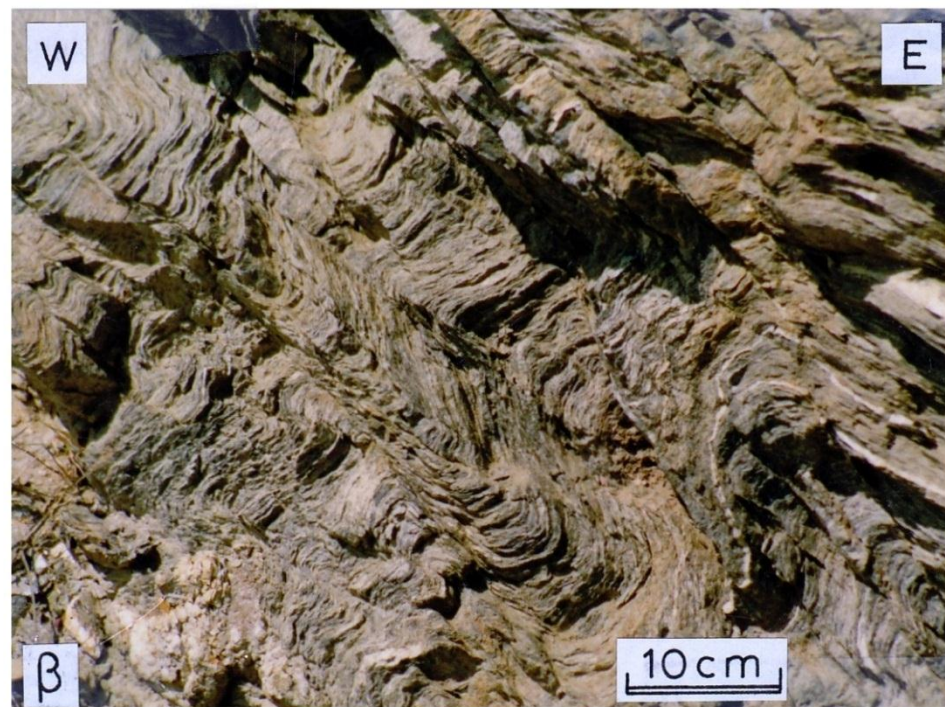
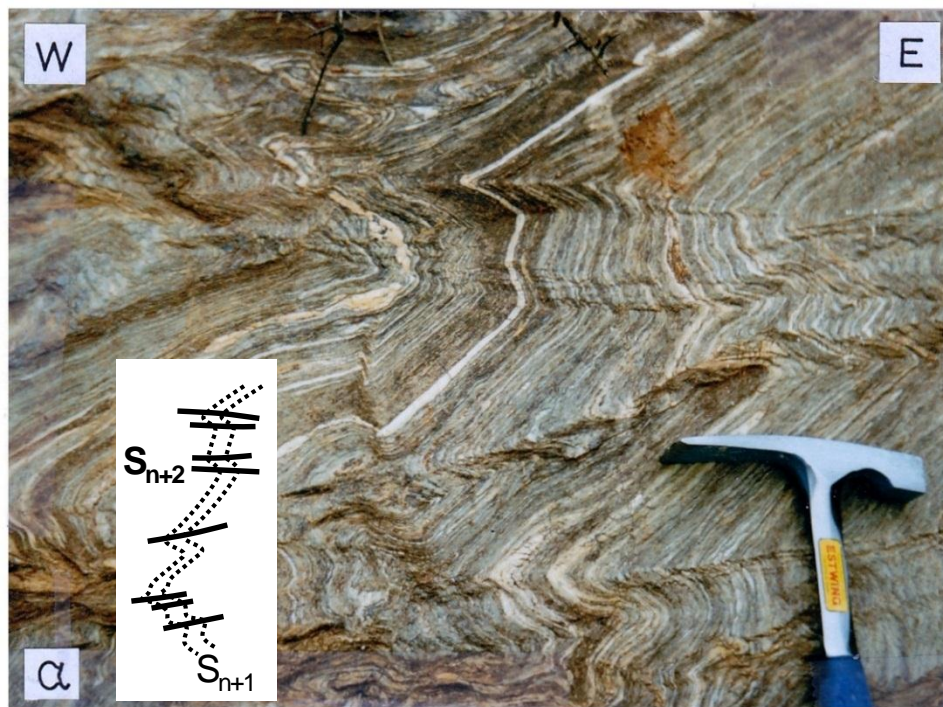
Nicols //

2 mm

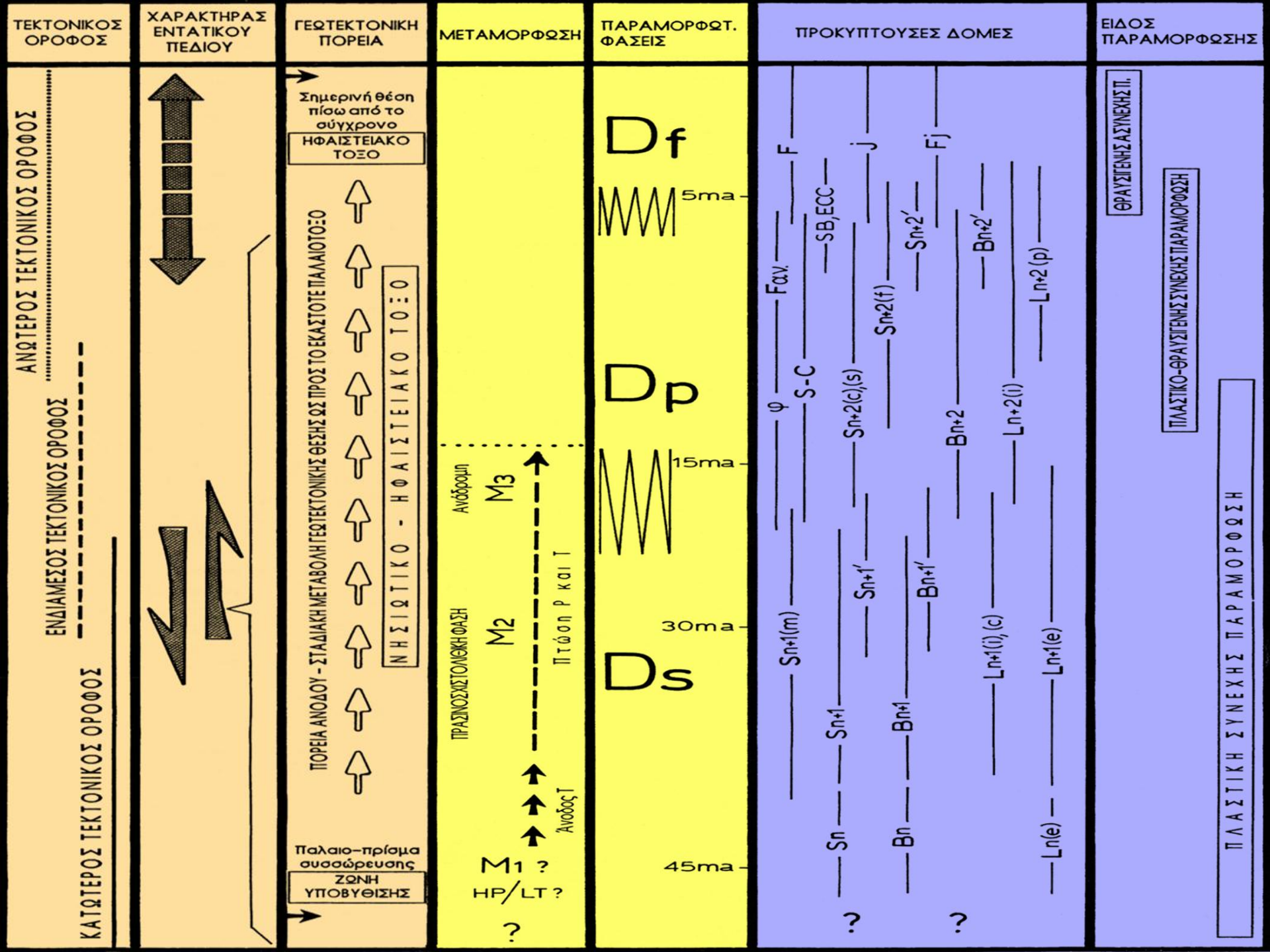


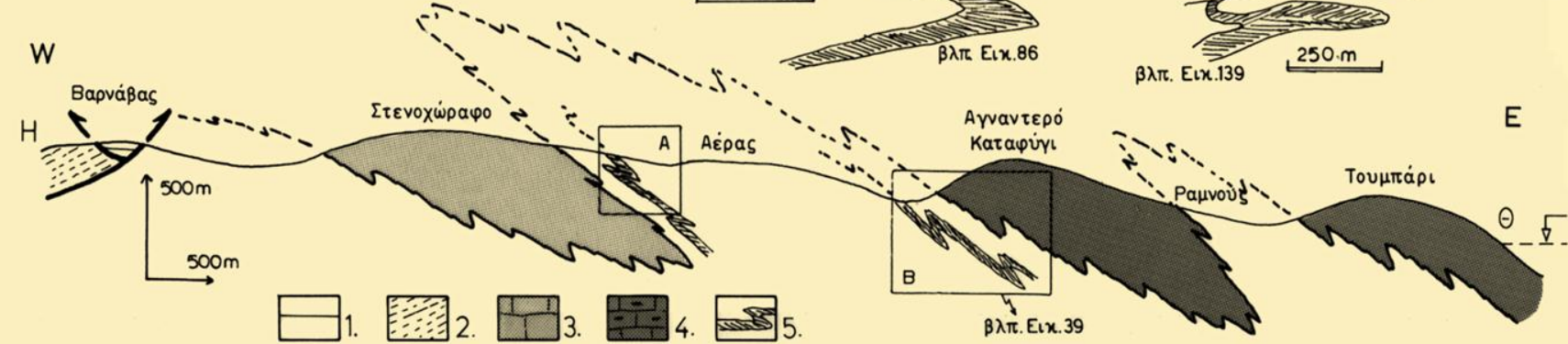
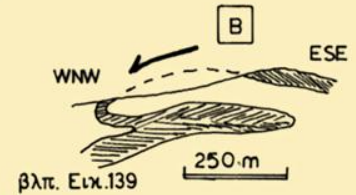
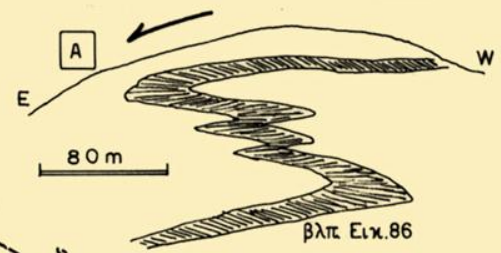
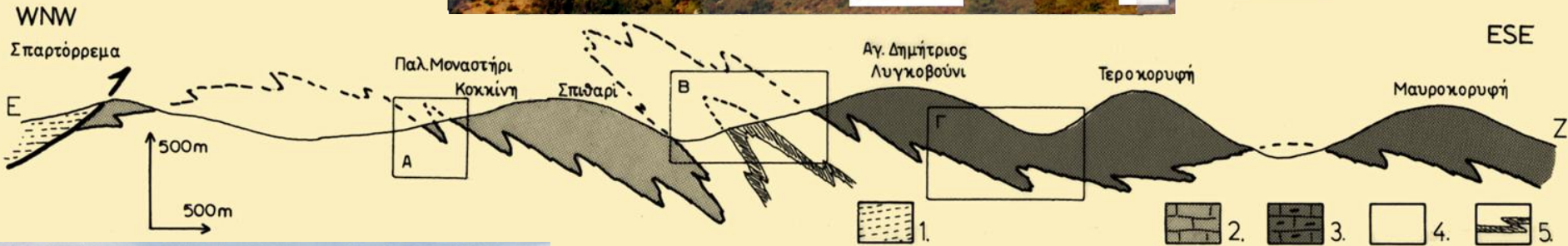
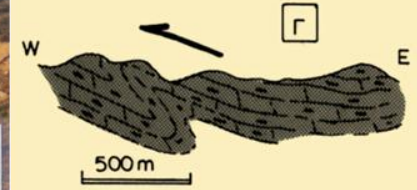
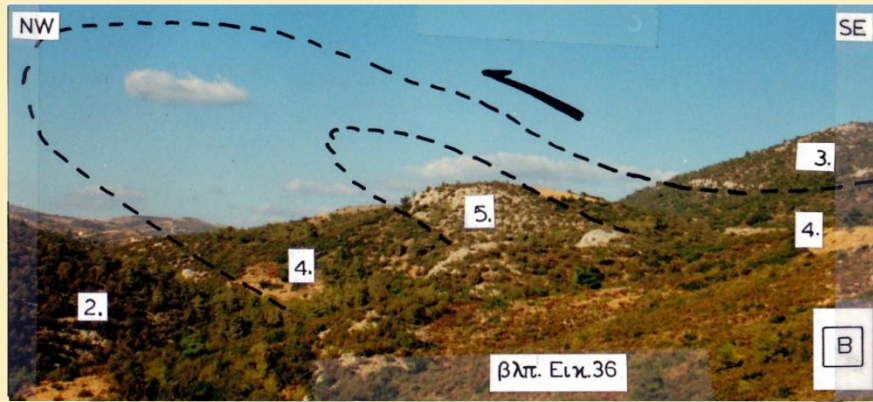
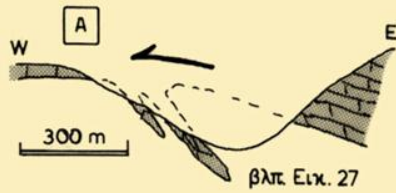


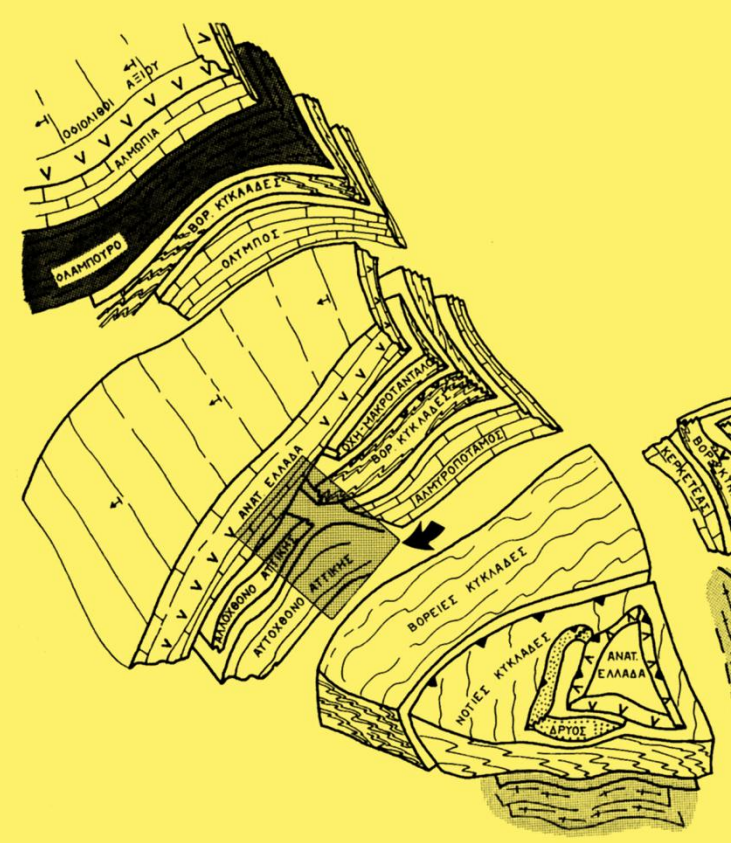
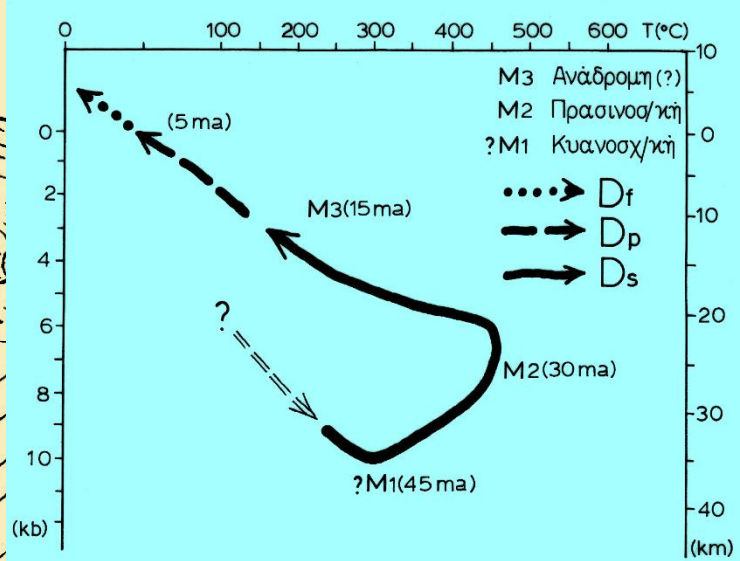
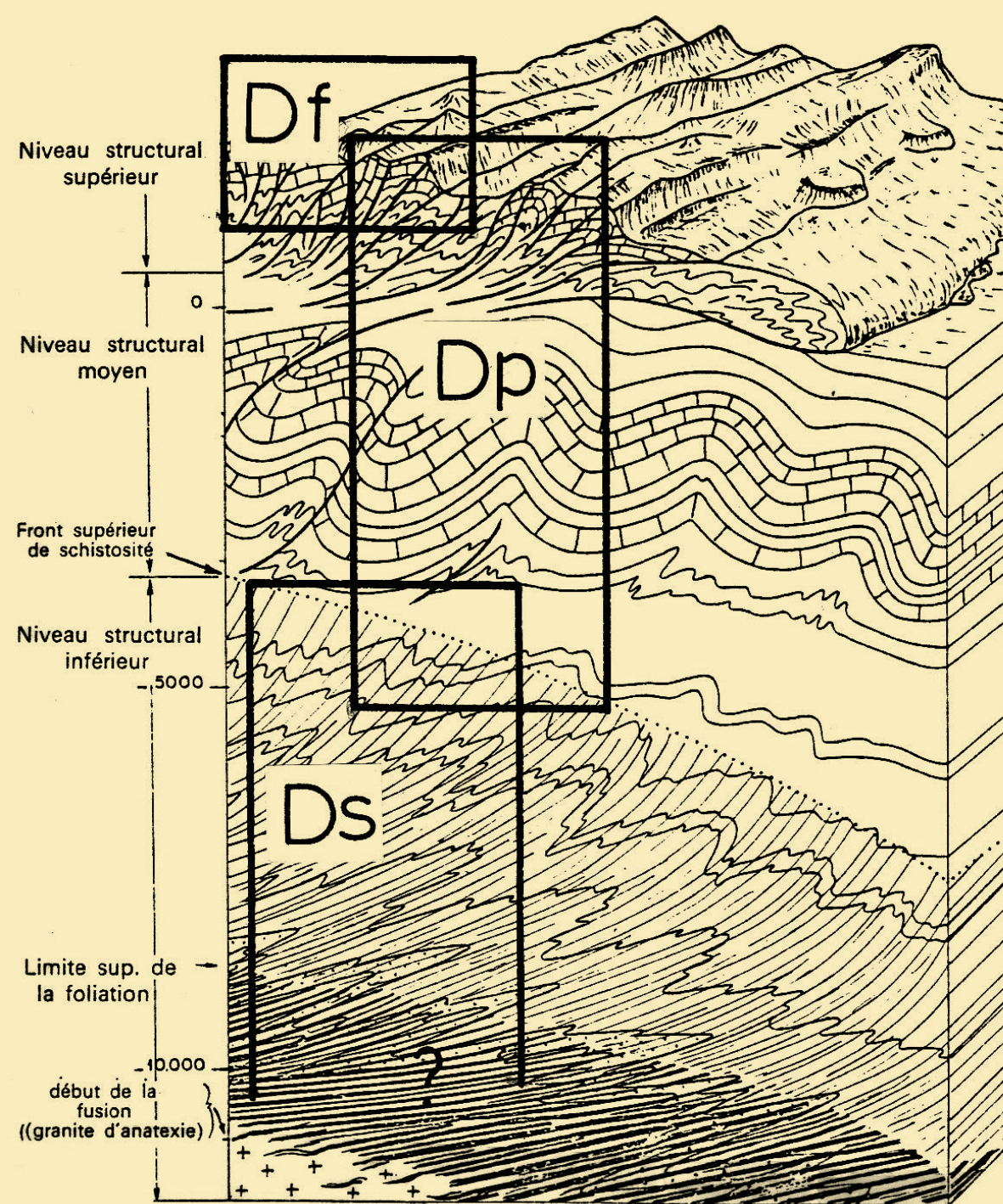
Τελευταίες  
πλαστικές δομές  
πριν το πέρασμα  
στη θραυστική  
παραμόρφωση  
(διακλάσεις &  
ρήγματα).





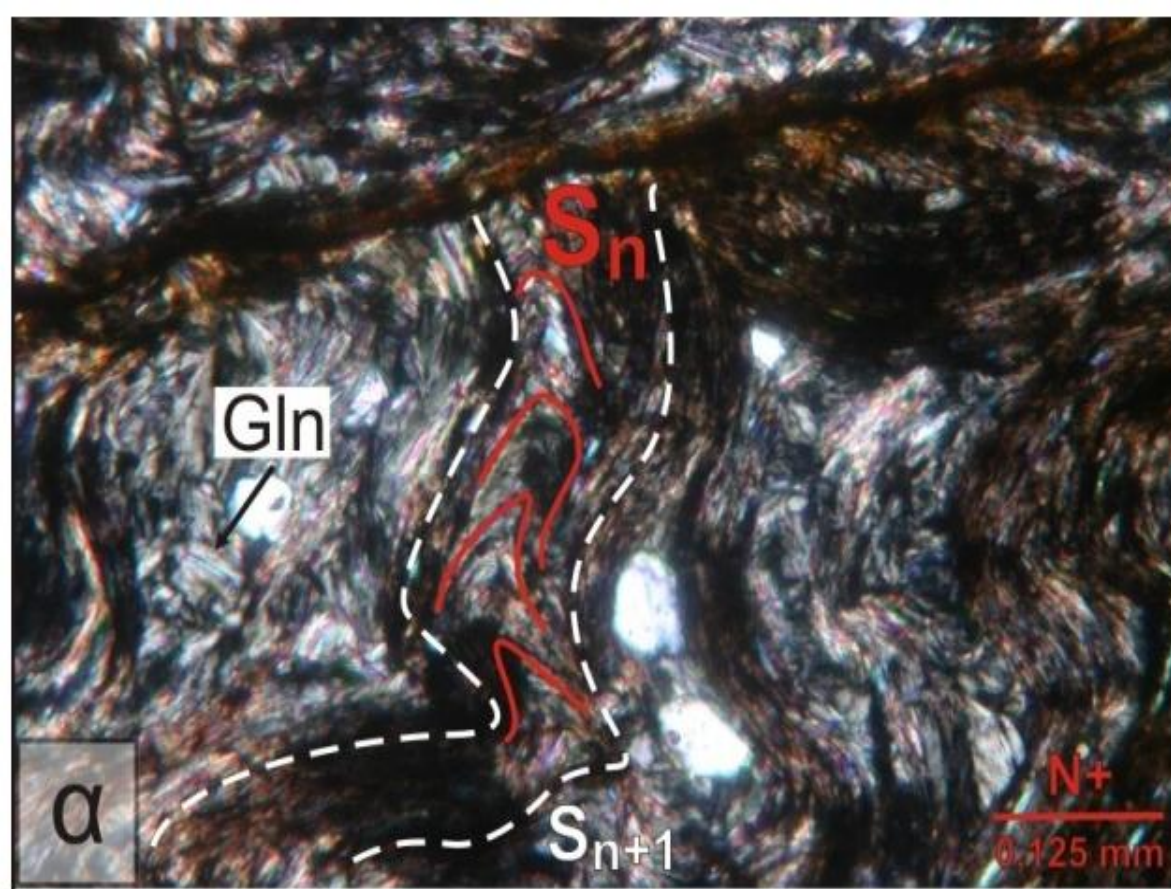






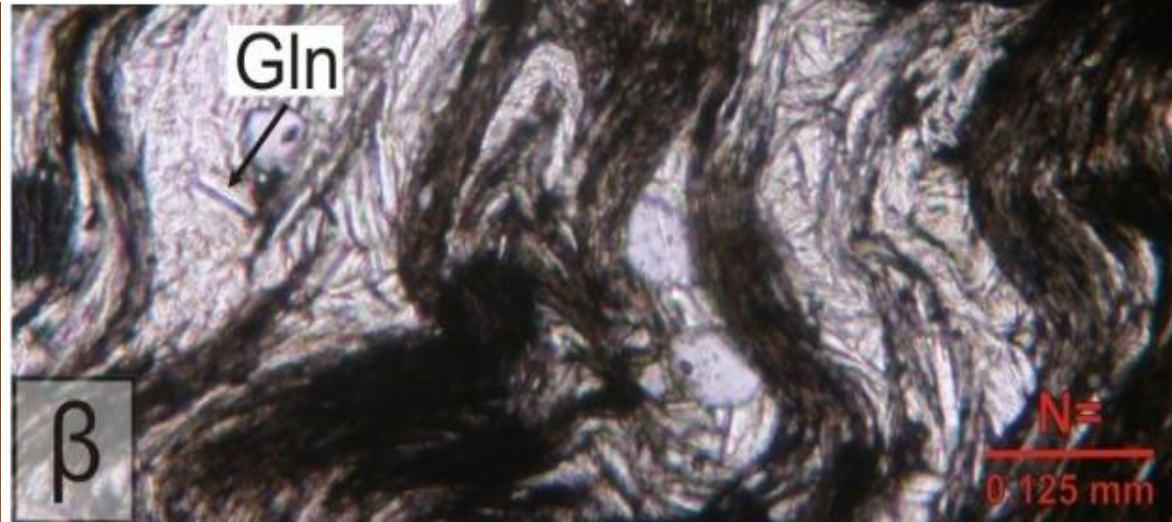
ΙΣΤΟΡΙΕΣ ΣΧΕΣΕΩΝ .....  
(επικάλυψης εννοείται): Μέρος Β΄

- Μια "νέα ιστορία" από τη Νότια Εύβοια (ενότητες Στύρων και Όχης).

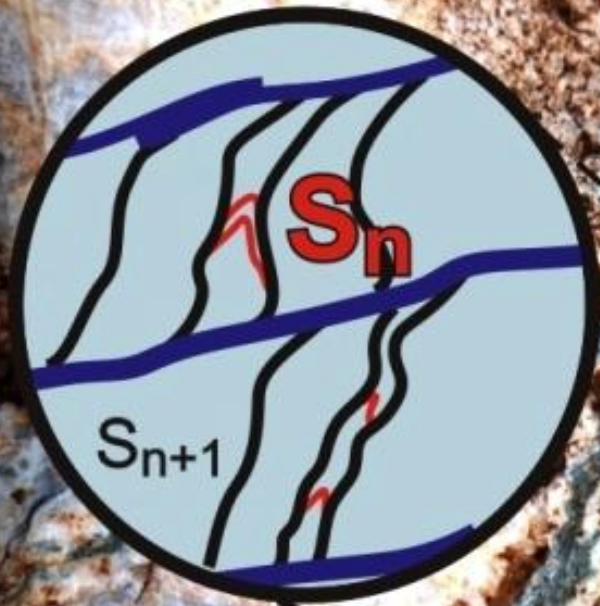


**$D_n$  (HP/LT)**

- $Ph + Chl + Ab + Qtz \pm Na-Amp$
- $Na-Amp + Ph + Ab + Qtz$
- $Omp + Ph + Ep + Ab \pm Na-Amp$

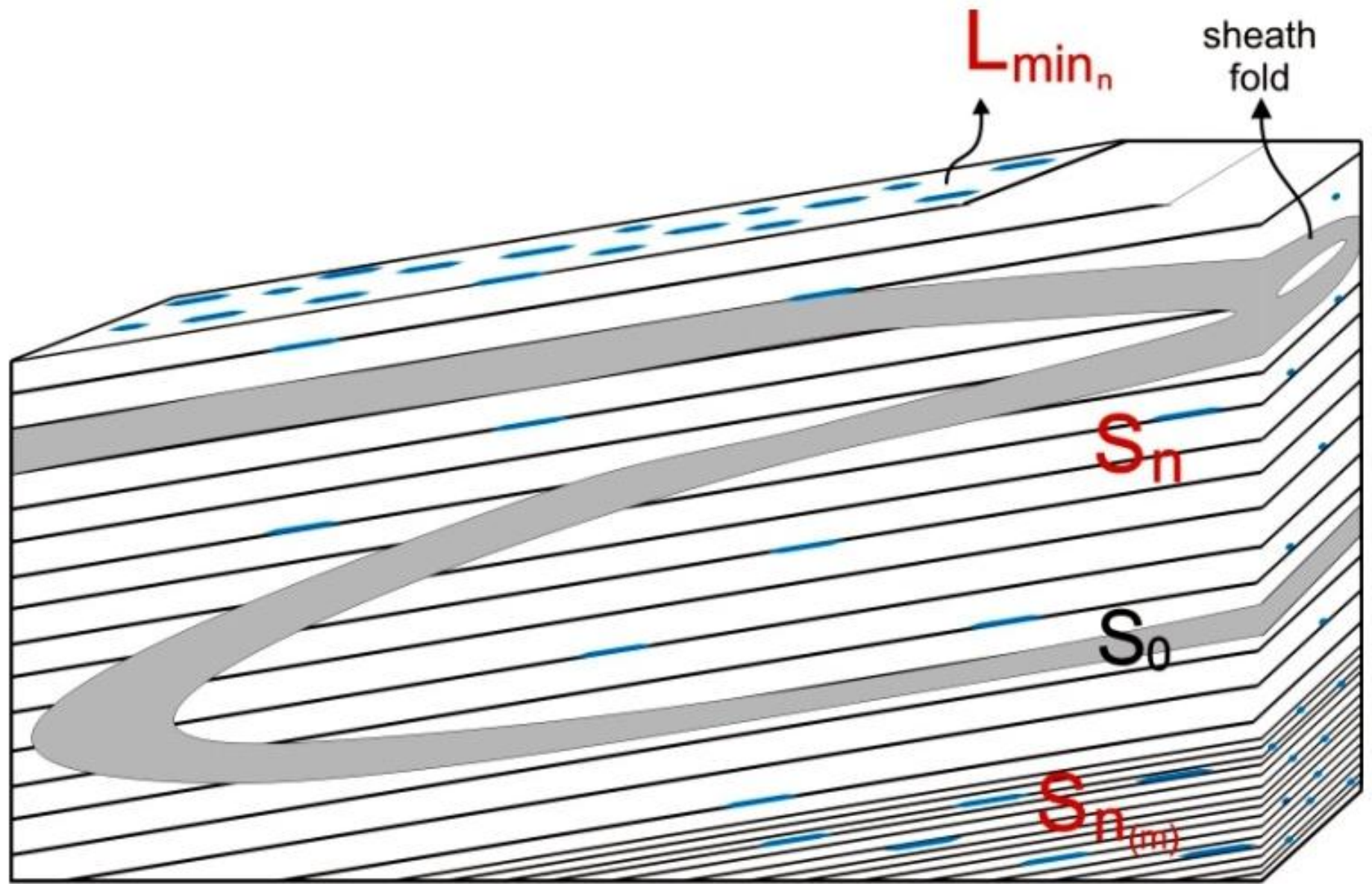


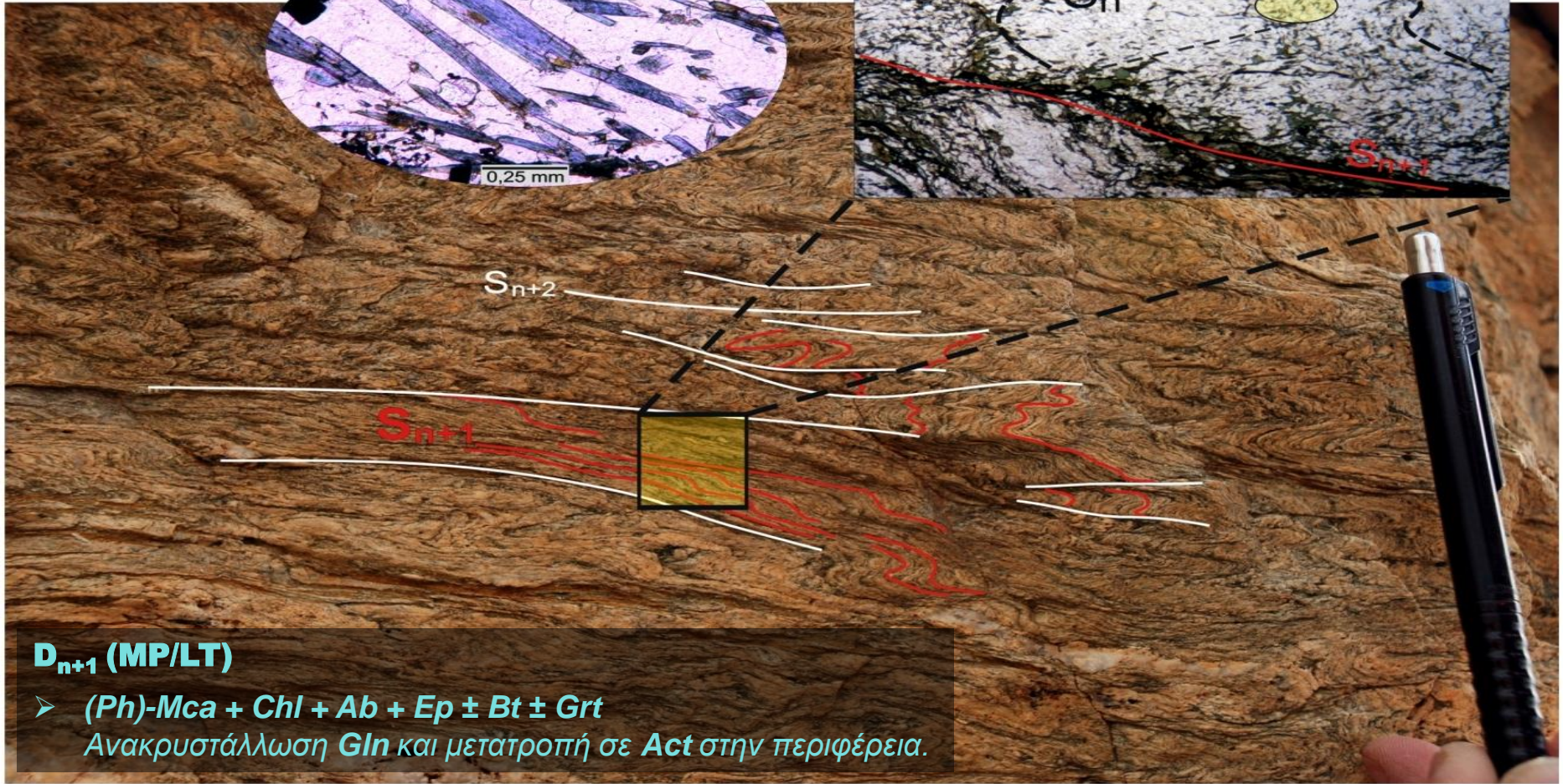
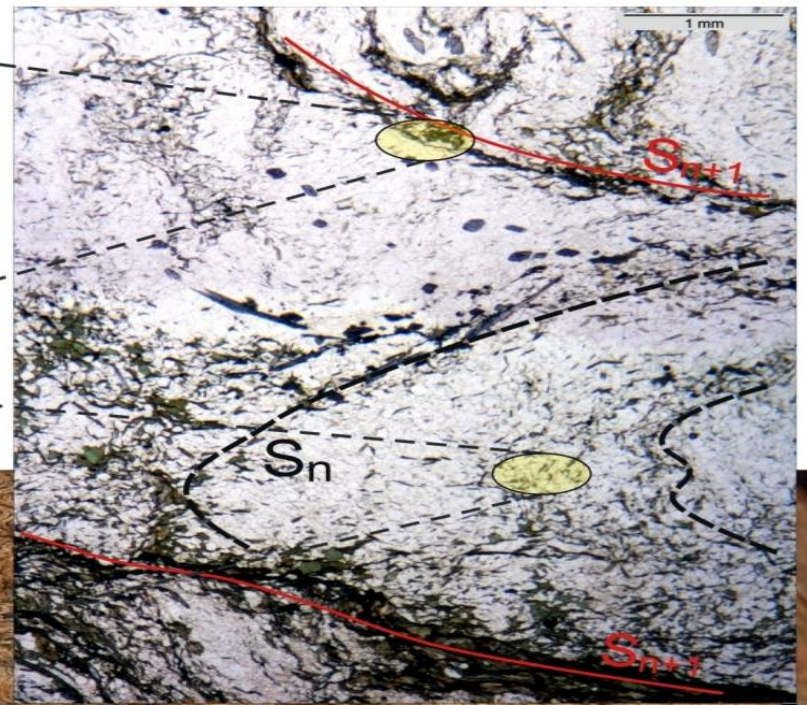
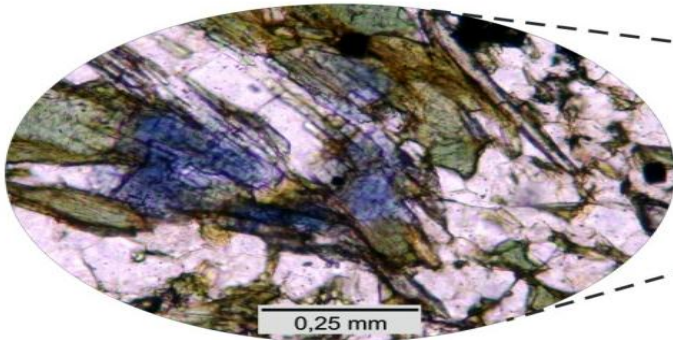
600 Schwan 309



$S_{n+2}$

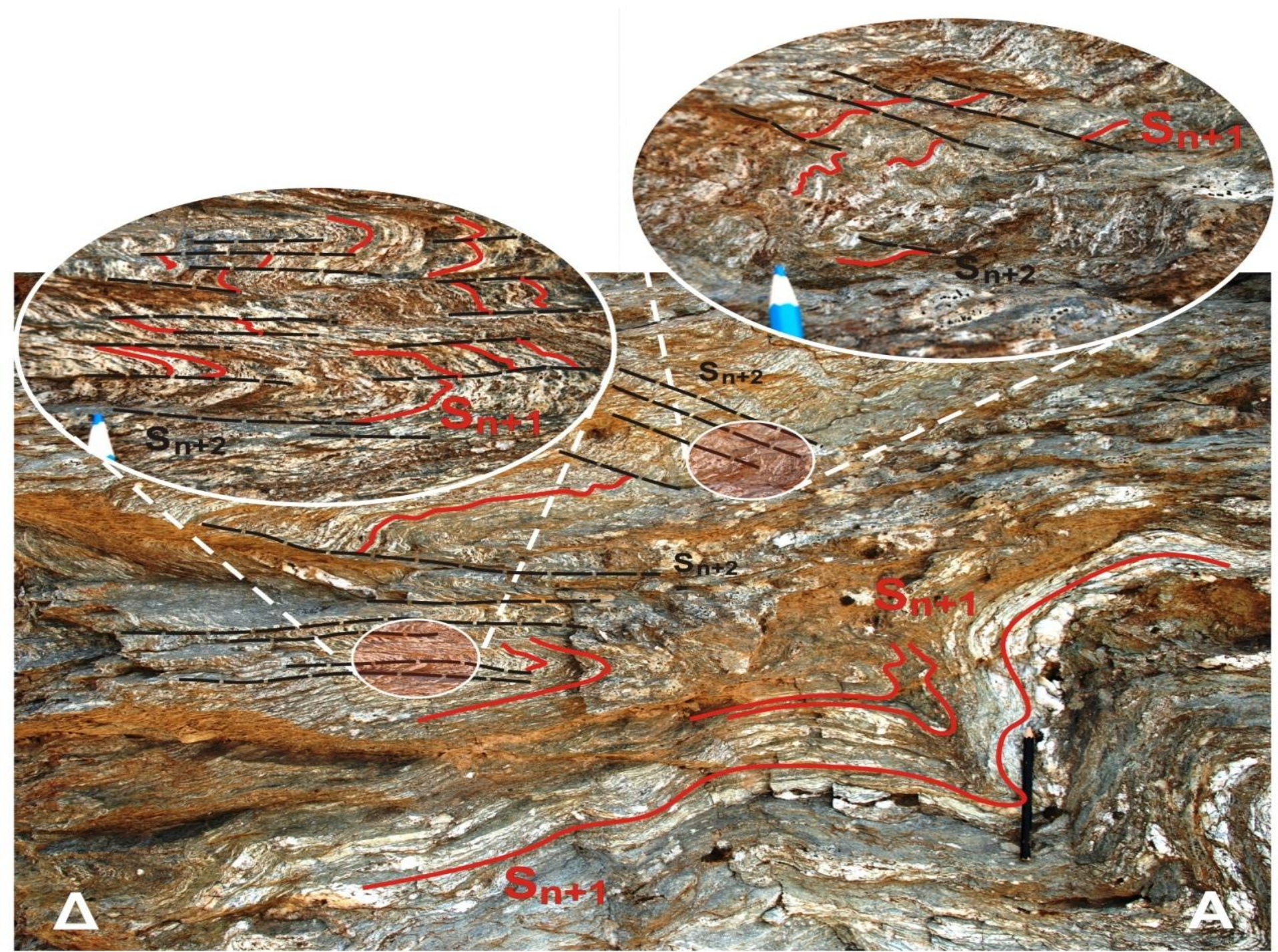




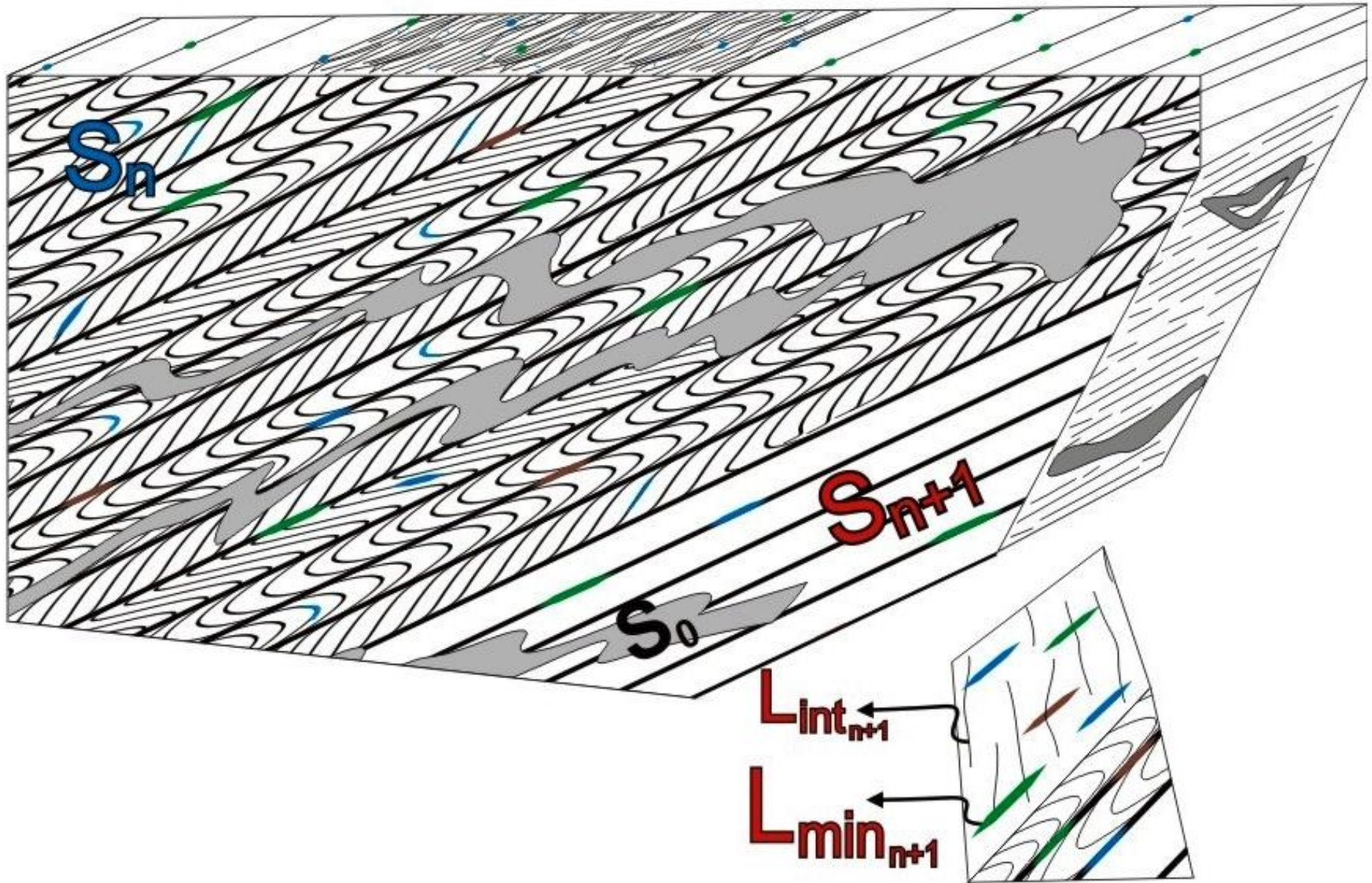


**D<sub>n+1</sub> (MP/LT)**

- (Ph)-Mca + Chl + Ab + Ep ± Bt ± Grt  
Ανακρυστάλλωση **Gln** και μετατροπή σε **Act** στην περιφέρεια.







$S_{n+1}$

$S_{n+2}$

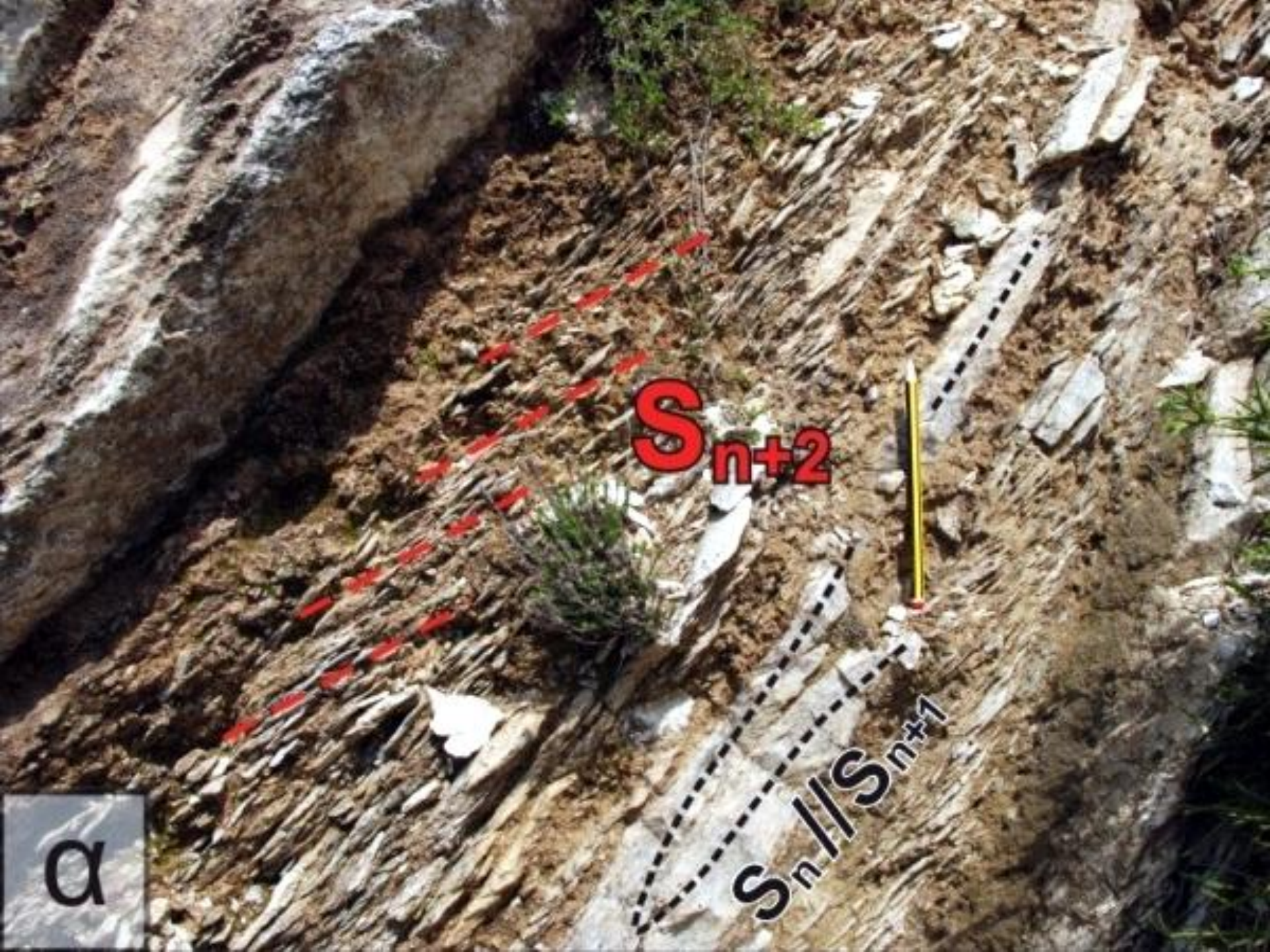
$\alpha$

$D_{n+2}$  (LT/LP)

➤  $Mca + Chl + Ab + Qtz + Ep \pm Act \pm Bt$

N+

1 mm

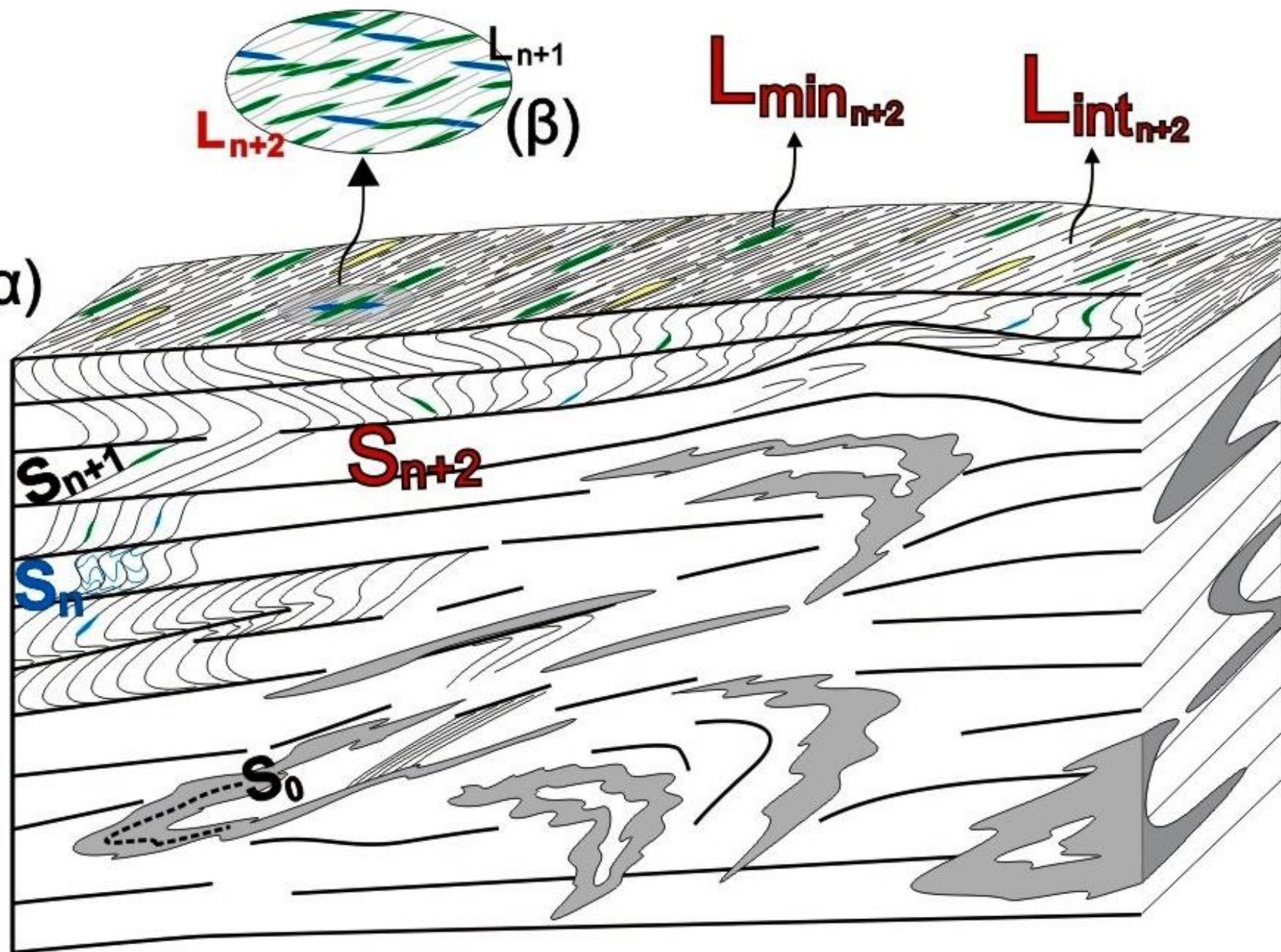


$S_{n+2}$

$S_n // S_{n+1}$

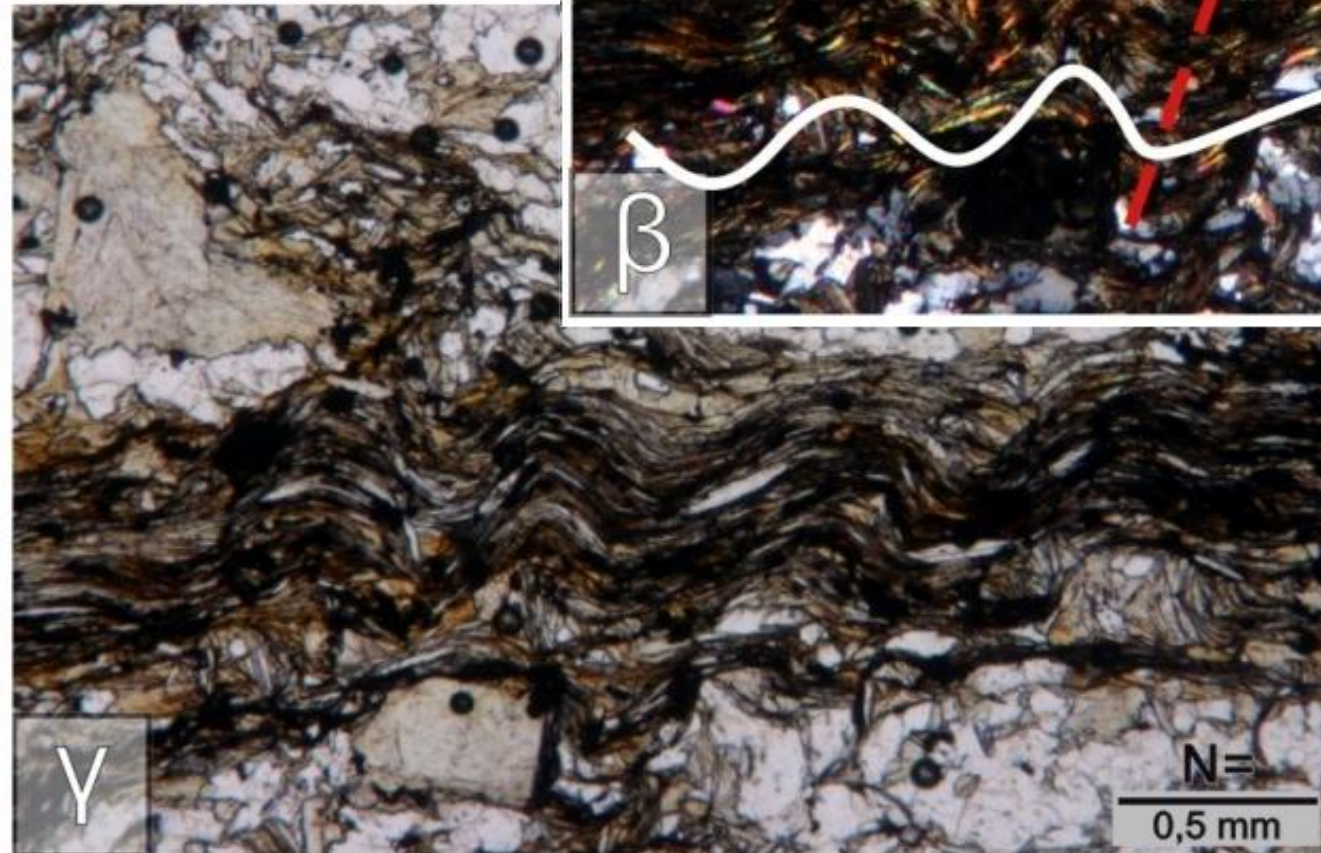
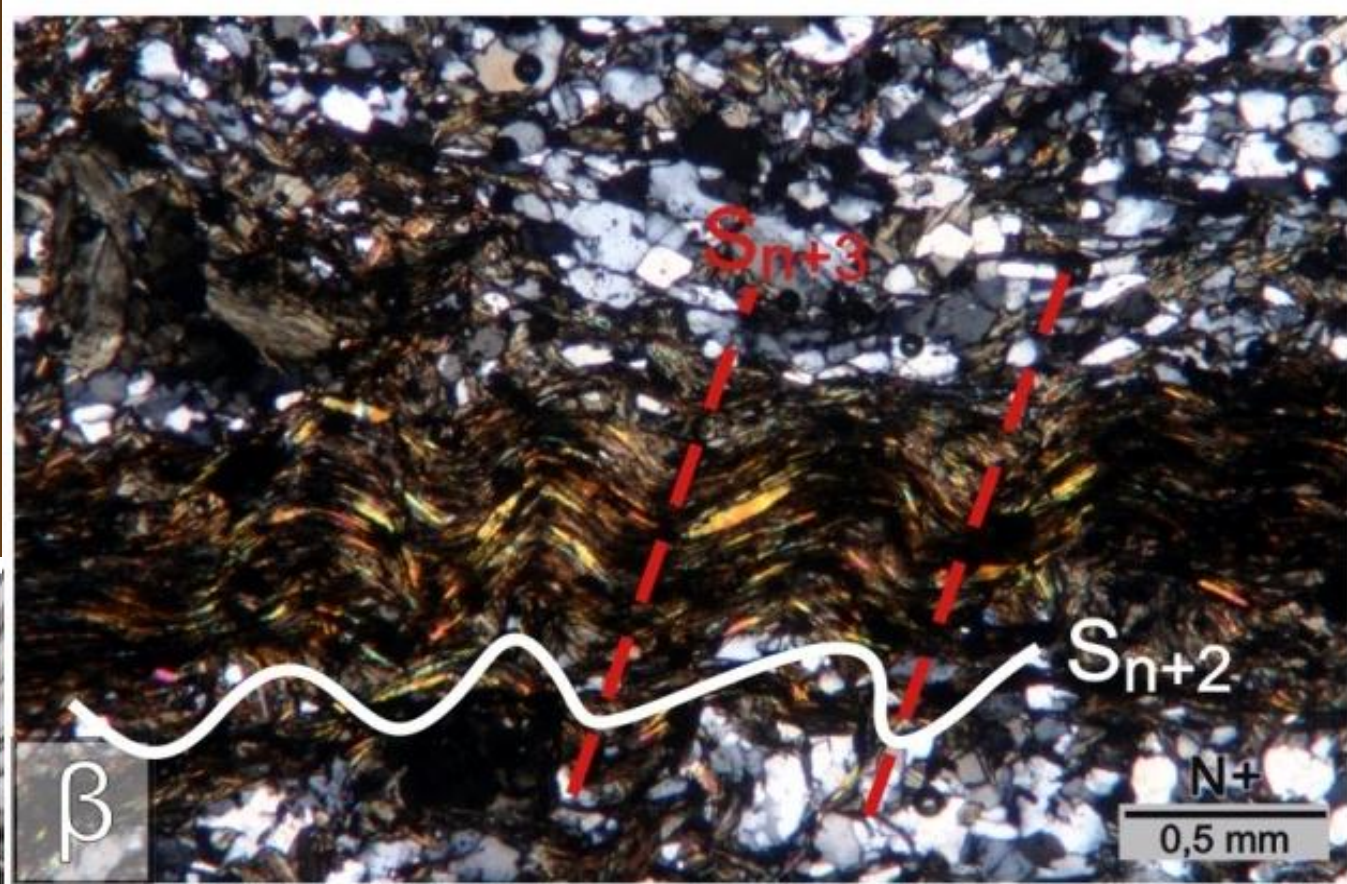
$\alpha$

(a)



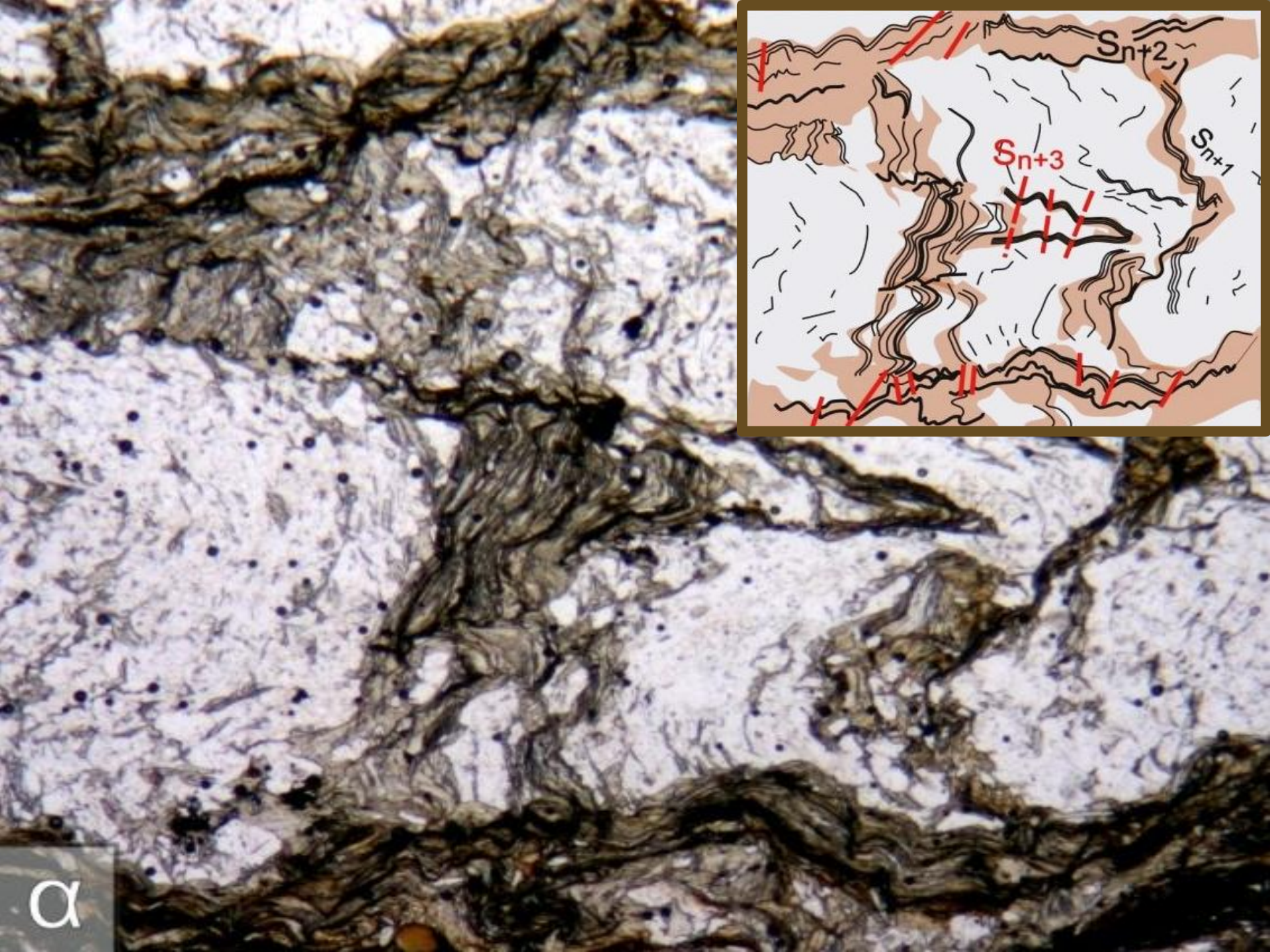
**D<sub>n+3</sub>**

Μόνο τοπικού χαρακτήρα  
ανακρυσταλλώσεις WMca.



.... εδώ τελειώνει η ιστορία  
των φυλλώσεων.

Προσθέστε και την **D<sub>n+4</sub>**, που  
αφορά σε διακλάσεις και  
ρήγματα.



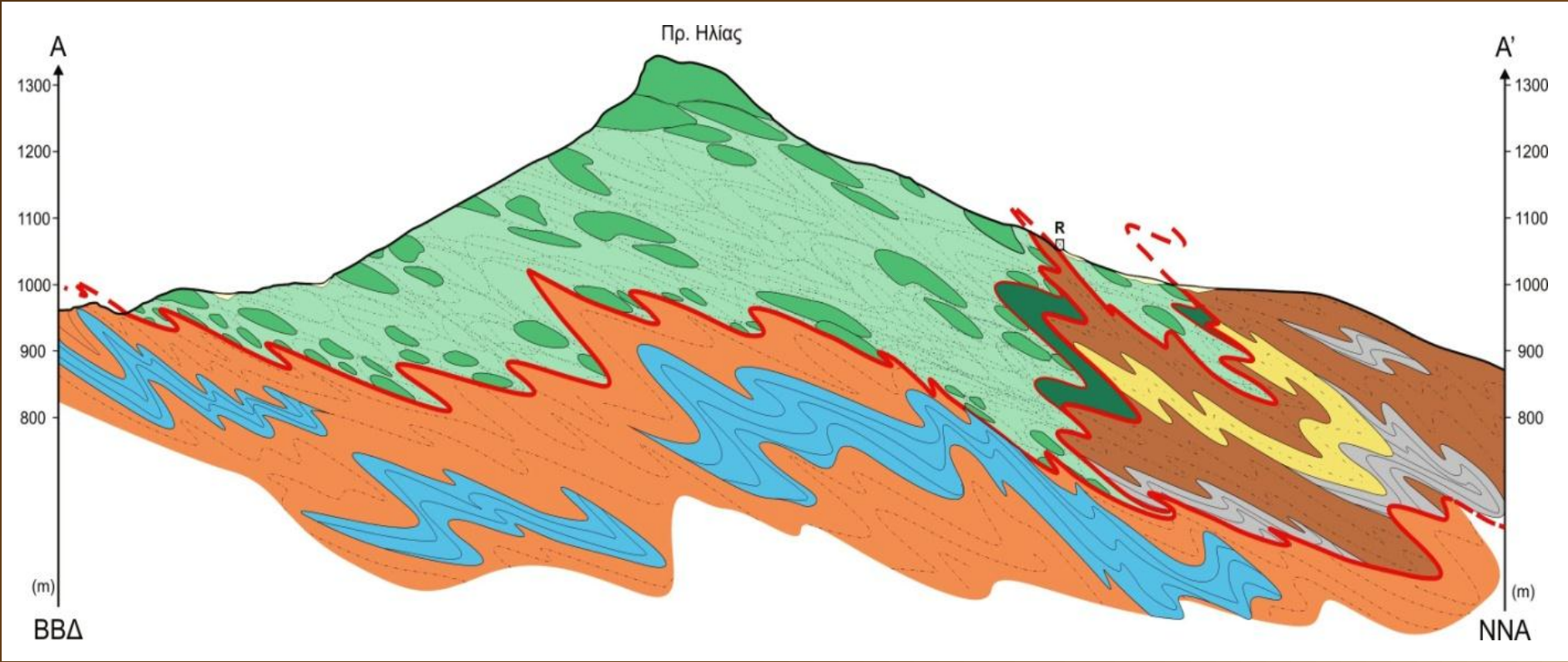
$\alpha$

Ενότητα	Λιθολογία	D <sub>n</sub> , M <sub>1</sub>	D <sub>n+1</sub>	D <sub>n+2</sub> , M <sub>2</sub>	D <sub>n+3</sub>
Στύρων	Μάρμαρα	gln-phg	chl-phg±bt	chl-phg-alb	Wmca
	Σχιστόλιθοι	gln-phg-epd	chl-phg±bt	chl-phg-alb-epd±act	
Όχης	Μάρμαρα	phg	chl-phg	chl-phg-Wmca	Wmca
	Σχιστόλιθοι	gln-phg	chl-phg-bt	chl-phg-alb-epd±act±pmp±sps	
	Μεταβασικά	gln-phg-epd	chl-phg-bt	chl-phg-alb-epd	
Μεταφιολιθικό σύμπλεγμα	Μεταβασικά	gln-phg-omp-epd	chl-phg-bt-epd	chl-phg-alb-epd-act±pmp	Wmca
	Υπερβασικά	di-atg-tr		chl	
	Μεταϊζήματα	gln-phg-epd	chl-bt	chl-phg-alb-epd±act(±sps)	

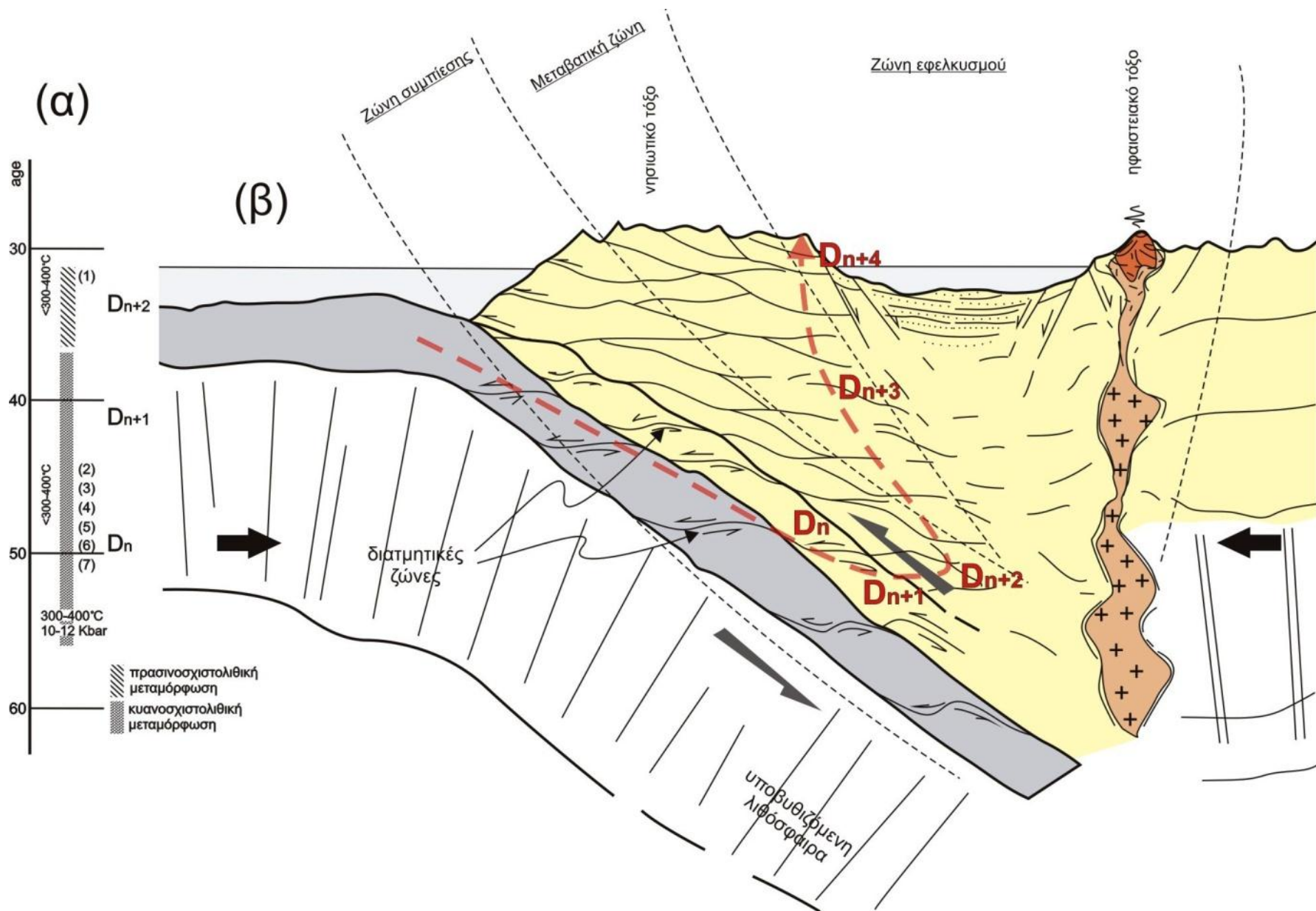
Παραμορφωτική φάση	Συνοδές ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ
$D_n$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Κυανοσχιστολιθική φάση μεταμόρφωσης (HP/LT) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Διαμπερής επιφάνεια σχισμού <math>S_n</math> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>L(\min)_n</math> από γλαυκοφανή</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>• Πτυχές ισοκλινείς, διαρροϊκές, intrafolial, rootless, sheath <ul style="list-style-type: none"> <li>➔ <i>Μυλονιτικές και υπερ-μυλονιτικές ζώνες</i></li> <li>➔ <i>Μυλονιτική φύλλωση <math>S(m)_n</math></i></li> </ul> </li> </ul>
$D_{n+1}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ενδιάμεση φάση μεταμόρφωσης (MP/LT) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Διαμπερής επιφάνεια σχιστότητας <math>S_{n+1}</math></li> </ul> </li> <li>• <math>L(\min)_{n+1}</math> από βιοτίτη και χλωρίτη διεύθυνσης ΔΒΔ-ΑΝΑ και <math>L(int)_{n+1}</math> από διατομή</li> <li>• Πτυχές ισοκλινείς, ομοειδείς, ασύμμετρες, intrafolial, rootless, sheath</li> </ul>
$D_{n+2}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πρασινοσχιστολιθική φάση μεταμόρφωσης (LT/LP) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Κύρια διαμπερής επιφάνεια σχιστότητας <math>S_{n+2}</math></li> </ul> </li> <li>• <math>L(\min)_{n+2}</math> από χλωρίτη, micas, χαλαζία, αλβίτη, ακτινόλιθου διεύθυνσης ΔΝΔ-ΑΒΑ και <math>L(int)_{n+2}</math> από διατομή <ul style="list-style-type: none"> <li>• Πτυχές ισοκλινείς, intrafolial, rootless, sheath</li> </ul> </li> <li>➔ <i>Μυλονιτικές ζώνες, μυλονιτική στρωμάτωση <math>S(m)_{n+2}</math></i></li> <li>➔ <i>Διεύθυνση διάτμησης top-to-the-NE</i></li> </ul>
$D_{n+3}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση - ανακρυστάλλωση <ul style="list-style-type: none"> <li>• Διαμπερής επιφάνεια σχισμού <math>S_{n+3}</math></li> </ul> </li> <li>• <math>L(int)_{n+3}</math> από διατομή και <math>L(cren)_{n+3}</math> από μικροπτυχωση</li> <li>• Ημι-ανεστραμμένες πτυχές μεγάλης κλίμακας, ανοιχτές έως κλειστές, γωνιώδεις, box, kinks</li> <li>• Συζυγή συστήματα λοξοζωνικών πτυχών ΒΒΑ-ΝΝΔ και ΒΔ-ΝΑ</li> </ul>
$D_{n+4}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Θραυσιγενής παραμόρφωση</li> <li>• Συζυγή συστήματα διακλάσεων ΒΒΑ-ΝΝΔ, ΒΔ-ΝΑ</li> <li>• Ρήγματα</li> </ul>



# Από τη ΜΙΚΡΟ- στη ΜΑΚΡΟΚΛΙΜΑΚΑ

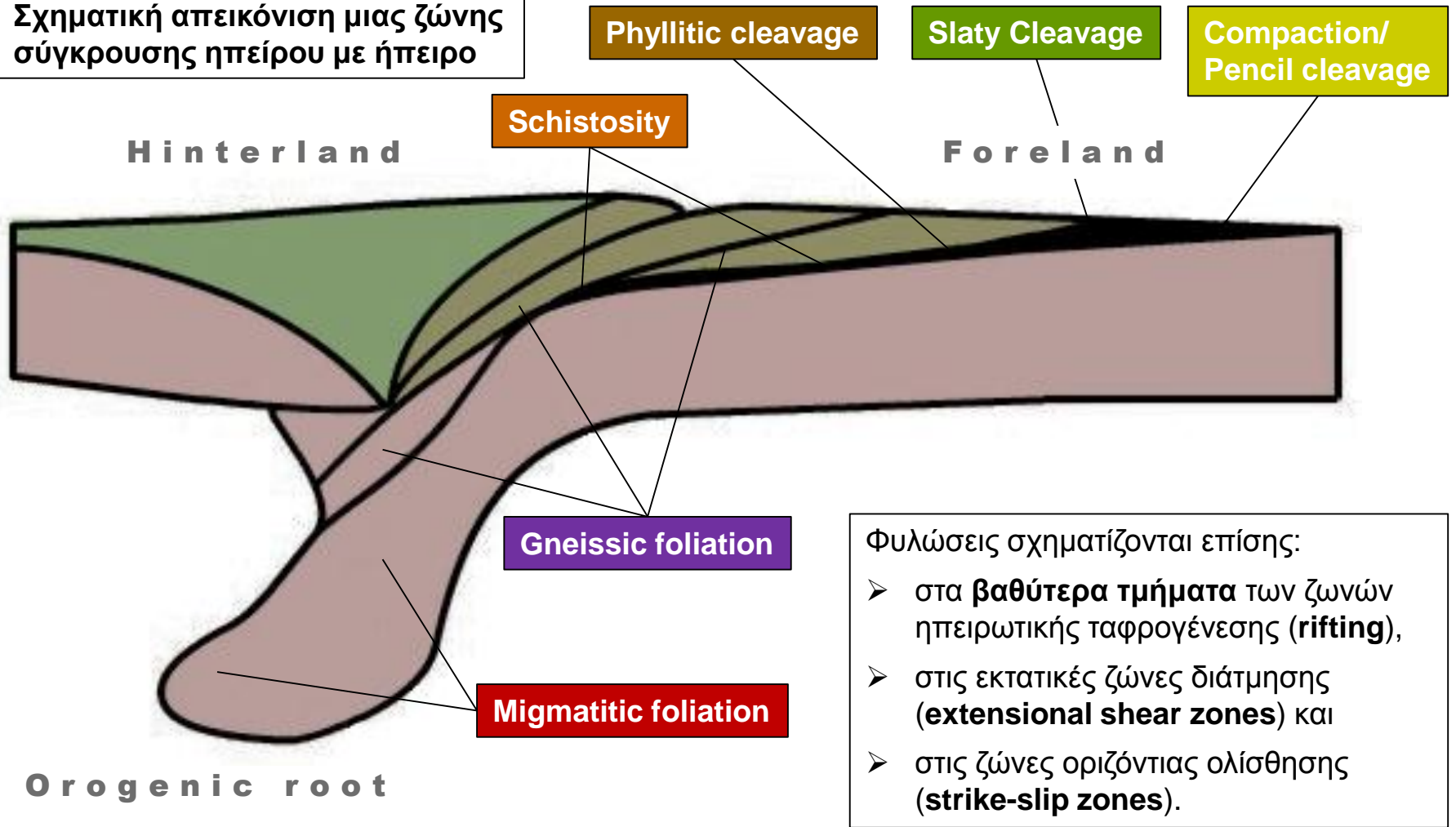


# ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ στα πλαίσια του ΟΡΟΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΤΟΞΟΥ



# Οι φυλλώσεις στα πλαίσια της ορογένεσης

Σχηματική απεικόνιση μιας ζώνης σύγκρουσης ηπείρου με ήπειρο



Φυλλώσεις σχηματίζονται επίσης:

- στα **βαθύτερα τμήματα** των ζωνών ηπειρωτικής ταφρογένεσης (**rifting**),
- στις εκτατικές ζώνες διάτμησης (**extensional shear zones**) και
- στις ζώνες οριζόντιας ολίσθησης (**strike-slip zones**).

Οι φυλλώσεις σχηματίζονται **εύκολα** κατά την παραμόρφωση που χαρακτηρίζει τη **βράχυνση** γι' αυτό και είναι συχνές στις **ορογενετικές ζώνες** (ζώνες σύγκρουσης). Επειδή **λιθολογία** και **P-T συνθήκες** αλλάζουν στα διάφορα τμήματα του ορογενούς, γι' αυτό σχηματίζονται και **διαφορετικές φυλλώσεις**. Π.χ. φυλλώσεις **χαμηλών θερμοκρασιών** σχηματίζονται στην **προχώρα** (**foreland**) και **γνευσιακές** και **μιγματιτικές** φυλλώσεις στα **βαθύτερα τμήματα** και στη **ρίζα** του ορογενούς (**orogenic root**).

# 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/GEOL143/>



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών,  
Στυλιανός Λόζιος 2015, Στυλιανός Λόζιος. «Μικροτεκτονική - Τεκτονική  
Ανάλυση. Ενότητα 1: Φύλλωση και Σχισμός». Έκδοση: 1.0. Αθήνα  
2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:  
<http://opencourses.uoa.gr/courses/GEOL102/>





# 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 (1/10)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

**Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες**

Εικόνα 1: Λατομείο. Copyrighted.

<http://www.taxydromos.gr/data/news/14214888331577843154.jpg>

Εικόνα 2: Επισκευή σκεπής. Copyrighted.

[http://3.bp.blogspot.com/\\_KVLjcnZaUe4/TNxawHU84ZI/AAAAAAAAABvM/N0EU8uJOhuI/s1600/%25CE%2597%2B%25CE%25A3%25CE%25A4%25CE%2595%25CE%2593%25CE%2597%2B%25284%2529.jpg](http://3.bp.blogspot.com/_KVLjcnZaUe4/TNxawHU84ZI/AAAAAAAAABvM/N0EU8uJOhuI/s1600/%25CE%2597%2B%25CE%25A3%25CE%25A4%25CE%2595%25CE%2593%25CE%2597%2B%25284%2529.jpg)

Εικόνα 3: Δρακόσπιτο στην Εύβοια. Copyrighted. [http://3.bp.blogspot.com/\\_N6c11ERosGw/Tjc6zucid\\_I/AAAAAAAAAE8/yC4EHV5xA6w/s1600/oxi3.jpg](http://3.bp.blogspot.com/_N6c11ERosGw/Tjc6zucid_I/AAAAAAAAAE8/yC4EHV5xA6w/s1600/oxi3.jpg)

Εικόνα 4: Diagrammatic presentation of various fabric elements that may define a foliation. Passchier & Trouw 1996. Copyrighted.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/10)

Εικόνα 5: Σταυρωτή στρώση (cross bedding) σε ψαμμίτη. Photo: R.Weller/Cochise College. Public domain. <http://skywalker.cochise.edu/wellerr/rocks/sdrx/6cross-bedding1137.JPG>

Εικόνα 6: Μαγματική στρωμάτωση τύπου flow banding σε ρυόλιθο. Photo: R.Weller/Cochise College. Public domain.

<http://skywalker.cochise.edu/wellerr/rocks/igrx/6rhyolite-flowbanding2040.JPG>

Εικόνα 7: Μαγματική στρωμάτωση τύπου flow banding σε δακτινική λάβα. Copyrighted.

[http://www.cedd.gov.hk/eng/images/about/organisation/chapter\\_5/plate5\\_19.jpg](http://www.cedd.gov.hk/eng/images/about/organisation/chapter_5/plate5_19.jpg)

Εικόνα 8: Στρώση παράλληλη στη διαγενετική φύλλωση. Passchier & Trouw 2005. Copyrighted. <http://www.erictwelker.com/PandTFig4.6.jpg>

Εικόνες 9-10-11: Μορφολογική ταξινόμηση των φυλλώσεων (με τη χρήση του οπτικού μικροσκοπίου). Copyrighted.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/10)

Εικόνα 12: Συνοπτική παρουσίαση ορισμένων σημαντικών μηχανισμών ανάπτυξης δευτερογενών φυλλώσεων. Copyrighted.

Εικόνα 13: Development of some foliations by progressive simple shear and pure shear. Passchier & Trouw 1996. Copyrighted.

[http://www.geosci.usyd.edu.au/users/prey/ACSGT/EReports/eR.2002/SamReport2/kinematic\\_criteria\\_files/image004.jpg](http://www.geosci.usyd.edu.au/users/prey/ACSGT/EReports/eR.2002/SamReport2/kinematic_criteria_files/image004.jpg)

Εικόνα 14: Μικρού βαθμού μεταμόρφωσης μετα-κροκαλοπαγές, με έντονα επιμηκυμένες χαλαζιακές κροκάλες. Copyrighted.

[http://www.geosci.usyd.edu.au/users/prey/ACSGT/EReports/eR.2002/SamReport2/kinematic\\_criteria\\_files/image008.jpg](http://www.geosci.usyd.edu.au/users/prey/ACSGT/EReports/eR.2002/SamReport2/kinematic_criteria_files/image008.jpg)

Εικόνα 15: Mudstone. Copyrighted.

Εικόνα 16: Σχιστόλιθος. Copyrighted.

<https://jordavaar.wikispaces.com/file/view/BERGART.jpg/401825236/276x200/BERGART.jpg>



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (4/10)

Εικόνα 17: Staurolite schist. Copyrighted. <http://www.northeast-geol Soc.50megs.com/thinsections/stauroliteschist/staurolite-schist-xpl.jpg>

Εικόνα 18: Diagenetic foliation or compaction cleavage in shales. Copyrighted.

Εικόνα 19: Diagenetic foliation σε ψαμμίτες. Copyrighted.  
<https://froggey.files.wordpress.com/2010/10/019.jpg>

Εικόνα 20: Deformed peloids. Copyrighted.  
<http://sedsys.snu.ac.kr/images/resources/phcar7.jpg>

Εικόνα 21: Στυλόλιθοι σε ασβεστόλιθο. Copyrighted.  
[https://farm4.staticflickr.com/3650/3558760243\\_3b4b07d186\\_o.jpg](https://farm4.staticflickr.com/3650/3558760243_3b4b07d186_o.jpg)

Εικόνα 22: Pencil cleavage in shale in the Caledonian foreland fold-and-thrust belt near Oslo. Copyrighted. [http://1.bp.blogspot.com/-Zwc\\_FA\\_X9Yk/Vb42G3vTPNI/AAAAAAAAABWY/01TZSxOit9M/s1600/12.6.jpg](http://1.bp.blogspot.com/-Zwc_FA_X9Yk/Vb42G3vTPNI/AAAAAAAAABWY/01TZSxOit9M/s1600/12.6.jpg)

Εικόνες 23-24: Pencil cleavage. Copyrighted.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (5/10)

Εικόνα 25: Pencil cleavage. Copyrighted.

<http://www.karakalemresim.net/sites/default/files/kur%C5%9Fun%20f%C3%BCzen.jpg>

Εικόνα 26: Pencil cleavage. Copyrighted.

[http://faculty.kutztown.edu/frieauf/classphotos/structural\\_pencil-slaty-cleavage-p3200051.jpg](http://faculty.kutztown.edu/frieauf/classphotos/structural_pencil-slaty-cleavage-p3200051.jpg)

Εικόνες 27-28: Slaty Cleavage in Sedimentary Beds. Copyrighted.

<http://csmres.jmu.edu/geollab/Fichter/MetaRx/slatycleav.html>

Εικόνα 29: Cleavage. Copyrighted.

<http://www.nr.gov.nl.ca/nr/mines/outreach/education/features/cleavagelg.jpg>

Εικόνα 30: Cleavage in Mississippian Limestone (Lodgepole Fm.), SW Montana.

Copyrighted. <http://pages.uoregon.edu/millerm/MmlCl.jpeg>

Εικόνα 31: Slaty cleavage. Public domain.

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Slaty\\_cleavage.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Slaty_cleavage.jpg)



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (6/10)

Εικόνα 32: Crenulation cleavage. Copyrighted.

Εικόνα 33: Asymmetric crenulation cleavage affecting a mylonitic foliation. Copyrighted. [http://1.bp.blogspot.com/\\_](http://1.bp.blogspot.com/_Y_26SgPxSB8/Vb44lumn9II/AAAAAAAAABW4/eYtAHg-ai7E/s1600/12.9.jpg)

[Y\\_26SgPxSB8/Vb44lumn9II/AAAAAAAAABW4/eYtAHg-ai7E/s1600/12.9.jpg](http://1.bp.blogspot.com/_Y_26SgPxSB8/Vb44lumn9II/AAAAAAAAABW4/eYtAHg-ai7E/s1600/12.9.jpg)

Εικόνα 34: Crenulation Cleavage. Copyrighted.

<http://www.rci.rutgers.edu/~schlisch/structureslides/crencleavage.gif>

Εικόνα 35: Crenulation cleavage σε ασβεστίτη. Copyrighted.

<http://images.fineartamerica.com/images-medium-large/crenulation-cleavage-in-calcite-dirk-wiersma.jpg>

Εικόνες 36-37: Copyrighted. [http://2.bp.blogspot.com/\\_](http://2.bp.blogspot.com/_89UtbtZKl2v8/Vb43udCYMSI/AAAAAAAAABWw/4z17Wd5KRzs/s1600/12.8.jpg)

[89UtbtZKl2v8/Vb43udCYMSI/AAAAAAAAABWw/4z17Wd5KRzs/s1600/12.8.jpg](http://2.bp.blogspot.com/_89UtbtZKl2v8/Vb43udCYMSI/AAAAAAAAABWw/4z17Wd5KRzs/s1600/12.8.jpg)

Εικόνα 38: Phyllitic cleavage και crenulation cleavage στο μικροσκόπιο. Copyrighted.





# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (7/10)

Εικόνα 39: Theoretical cleavage development in a mudstone. Copyrighted.

[http://4.bp.blogspot.com/-](http://4.bp.blogspot.com/-L19oRluKQzw/Vb41oO97QZI/AAAAAAAAABWQ/lyTp96JXcxg/s1600/12.5.jpg)

[L19oRluKQzw/Vb41oO97QZI/AAAAAAAAABWQ/lyTp96JXcxg/s1600/12.5.jpg](http://4.bp.blogspot.com/-L19oRluKQzw/Vb41oO97QZI/AAAAAAAAABWQ/lyTp96JXcxg/s1600/12.5.jpg)

Εικόνα 40: Silver rock. Copyrighted. <http://goldsilverguys.com/wp-content/uploads/2015/03/Silver-Rock.jpg>

Εικόνα 41: Micaschist. Copyrighted.

<http://www.personal.psu.edu/faculty/j/e/jea4/VWiss/grt-schist2.jpg>

Εικόνα 42: Micaschist. Copyrighted.

[http://www.earth.ox.ac.uk/~oesis/micro/medium/schist2\\_pm04-13.jpg](http://www.earth.ox.ac.uk/~oesis/micro/medium/schist2_pm04-13.jpg)

Εικόνα 43: Grt-Mica-schist. Copyrighted.

[http://www.earth.ox.ac.uk/~oesis/micro/medium/schist\\_pm19-13.jpg](http://www.earth.ox.ac.uk/~oesis/micro/medium/schist_pm19-13.jpg)

Εικόνα 44: Qtz-schist. Copyrighted.

[https://wingmanarrows.files.wordpress.com/2012/05/clip\\_image052\\_thumb.jpg?w=609&h=405](https://wingmanarrows.files.wordpress.com/2012/05/clip_image052_thumb.jpg?w=609&h=405)



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (8/10)

Εικόνα 45: Quartzitic banding. Copyrighted.

Εικόνα 46: Gneissic transposition foliation, που σχηματίσθηκε από διάτμηση του μιγματιτικού γνευσίου του υποβάθρου των Νορβηγικών Καλιδονίδων.  
Copyrighted.

Εικόνα 47: Transposition foliation από το Moine thrust της Σκωτίας. Copyrighted.

Εικόνα 48: Gneissic transposition foliation. Copyrighted.

Εικόνα 49: Σχηματικά η φύλλωση και πτύχωση. Copyrighted.

<https://www.uwgb.edu/dutchs/Graphics-Geol/structur/foldfoln.gif>

Εικόνα 50: The folding process. Copyrighted.

<https://www.uwgb.edu/dutchs/Graphics-Geol/structur/foliate1.gif>

Εικόνα 51: Ανάπτυξη axial planar slaty cleavage σε Κάμβριας - Ορδοβίσιας ηλικίας τουρβιδίτες. Copyrighted. <http://plate-tectonic.narod.ru/fcleavage.jpg>

Εικόνα 52: Η σχέση σχισμού - στρώσης. Copyrighted.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (9/10)

Εικόνες 53-54: Cleavage refraction. Copyrighted.

Εικόνα 55: Foliation fanning. Copyrighted.

<https://www.uwgb.edu/dutchs/Graphics-Geol/structur/fanfoln.gif>

Εικόνα 56: Cleavage refraction. Copyrighted.

Εικόνα 57: Cleavage fanning. Copyrighted.

Εικόνα 58: Fold cleavages. Copyrighted. [http://sanuja.com/blog/wp-content/uploads/2013/03/341\\_fold\\_cleavages.gif](http://sanuja.com/blog/wp-content/uploads/2013/03/341_fold_cleavages.gif)

Εικόνα 59: Copyrighted.

Εικόνα 60: Foliation-transected fold. Copyrighted.

Εικόνα 61: Copyrighted.

Εικόνα 62: Copyrighted.

Εικόνα 63: Reduction spots σε φυλλίτες. Copyrighted.

Εικόνα 64: The Van Hise Rock. Copyrighted.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (10/10)

Εικόνα 65: Copyrighted.

Εικόνα 66: Φυλλώσεις, παραμόρφωση και μεταβολή όγκου. Copyrighted.

Εικόνα 67: Copyrighted.

Εικόνα 68: General outline of a common sequence of events in slate and schist belts. Copyrighted.

Εικόνες 69-70: Overprinting relationships. Copyrighted.

[http://images.myshared.ru/6/766731/slide\\_27.jpg](http://images.myshared.ru/6/766731/slide_27.jpg)

[http://images.myshared.ru/6/766731/slide\\_28.jpg](http://images.myshared.ru/6/766731/slide_28.jpg)

