



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Μικροτεκτονική - Τεκτονική Ανάλυση

Ενότητα 1: Ζώνες διάτμησης και πετρώματα
ρηξιγενών ζωνών

Στυλιανός Λόζιος

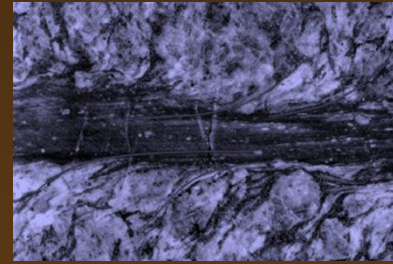
Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος



Παρουσίαση

5



Ζώνες Διάτμησης & Πετρώματα Ρηξ. Ζωνών

Shear Zones & Fault (related) Rocks



ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΡΗΞΙΓΕΝΩΝ ΖΩΝΩΝ

Fault Related Rocks

ΖΩΝΕΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

Shear Zones

Χαρακτηριστικός τεκτονικός ιστός

Παραγενέσεις ανάλογες P-T

Τύπος τεκτονικής ροής

Φορά κίνησης

Ιστορία παραμόρφωσης ζώνης

Μη ομοιογενής κατανομή παραμόρφωσης

Υψηλό ποσοστό παραμόρφωσης

Υψηλές τιμές παραμόρφωσης

Ταχύς ρυθμός παραμόρφωσης

Συνιστώσα περιστροφής

Επίπεδα όρια

Μεγάλο μήκος ως προς πλάτος (5:1)

Διαστάσεις πολλών χιλιομέτρων

Πάχος από μέτρο – χιλιόμετρο

Μετατοπίσεις χιλιομέτρων

Διάρκεια λειτουργίας εκ. έτη

Απλή διάτμηση (+/- συμπίεση, εφελκυσμός)

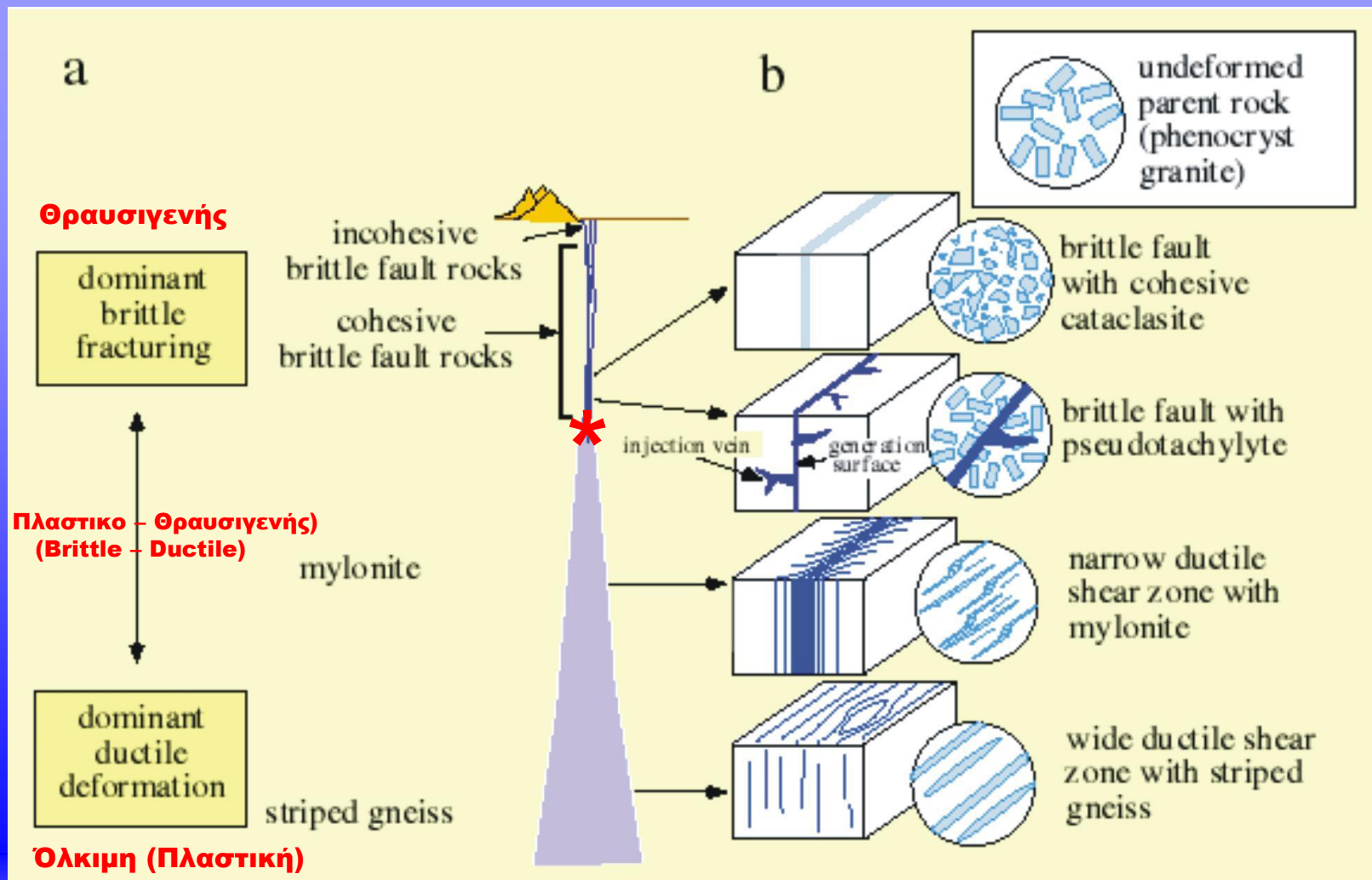
Μεγάλες τιμές σε σχέση με το γύρω πέτρωμα



Σημείωση:

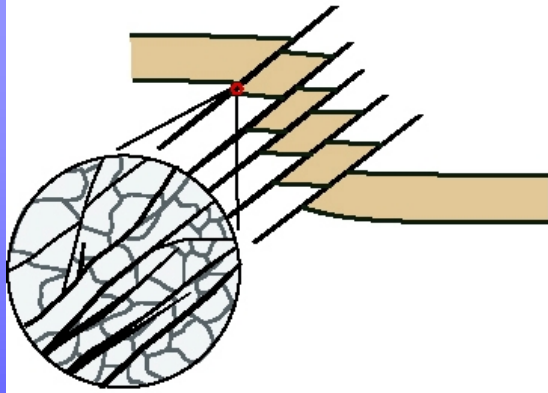
Στην παρουσίαση που ακολουθεί με διπλό κλικ στις εικόνες που περιέχουν τα διπλανά σύμβολα αναπαράγεται ένα επεξηγηματικό animation.



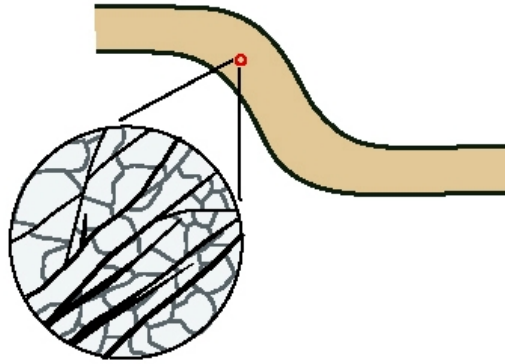


* **Μετάβαση** → Ποσοστό παραμόρφωσης, Γεωθερμική βαθμίδα, Λιθολογία, Μέγεθος κόκκων, Πίεση ρευστών των πόρων, Προσανατολισμός εντατικού πεδίου, Προϋπάρχων ιστός

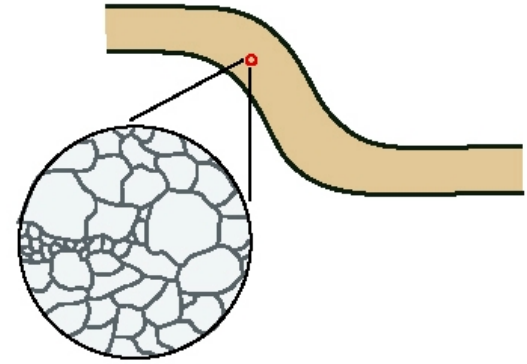




1 Brittle style,
brittle (frictional)
mechanism



2 Ductile style,
brittle (frictional)
mechanism



3 Ductile style,
plastic mechanism

Υπάρχουν δύο τύποι (στυλ) ή χαρακτήρες παραμόρφωσης (deformation style):
Ο θραυσιγενής (brittle) και ο όλκιμος (ductile).

Ο θραυσιγενής τύπος μπορεί να προέλθει μόνο από θραυσιγενή μηχανισμό (Εικ. 1).

Ο όλκιμος τύπος παραμόρφωσης μπορεί να προέλθει τόσο από θραυσιγενή μηχανισμό παραμόρφωσης (brittle, Εικ. 2), όσο και από πλαστικό (plastic, Εικ. 3).

Brittle – Ductile → Πλαστικο - Θραυσιγενής



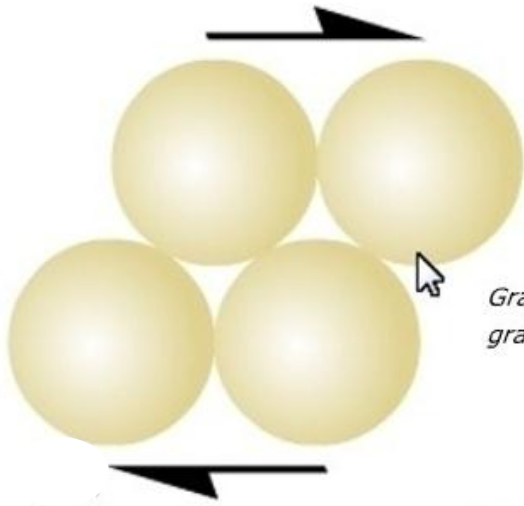
What deformation mechanisms are brittle?

Brittle mechanisms involve mechanical or frictional deformation of grains. There are three such modes of deformation at the grainscale:

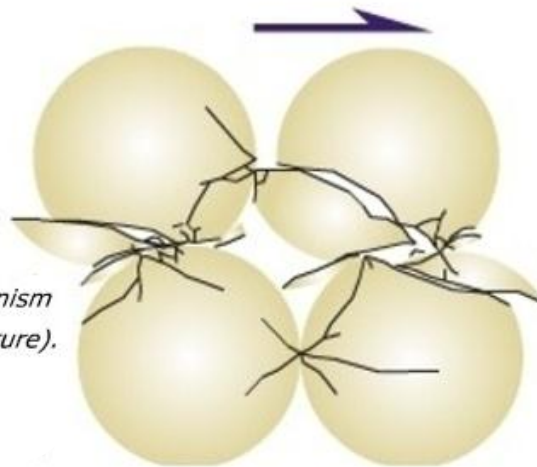
- Frictional grain boundary sliding
- Rigid rotation of grains
- Grain fracture

In a brittle shear zone grains flow through:

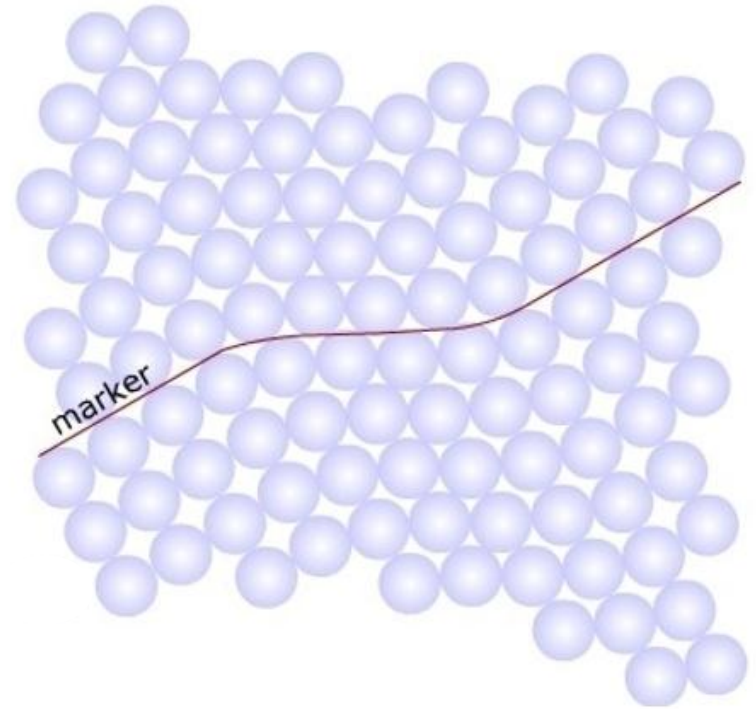
- Granular flow (no grain fracture)
- Cataclastic flow (abundant fracture)



Granular flow (non-cataclastic): grains remain intact.



Cataclastic deformation mechanism (grain fracture).



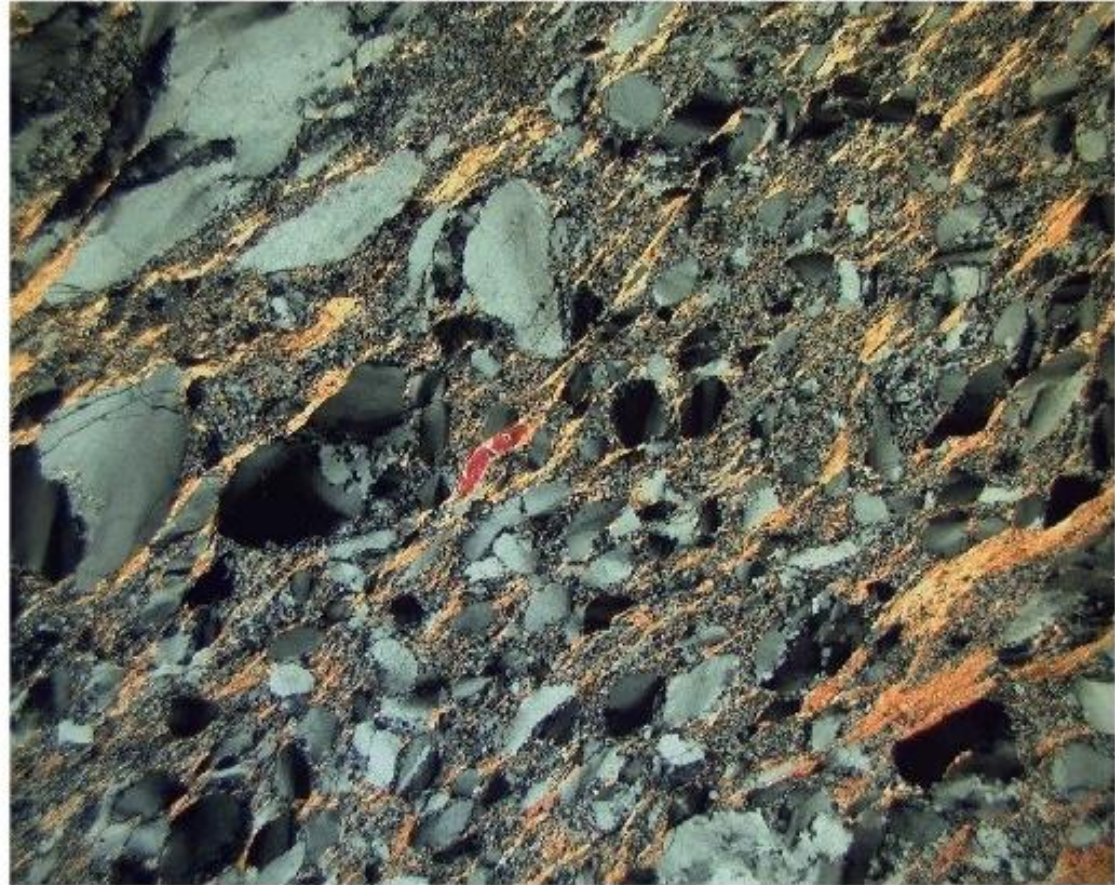
Example of granular flow (non-cataclastic flow). As you can see, this type of flow involves some change in thickness of the zone, in this case compaction.



What deformation mechanisms/processes are plastic?

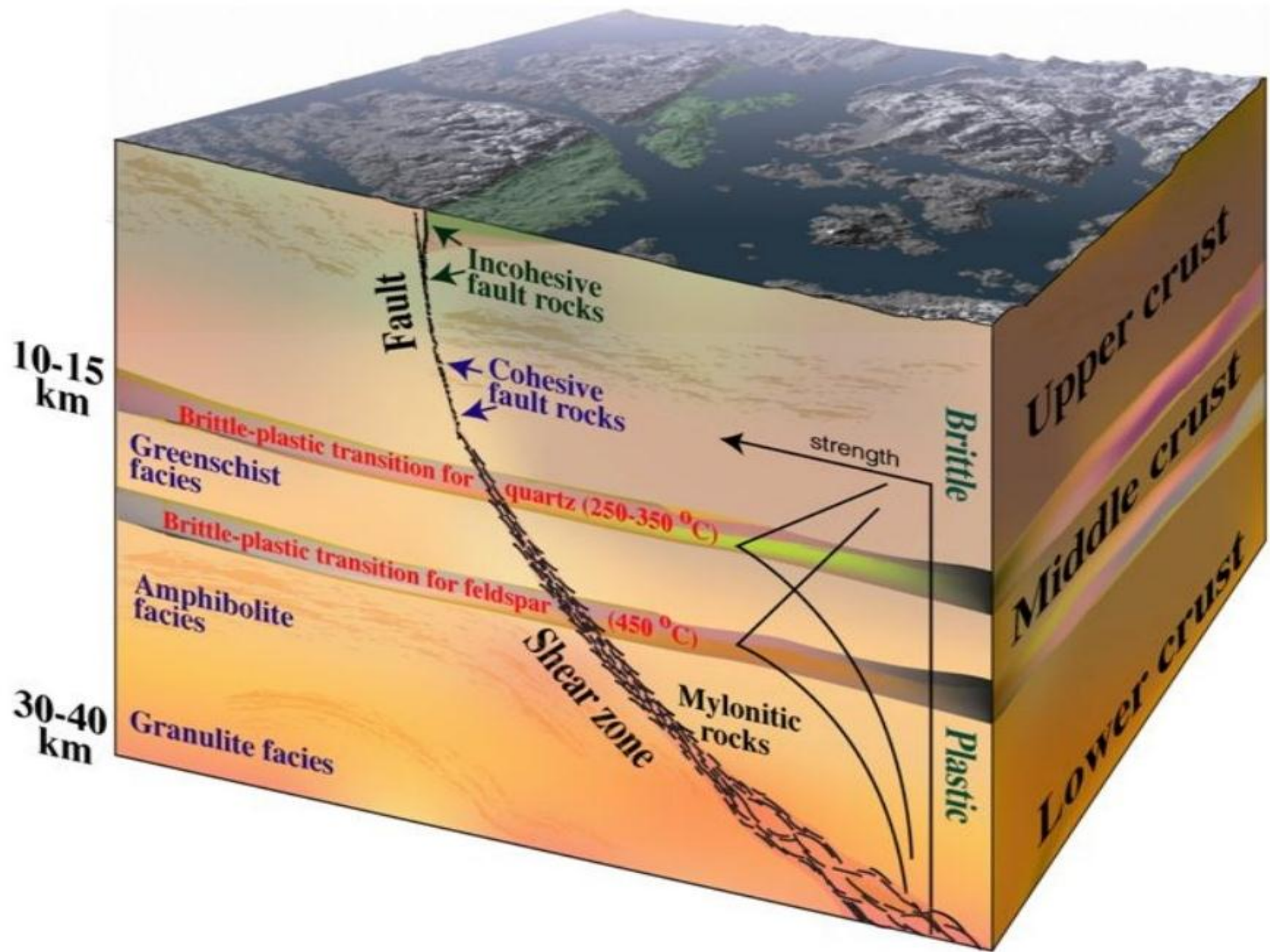
Plastic deformation involves straining minerals and rocks without microscale fracture. Instead grains deform by the movement of imperfections known as dislocations and vacancies. Vacancy movement is diffusion, while dislocations move as atomic bonds are rearranged. Some important plastic mechanisms/processes:

- Diffusional creep (vacancies)
- Dislocation creep (glide and climb)
- Twinning



Example of plastic deformation of impure quartzite (Ruby Gap, Australia). Large quartz grains (grayish) are remnants of the original texture. Dark shadows are expressions of intracrystalline strain (dislocation accumulations). New grains are much smaller. Photo: W. James Dunlap.





Definition

A shear zone is a tabular zone of measurable thickness in which strain is localized, be it by ductile or brittle deformation style, and by brittle or plastic mechanisms.

Classification according to **style**:

Ductile shear zone: One where markers can be followed continuously through the zone.

Brittle-ductile shear zone: Markers are locally displaced by sharp discontinuities (slip surfaces, veins etc.).

Brittle shear zone (fault): Term can be used about fault cores. Discontinuous deformation only.

Classification according to **deformation mechanism**:

Plastic shear zone: Deformation occurs by crystal-plastic mechanisms (dislocation movements etc.) and diffusion.

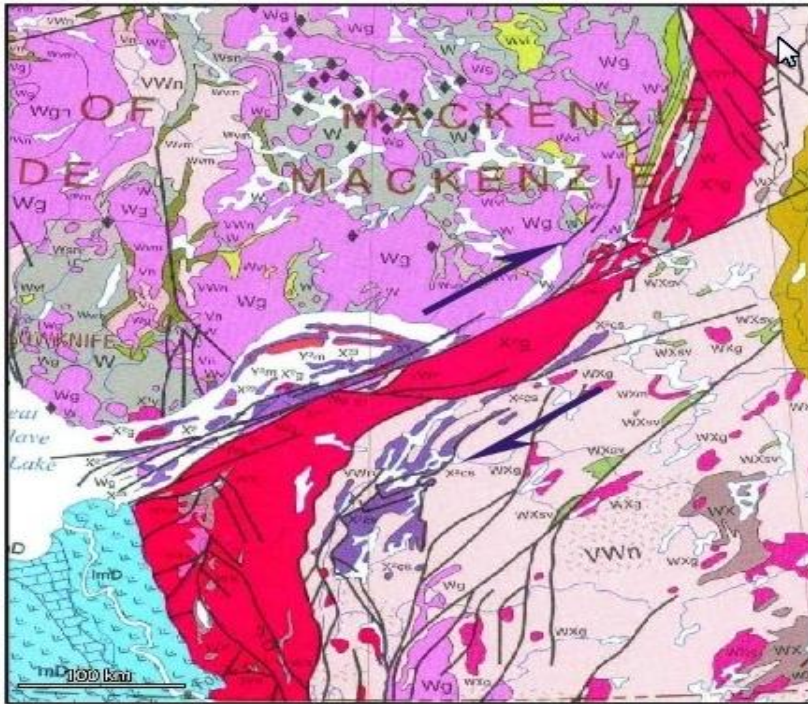
Brittle mechanism shear zone: Deformation is dominated by brittle mechanisms (cataclasis, frictional sliding, rigid rotation).

Classification according to **deformation type**:

Simple shear zone, subsimple shear zone, transpression zone, etc.

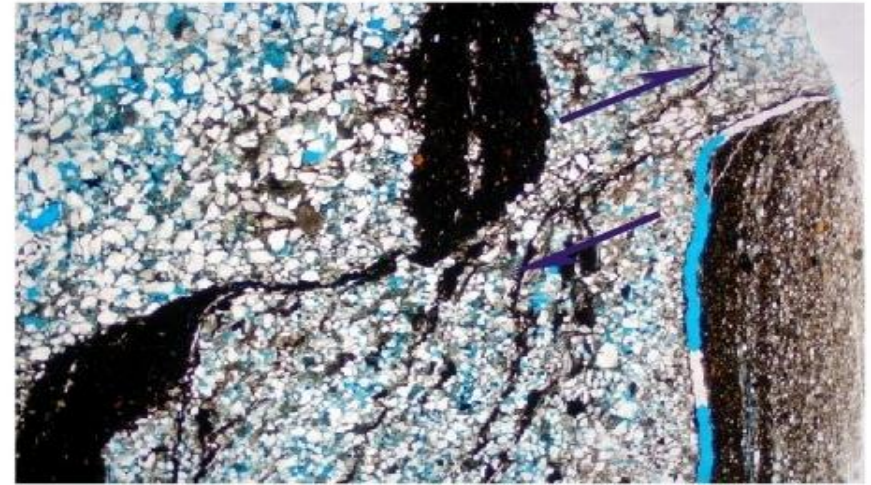


General characteristics



~400 km offset (map scale, Canada)

- Shear zones are tabular zones of strain localization in the crust.
- Shear zones occur on all scales, from thin-section scale to those cutting the entire crust and involving hundreds of kilometers of displacement.



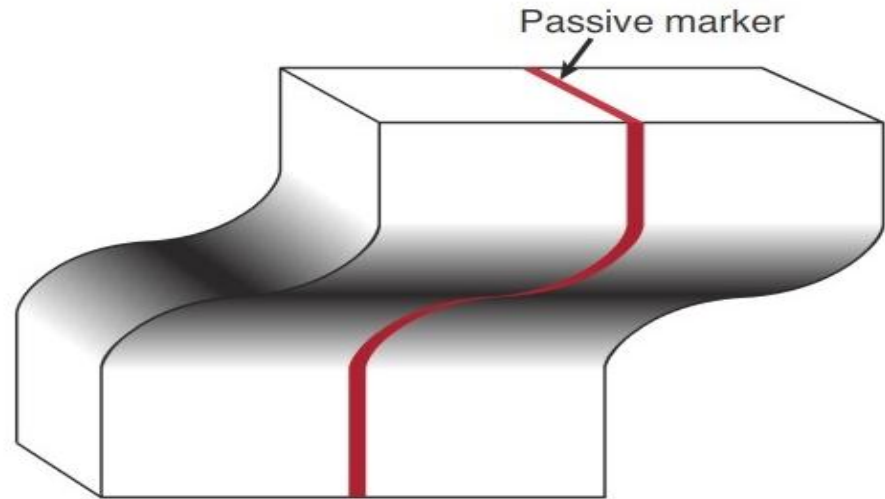
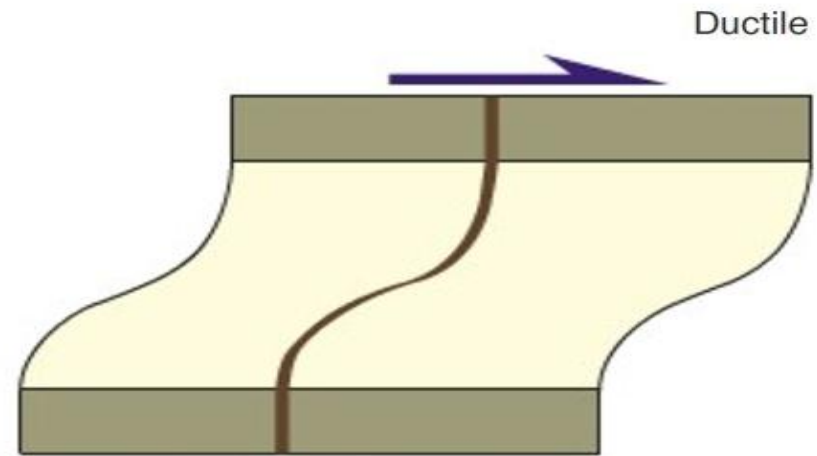
1 cm offset (thin section, sandstone)

- Like faults, shear zones tend to involve a considerable amount of wall-parallel movement (simple shear), but could also be influenced by other deformation types.
- High-strain plastic shear zones develop mylonitic fabrics.
- Just like faults, shear zones may be reverse, normal, strike slip or show oblique displacements.
- Shear zones tend to exhibit lower dips than faults (except in strike-slip settings).



Ductile shear zones

- Passive markers (markers with same viscosity as matrix) can be traced continuously through the zone.
- Ductile shear zones can form both in the plastic and the frictional (brittle) regime.

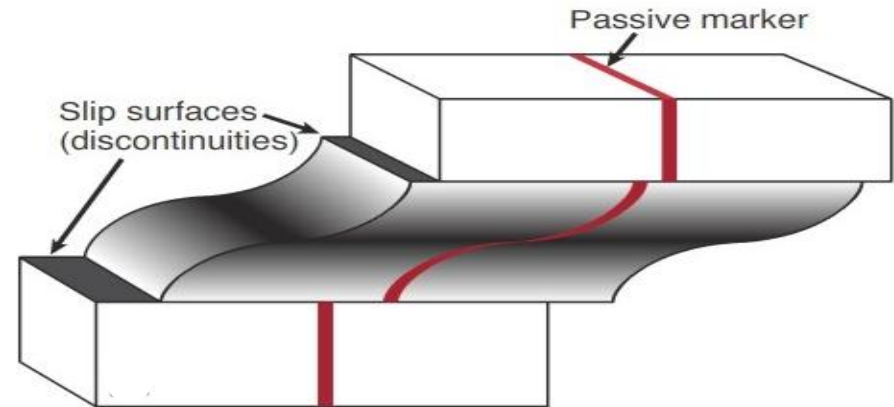
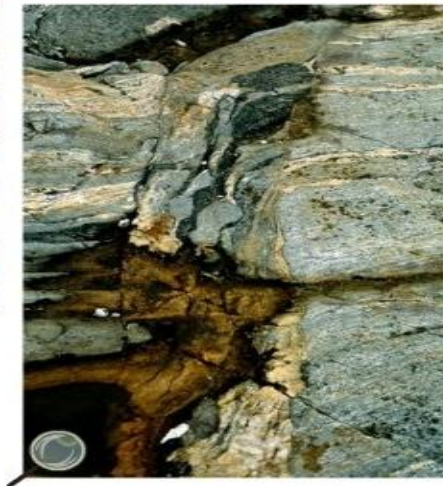
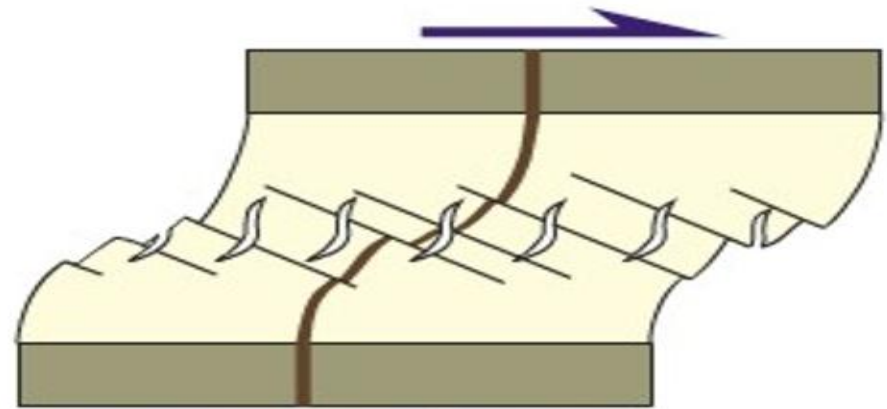


Perfectly ductile shear zone with passive marker



Brittle-ductile shear zones: (Semi-ductile)

- Ductile shear zones with a subsidiary component of brittle deformation are often called **semi-ductile**.
- Markers are affected by sharp discontinuities (slip surfaces). Such discontinuities can be related to weak layers or laminae in the rock (e.g. mica-rich layers in gneisses).
- Brittle-ductile shear zones commonly form near the brittle-plastic transition, but can also form at other depths.

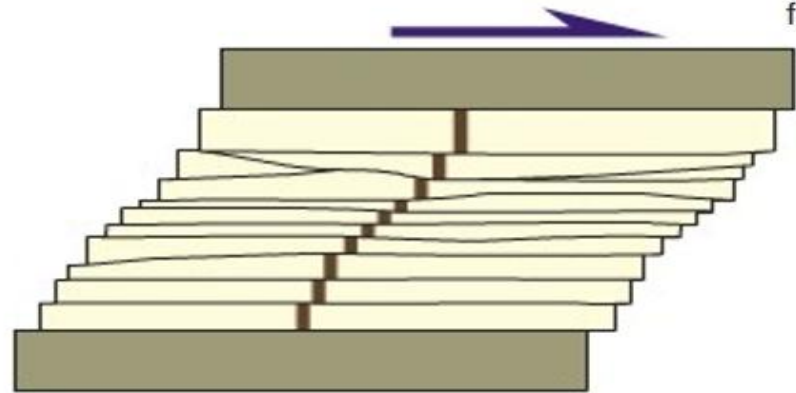


Brittle-ductile shear zones show combinations of continuous and discontinuous deformation.



Brittle shear zones

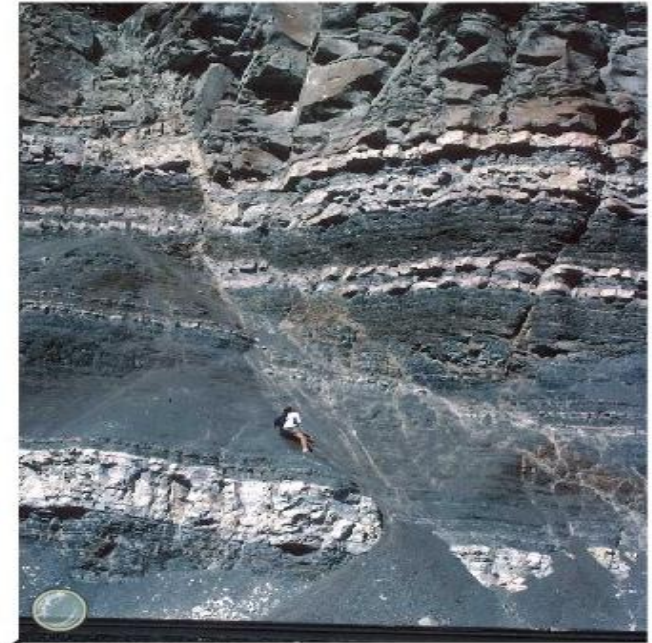
- Markers are displaced by sharp discontinuities with negligible ductile strain.
- They generally form at shallow crustal depths, and involve brittle deformation mechanisms.
- Faults and fault zones are the most common type of brittle shear zones.
- A single slip surface (fault surface) is not a brittle shear zone because it is too thin relative to its offset.



Brittle style:
fault zone



Brittle shear zone in porous sandstone.



Brittle shear zone (fault) in sedimentary rocks.



Plastic shear zones

- Dominated by plastic (non-frictional) deformation mechanisms.
- Ductile, meaning that passive markers can be traced continuously through the zone.
- Form in middle- and lower crust.
- Only in evaporites can they form at shallow depths.
- Can be many kilometers thick.



Strain classes of plastic shear zones

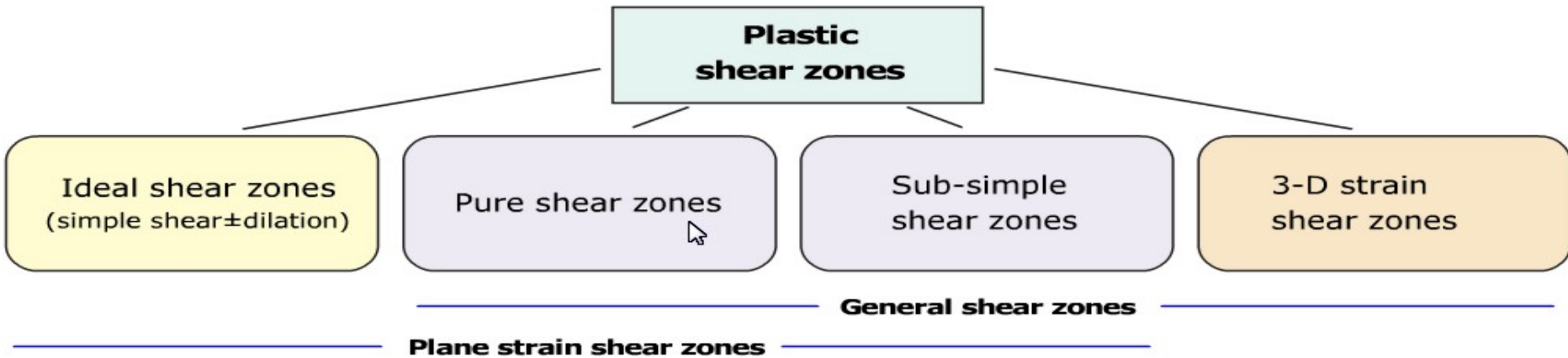
There is an ideal model of a shear zone (which no shear zones completely comply with) and more general shear zone types.

An **ideal shear zone** is one that formed under simple shear with or without additional compaction/dilation.

- Parallel, planar walls
- Constant displacement and identical displacement profiles across different portions of the zone
- Undeformed walls
- Deformation is simple shear \pm dilation/compaction perpendicular to the zone

A **general shear zone** does not have this restriction, and can experience various combinations of pure and simple shear.

- General shear zones can have non-planar walls
- Deformation/strain could in principle be "anything", but commonly has a significant simple shear component



Ideal shear zones

- **Parallel walls:**

- The boundary of the shear zone, i.e. the upper and lower limit for the deformation associated with the zone, must be perfectly straight and parallel.

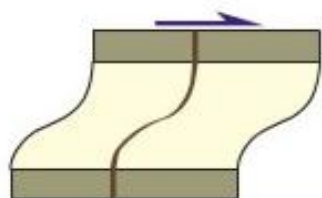
- **Identical displacement profile across different portions of the zone:**

- The strain distribution is equal along any two profiles across the zone. Moving along the zone, strain must be constant at a fixed distance from the margin.

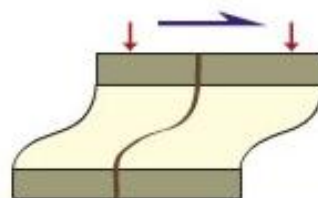
- **Strain:**

- Only simple shear with or without additional dilation/compaction across the zone. Compaction is more common than dilation (a word that is sometimes used about both compaction and dilation by some structural geologists), hence we will focus on compaction in this module.
- At the other end of the spectrum are pure compaction (or dilation) zones.

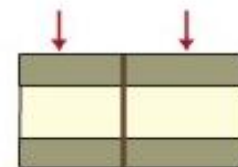
All of these requirements clearly break down towards the tip of the shear zone as strain and thickness decrease and eventually zero out.



Simple shear zones



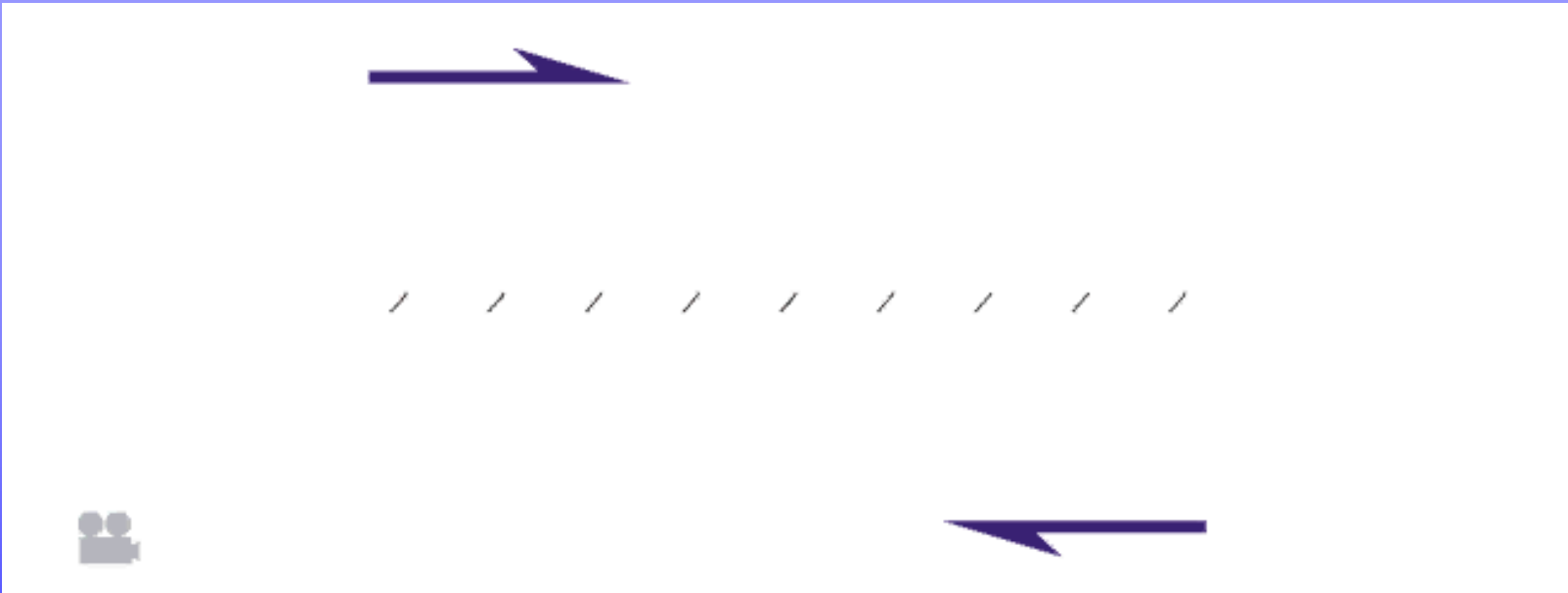
**Simple shear +
Compaction zones**



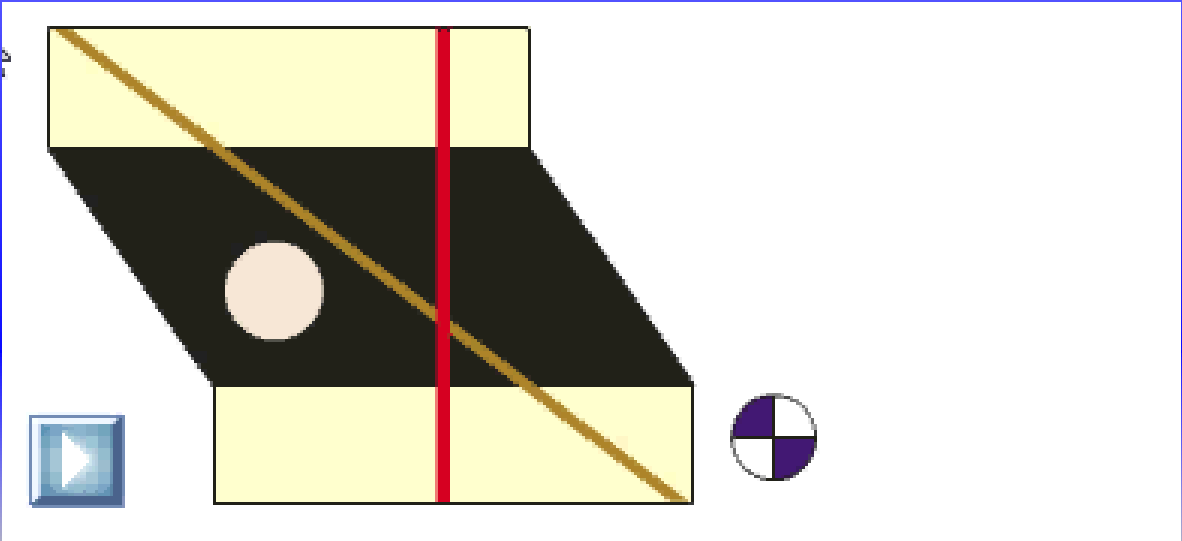
**Compaction
zones**



Simple Shear



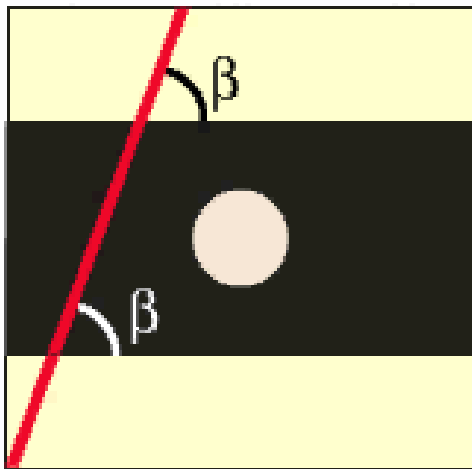
Foliation

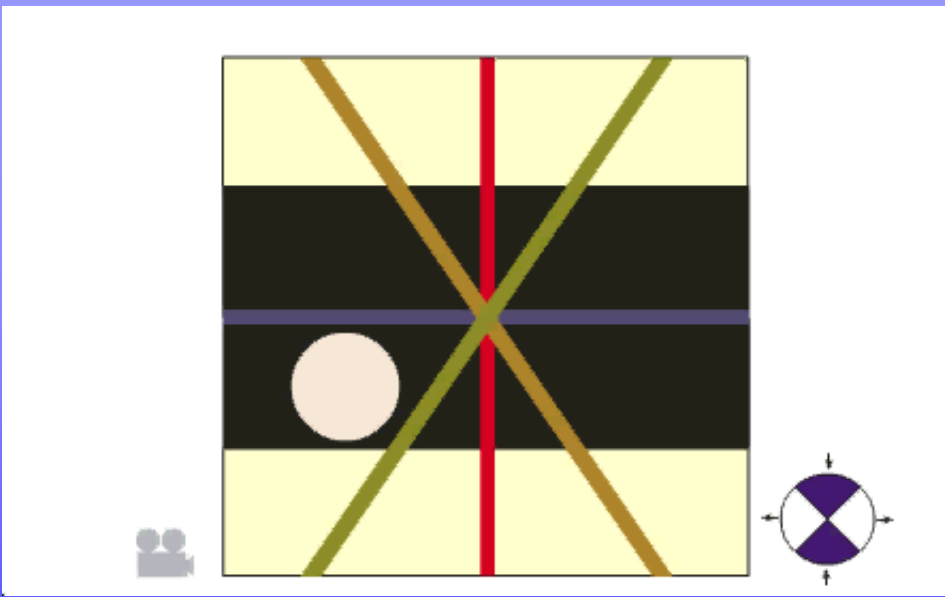


- Boudinage
- Boudinaged Folds



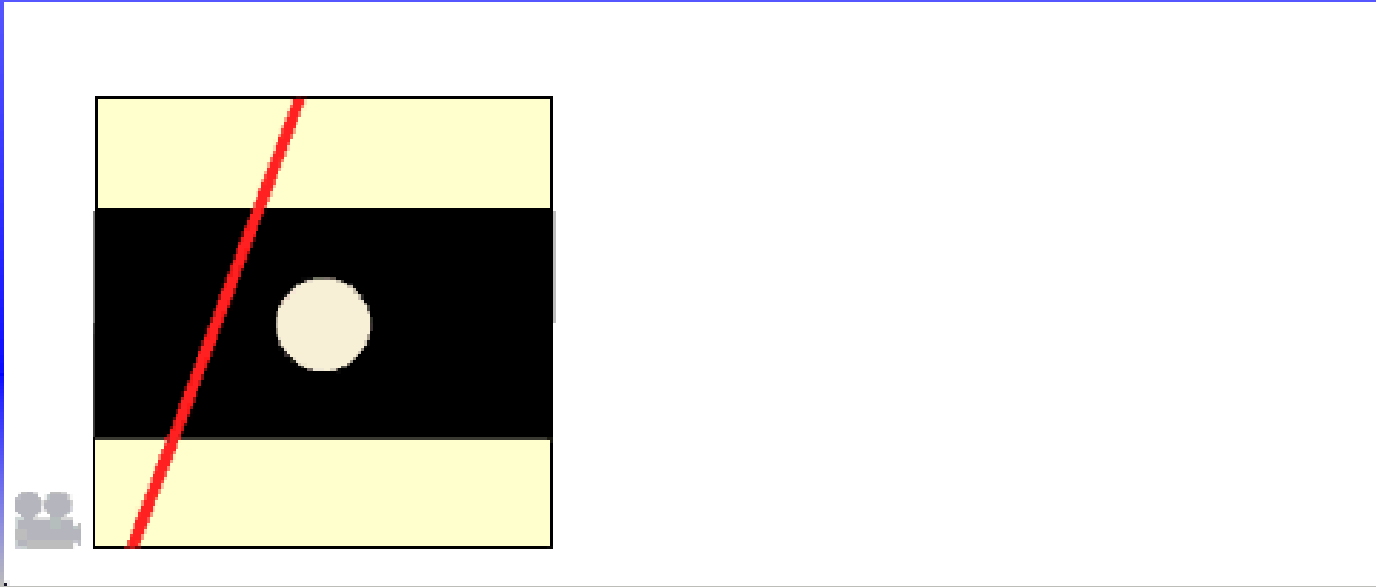
Compactional Shear Zones





Subsimple Shear
(Simple Shear + Pure Shear)

Pure Shear

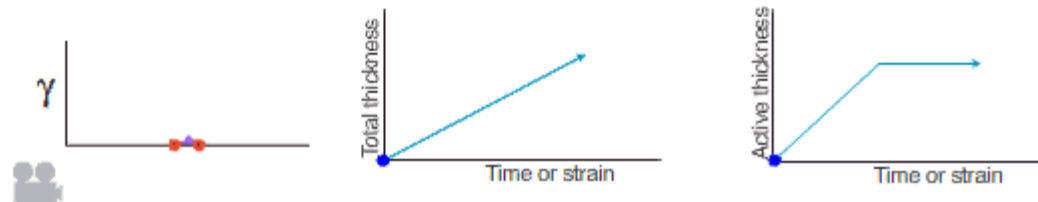


Type I

- Type I shear zones expand into its walls and thus becomes thicker with increasing offset.
- The central part of the zone is left behind (inactive) as the walls are being strained.
- The result is a flat peak in the strain profile in the central, inactive part of the zone.
- This type of development is normally attributed to strain hardening.

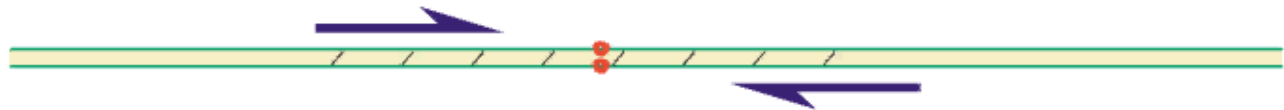


Type I

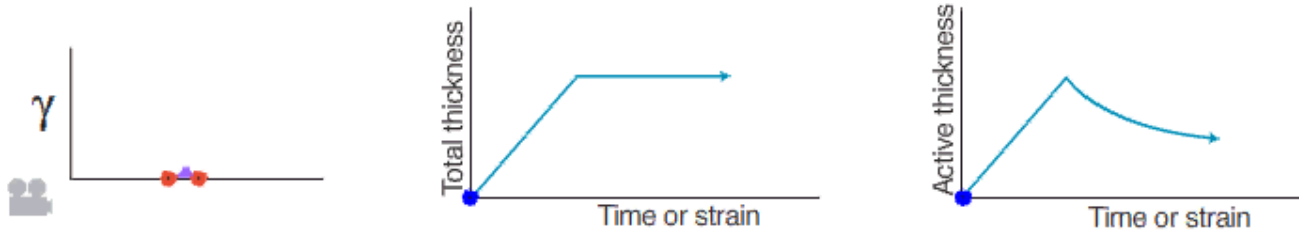


Type II

- Type II shear zones expand only for a limited period of time.
- Then the margins are left inactive, and all further deformation is concentrated in the central part of the zone.
- The result is a steep peak in the central part of the strain profile across the zone.
- This type of shear zone is normally explained by strain softening.

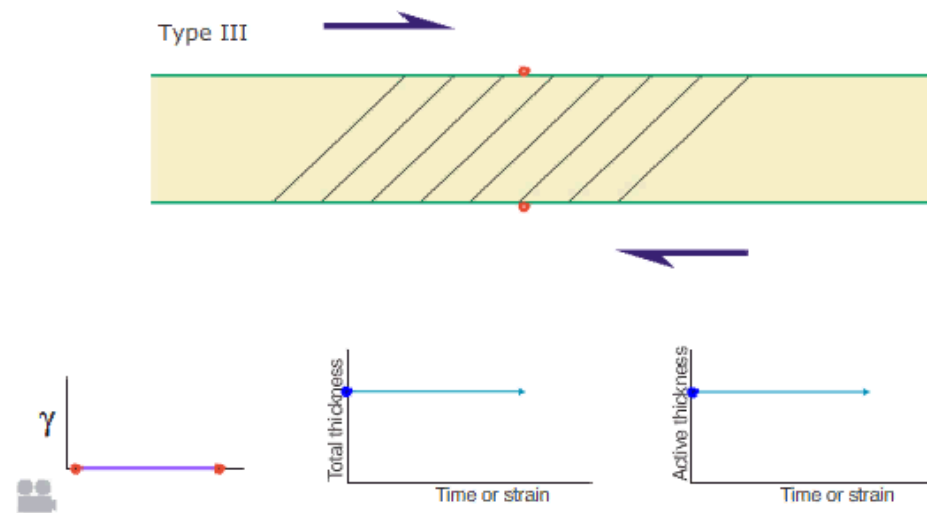


Type II



Type III

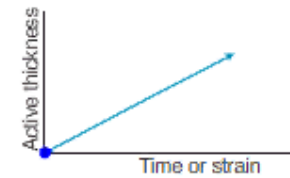
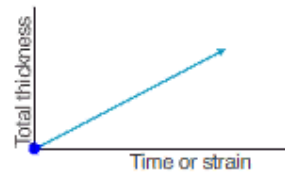
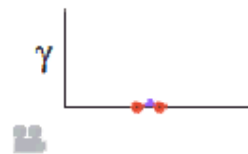
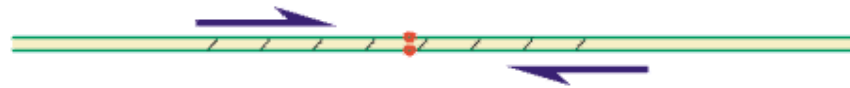
- Type III shear zones initiate with a certain thickness.
- This shear zone thickness remains constant, and the entire zone is always active.
- The result is a flat strain profile.
- This type of shear zone involves no pronounced softening or hardening mechanisms.
- Some kink-bands may represent shear zones of this type.



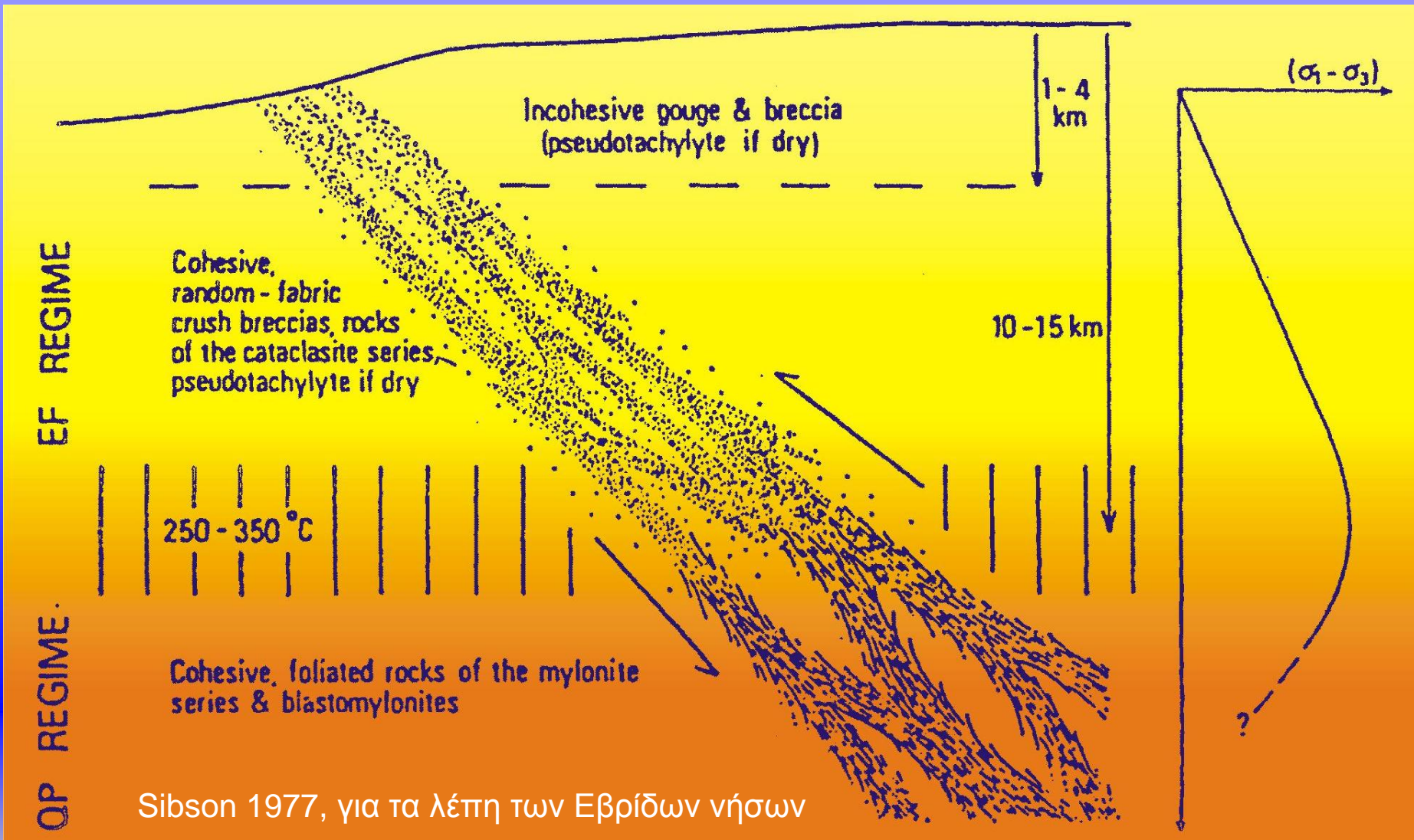
Type IV

- Type IV shear zones expand continuously during their lifetime.
- The entire zone is always active.
- The result is a steep peak-shaped strain profile through the zone.

Type IV



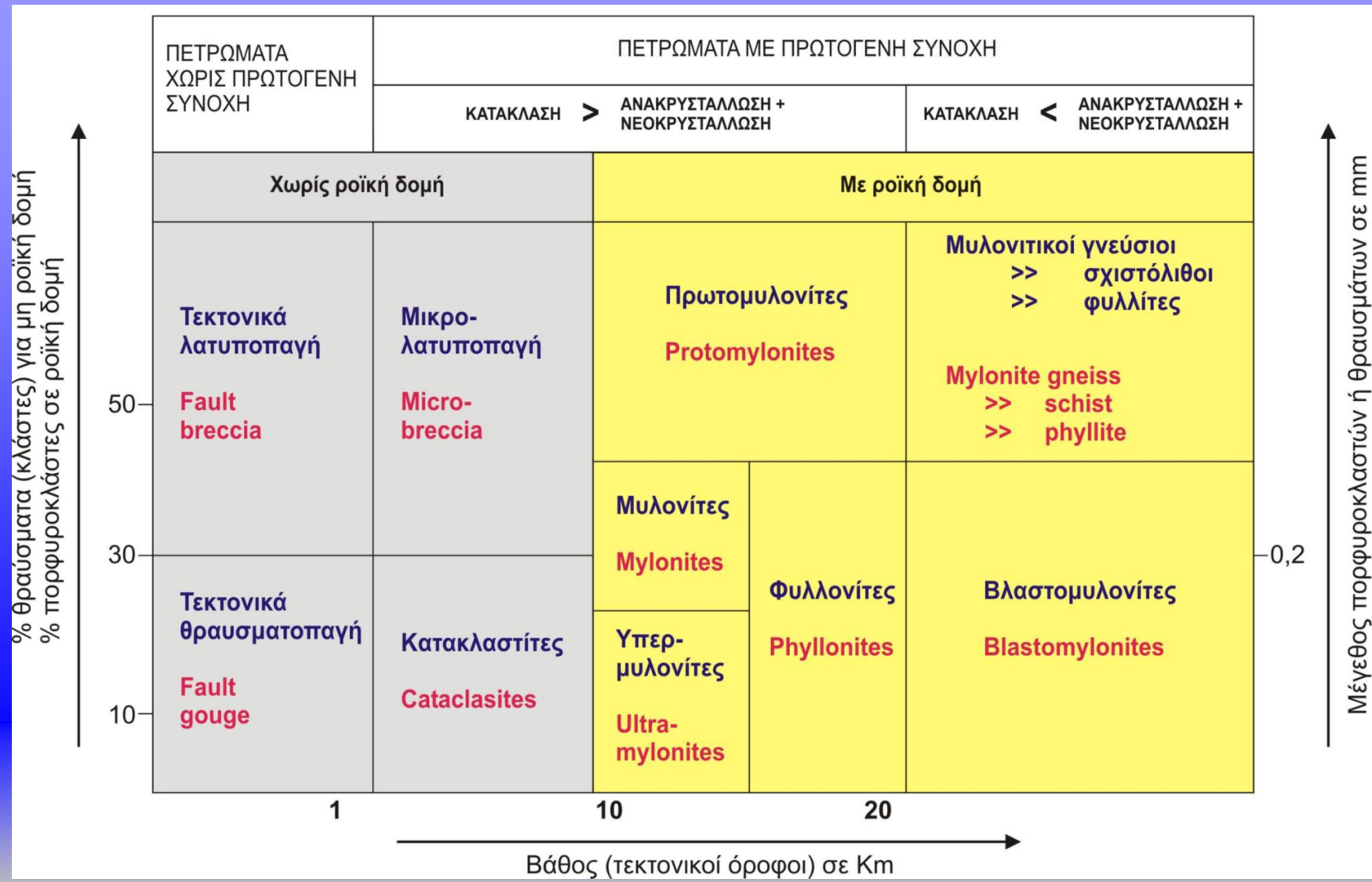
Fault Related Rocks



Sibson 1977, για τα λέπτη των Εβρίδων νήσων



Fault Related Rocks



Higgins 1971
Lapworth's 1885
(Moine Thrust ΒΔ Σκωτία)

Fault Related Rocks

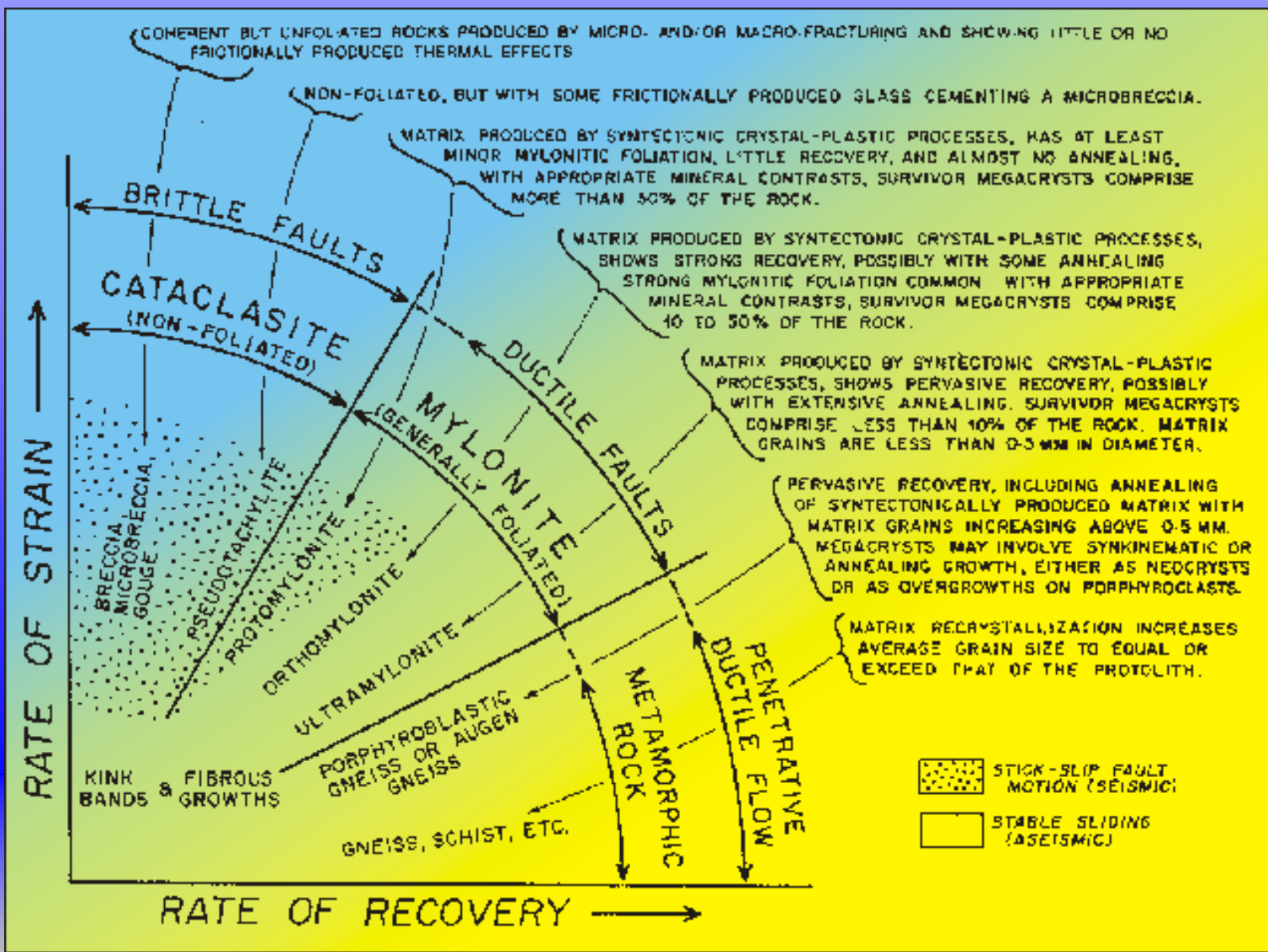
		RANDOM - FABRIC	FOLIATED				
INCOHESIVE		FAULT BRECCIA (visible fragments >30% of rock mass)			?		
		FAULT GOUGE (visible fragments <30% of rock mass)			?		
	Glass/dewittified glass	PSEUDOTACHYLYTE			?		
COHESIVE	MATURE OF MATRIX Tectonic reduction in grain size dominates grain growth by recrystallisation & neomineralisation	CRUSH BRECCIA	(fragments > 0.5 cm)		PROPORTION OF MATRIX	0 - 10%	
		FINE CRUSH BRECCIA	(0.1cm < frags. < 0.5cm)			10 - 50%	
		CRUSH MICROBRECCIA	(fragments < 0.1 cm)			50 - 90%	
		PROTOCATACLASITE	PROTOMYLONITE		90 - 100%		
		CATACLASITE	Cataclasite Series	PHYLONITE VARIETIES	Mylonite Series		
		ULTRACATACLASITE				MYLONITE	
			ULTRAMYLONITE				
	Grain growth pronounced	?	BLASTOMYLONITE				

Sibson 1977



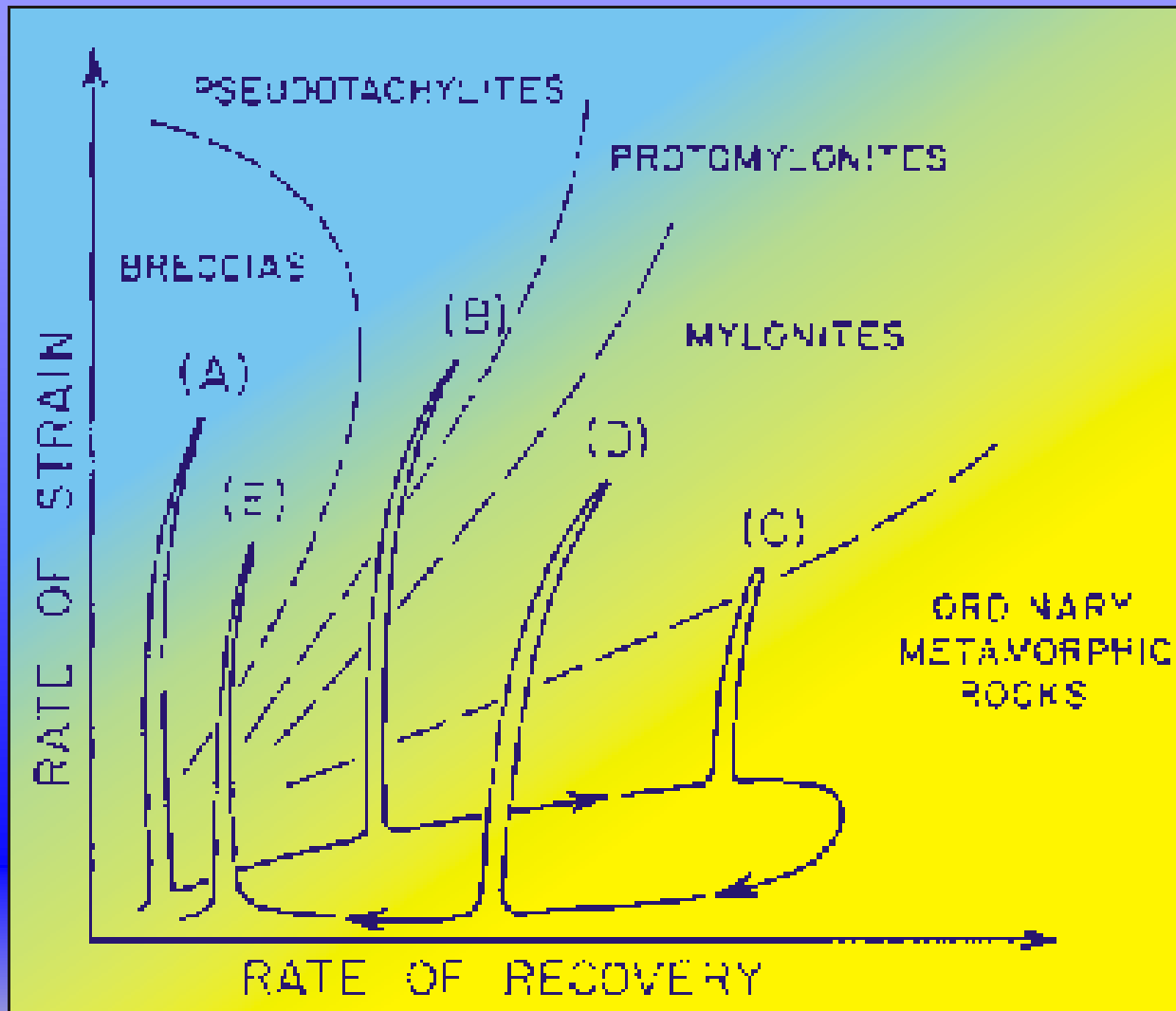
Fault Related Rocks

Whise et al. 1984



Fault Related Rocks

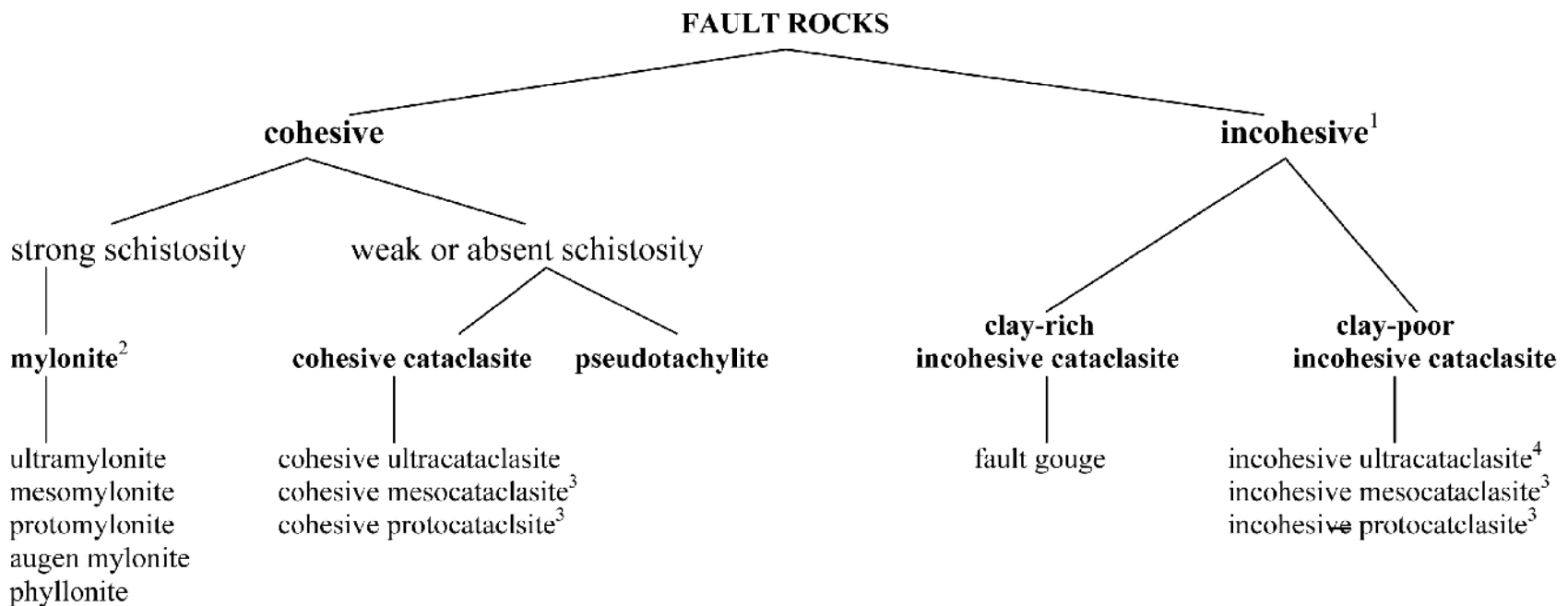
Whise et al. 1984



Fault Related Rocks

www.bgs.ac.uk/scmr/home.html

Fig. 2.3.1. Organogram for fault rocks



1. incohesive (incoherent, friable, uncemented): capable of being broken into component granules with fingers or with the aid of a pen knife.
2. cohesive and foliated cataclasite is indistinguishable in the field from a mylonite.
3. coarse-grained cataclasite may also be termed 'fault breccia' (with the prefix cohesive or incohesive).
4. incohesive very fine grained ultracataclasite may also be termed 'fault gouge'.

Note: the incohesive rock names may be subdivided into foliated and non-foliated varieties.



Fault Related Rocks

		non-foliated	foliated	
>30% large clasts >2 mm	75-100% large clasts (>2 mm)	fault breccia	crackle breccia	
	60-75% large clasts (>2 mm)		mosaic breccia	
	30-60% large clasts (>2 mm)		chaotic breccia	
<30% large clasts >2 mm	incohesive ¹		fault gouge	
	cohesive	glass or devitrified glass	pseudotachylite	
		0-50% matrix (<0.1 mm)	protocataclasite	protomylonite
		50-90% matrix (<0.1 mm)	(meso)cataclasite	(meso)mylonite
		90-100% matrix (<0.1 mm)	ultracataclasite	ultramylonite
		pronounced grain growth		blastomylonite²

¹incohesive at present outcrop

²some blastomylonites have >30% large porphyroclasts

Woodcock & Mort 2008



Fault Related Rocks

a)		non-foliated	foliated	
>30% large clasts >2 mm	75-100% large clasts (>2 mm)	fault breccia	crackle breccia	
	60-75% large clasts (>2 mm)		mosaic breccia	
	30-60% large clasts (>2 mm)		chaotic breccia	
<30% large clasts >2 mm	incohesive ¹		fault gouge	
	cohesive	glass or devitrified glass	pseudotachylyte	
		0-50% matrix (<0.1 mm)	protocataclasite	protomylonite
		50-90% matrix (<0.1 mm)	(meso)cataclasite	(meso)mylonite
		90-100% matrix (<0.1 mm)	ultracataclasite	ultramylonite
		pronounced grain growth		blastomylonite²

¹incohesive at present outcrop

²some blastomylonites have >30% large porphyroclasts

b)		non-foliated	foliated	
>30% large clasts >2 mm	75-100% large clasts (>2 mm)	fault breccia	crackle breccia	
	60-75% large clasts (>2 mm)		mosaic breccia	
	30-60% large clasts (>2 mm)		chaotic breccia	
<30% large clasts >2 mm	incohesive ¹		fault gouge	
	cohesive	0-50% matrix (<0.1 mm)	protocataclasite	protomylonite
		50-90% matrix (<0.1 mm)	(meso)cataclasite	(meso)mylonite
		90-100% matrix (<0.1 mm)	ultracataclasite	ultramylonite
		glass or devitrified glass	pseudotachylyte	
		pronounced grain growth		blastomylonite²

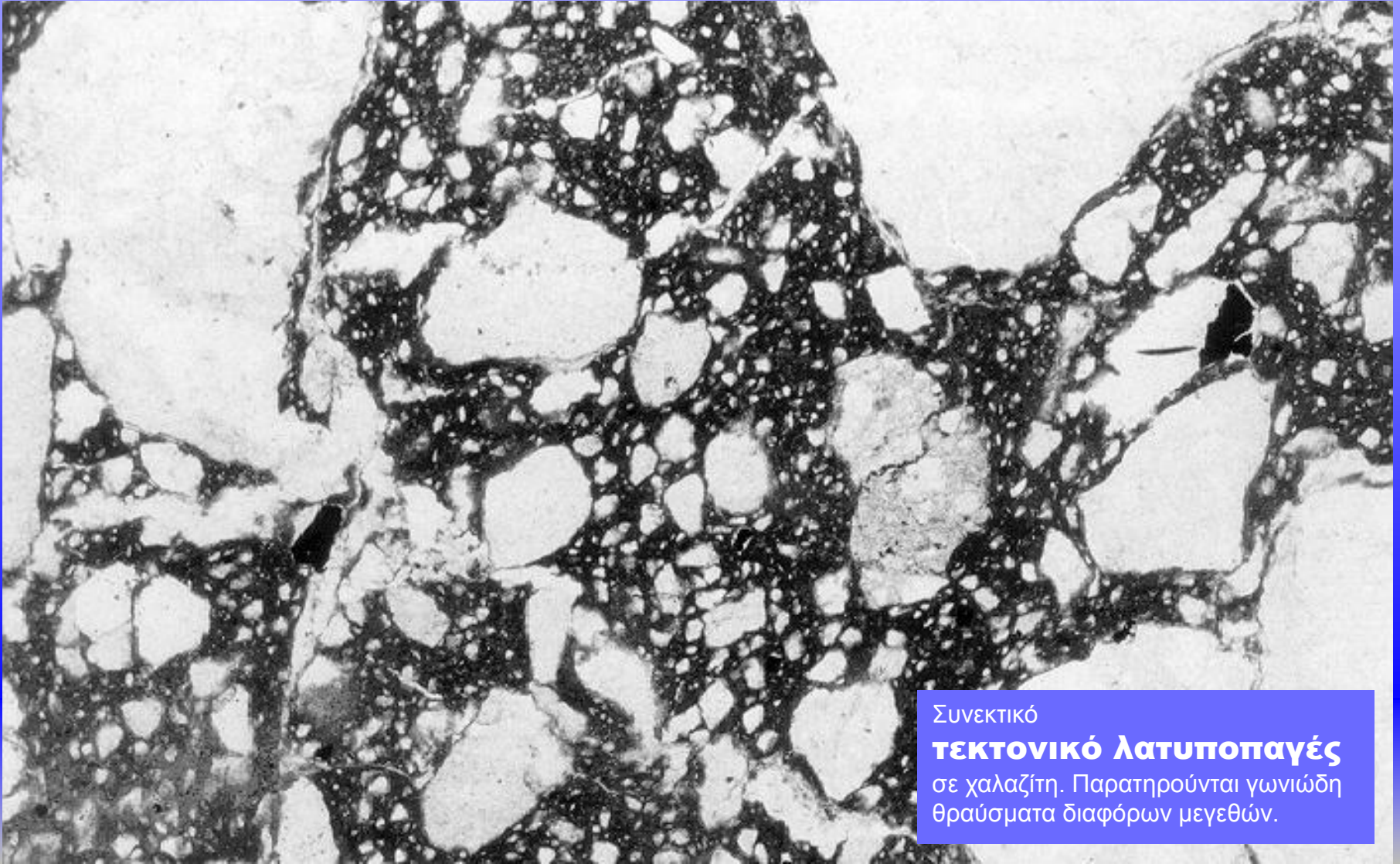
¹incohesive at present outcrop

²some blastomylonites have >30% large porphyroclasts

Magloughlin 2010



Fault Related Rocks



Συνεκτικό

Τεκτονικό Λατυποπαγές

σε χαλαζίτη. Παρατηρούνται γωνιώδη θραύσματα διαφόρων μεγεθών.



Fault Related Rocks

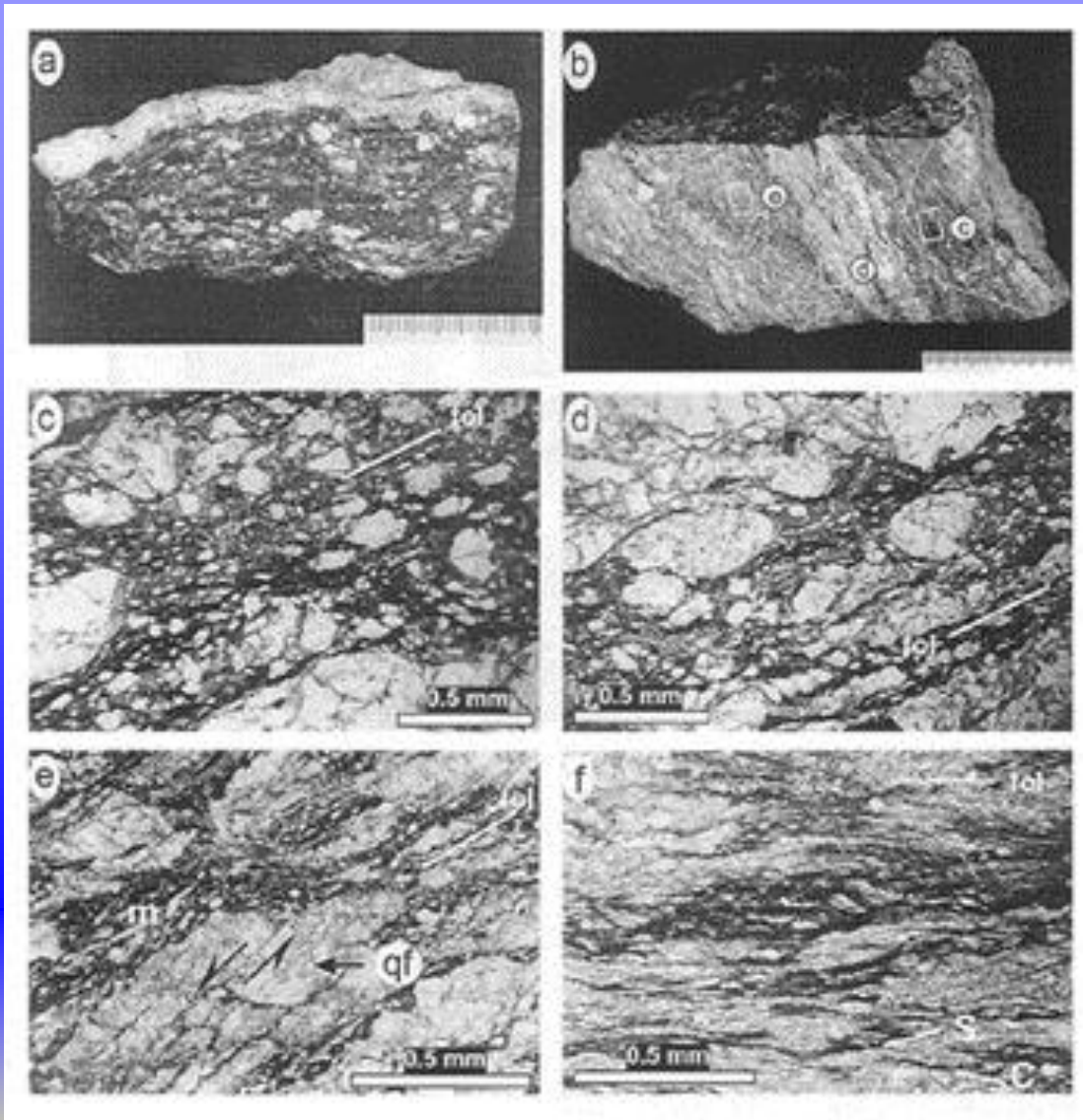


Ψευδοταχυλίτης

σε αμφιβολίτη που τέμνει τη φύλλωση του πετρώματος. Διακρίνεται μια επιφάνεια γένεσης (generation surface) και μια φλέβα ψεκασμού? (injection vein).



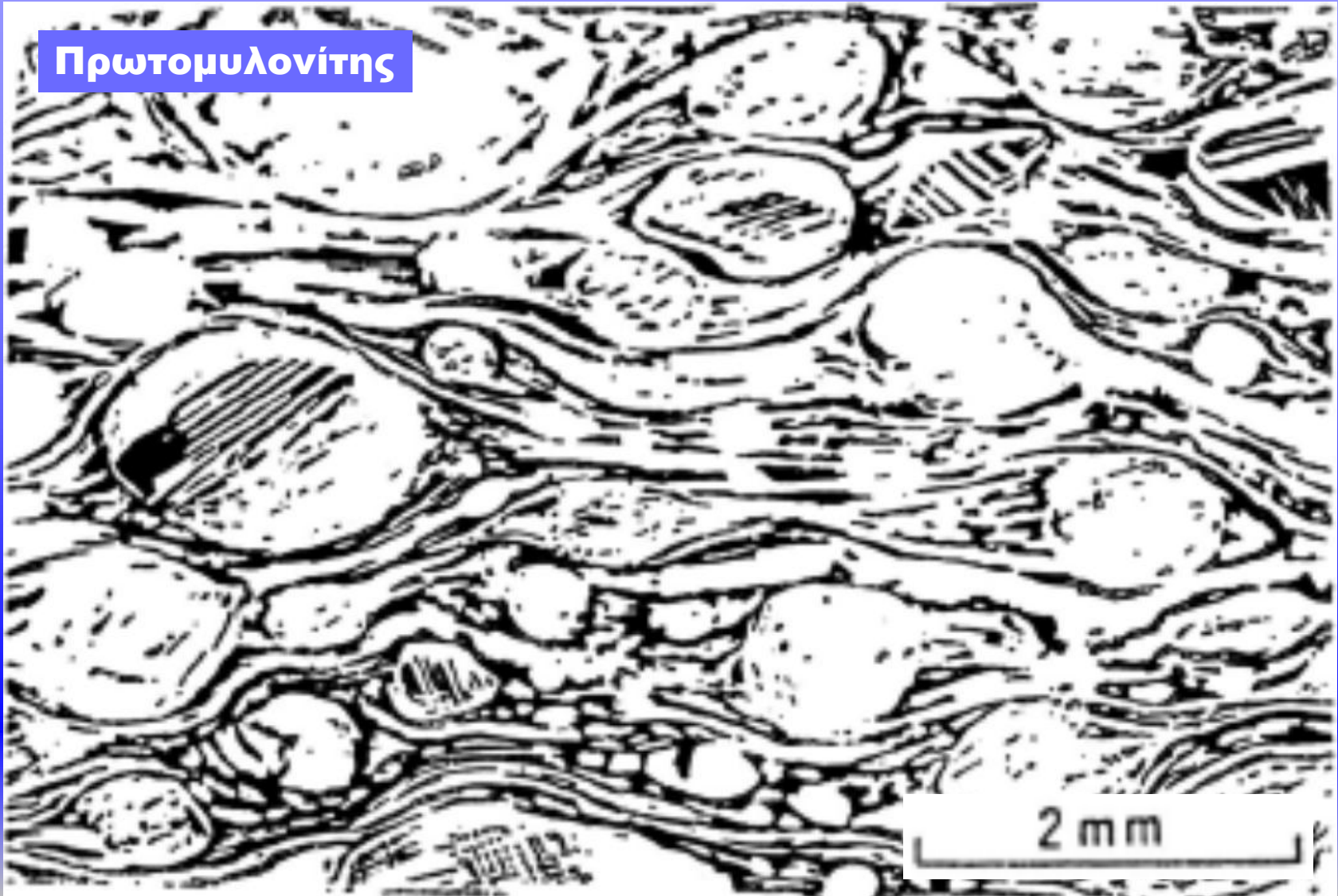
Fault Related Rocks



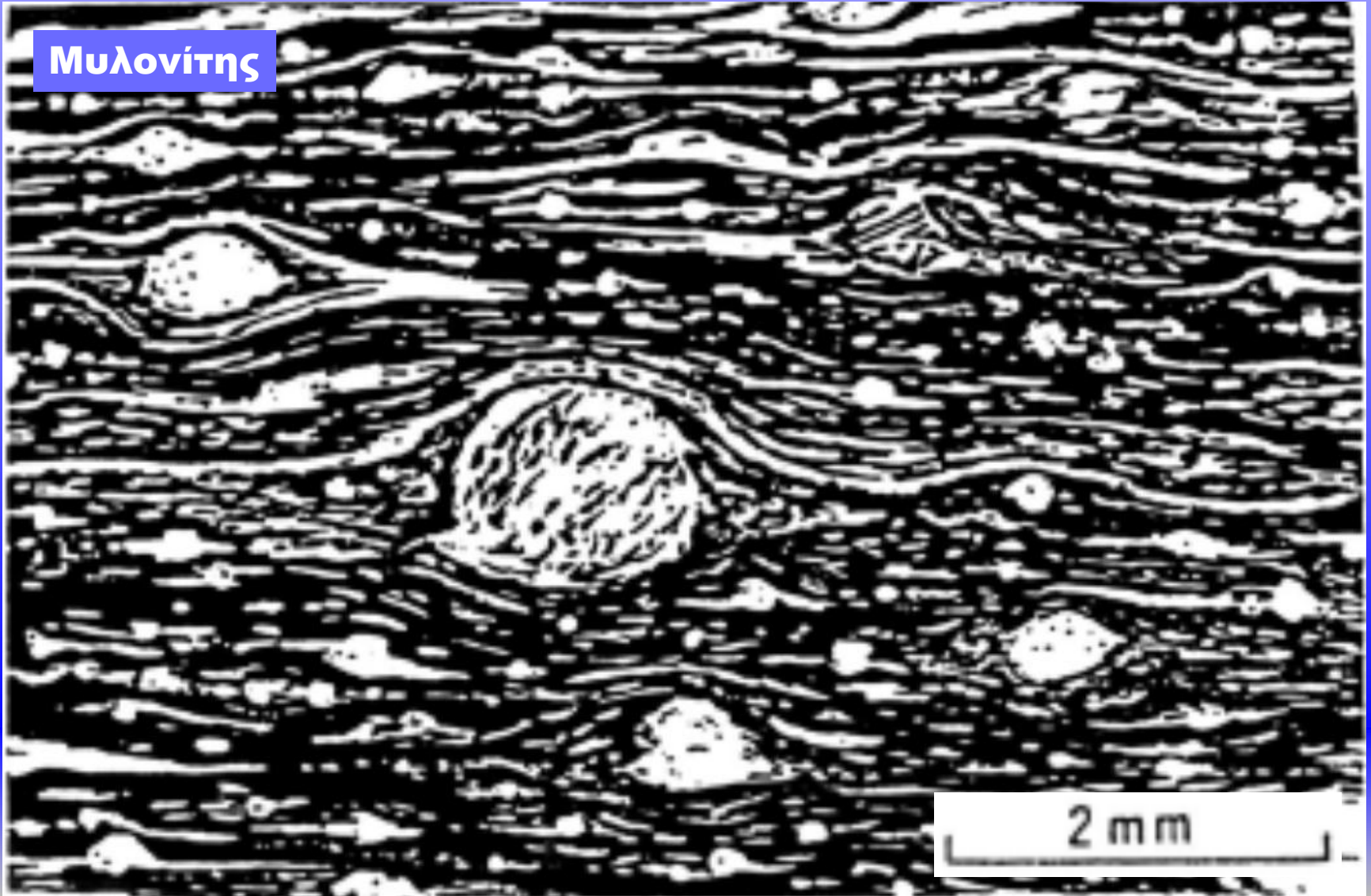
**Foliated
Cataclasite**



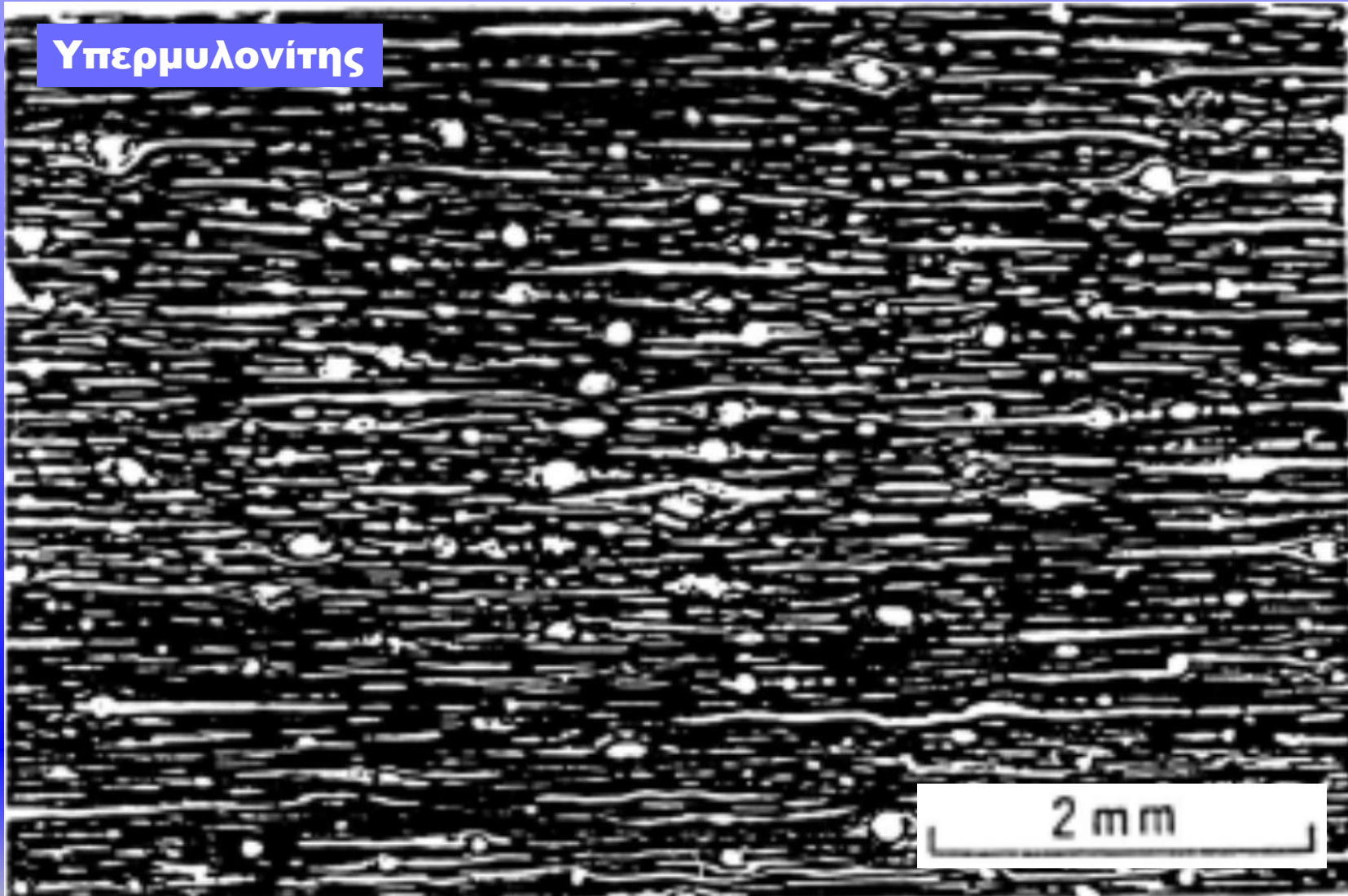
Πρωτομυλονίτης



Μυλονίτης



Υπερμυλονίτης



Fault Related Rocks



Πρωτομυλονίτης



Fault Related Rocks



Πρωτομυλονίτης



Fault Related Rocks



Μυλονίτης



Fault Related Rocks



Υπερμυλονίτης



Fault Related Rocks



Υπερμυλονίτης



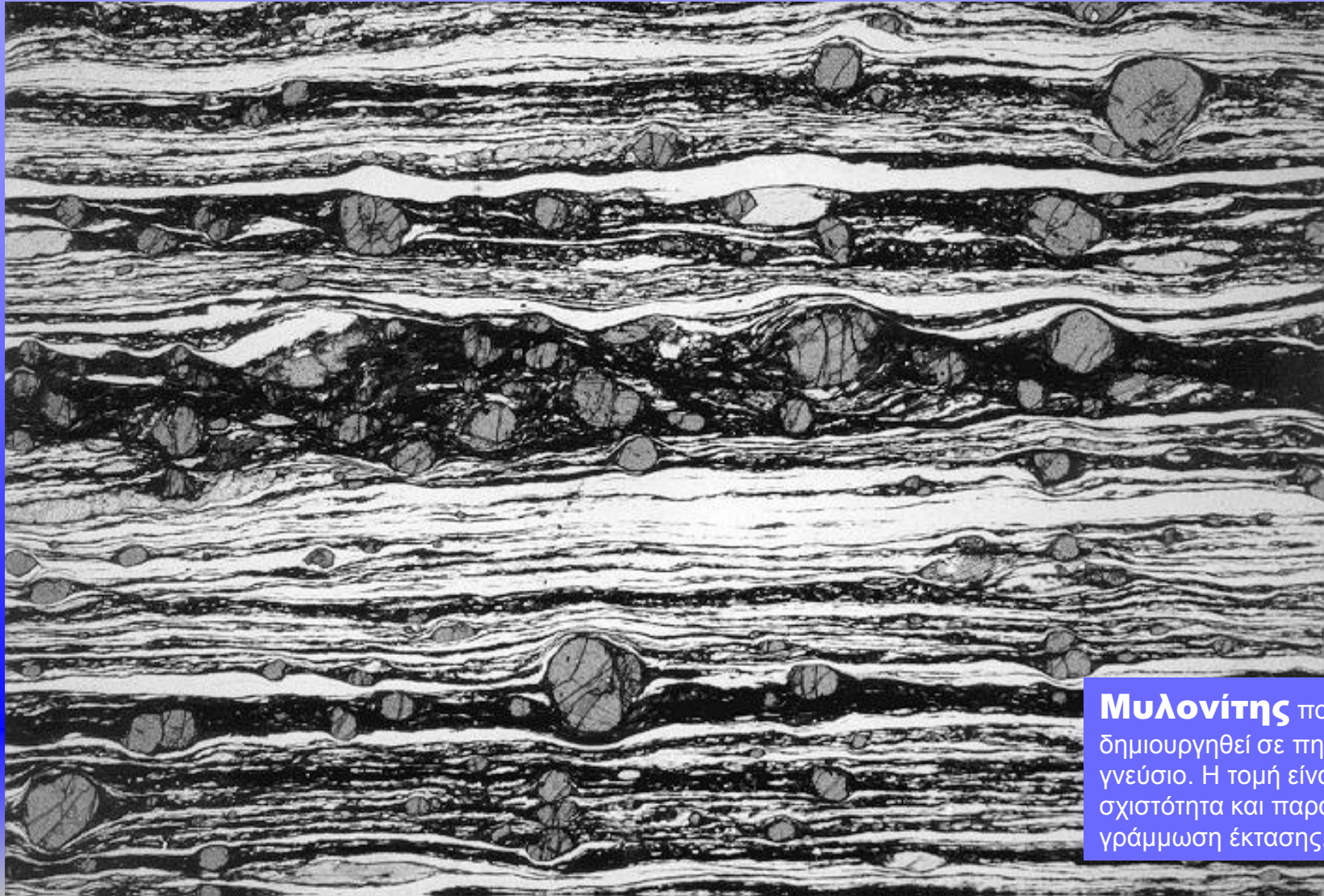
Fault Related Rocks



Υπερμυλονίτης



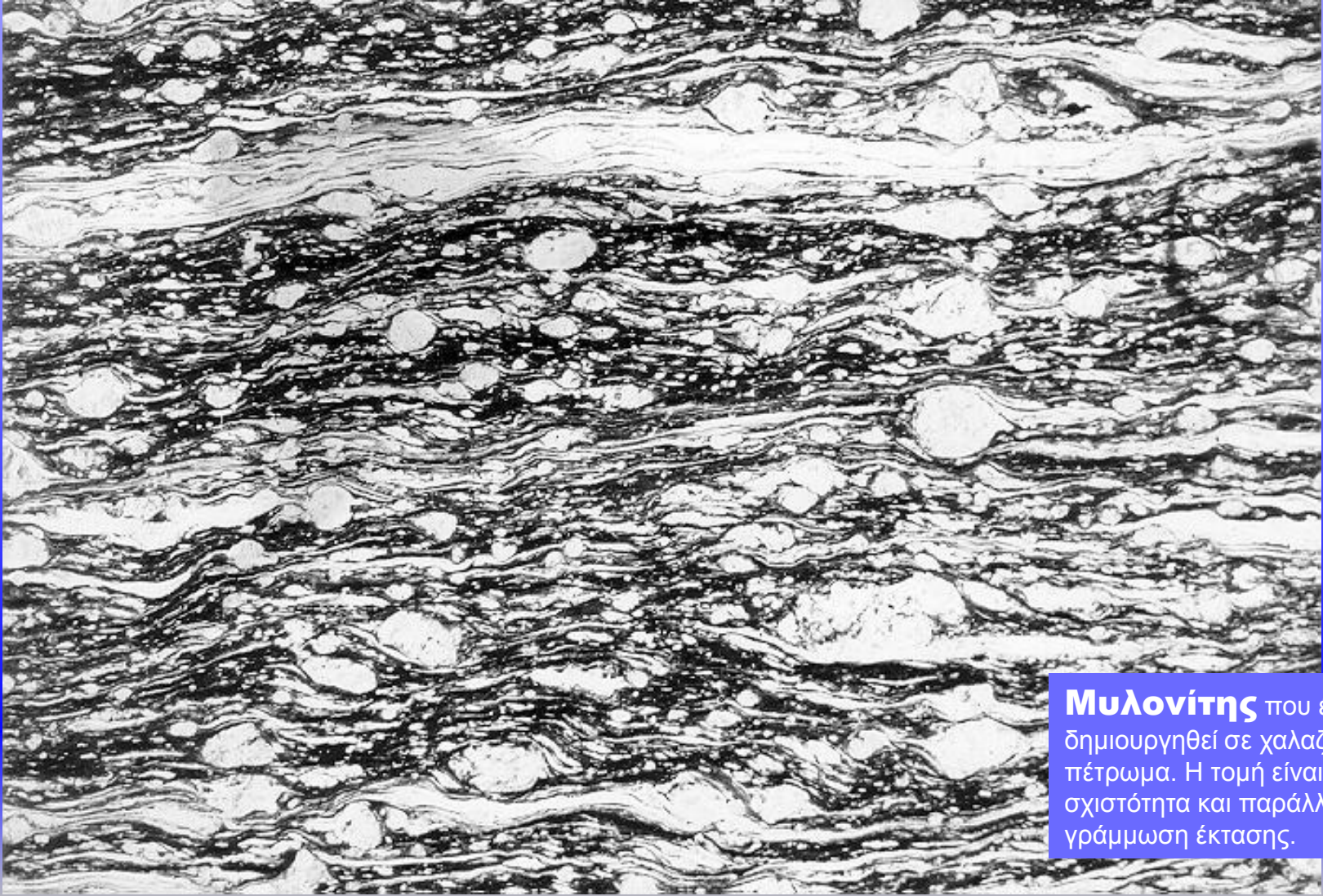
Fault Related Rocks



Μυλονίτης που έχει δημιουργηθεί σε πηλιτικό γνεύσιο. Η τομή είναι κάθετη στη σχιστότητα και παράλληλη στη γράμμωση έκτασης.



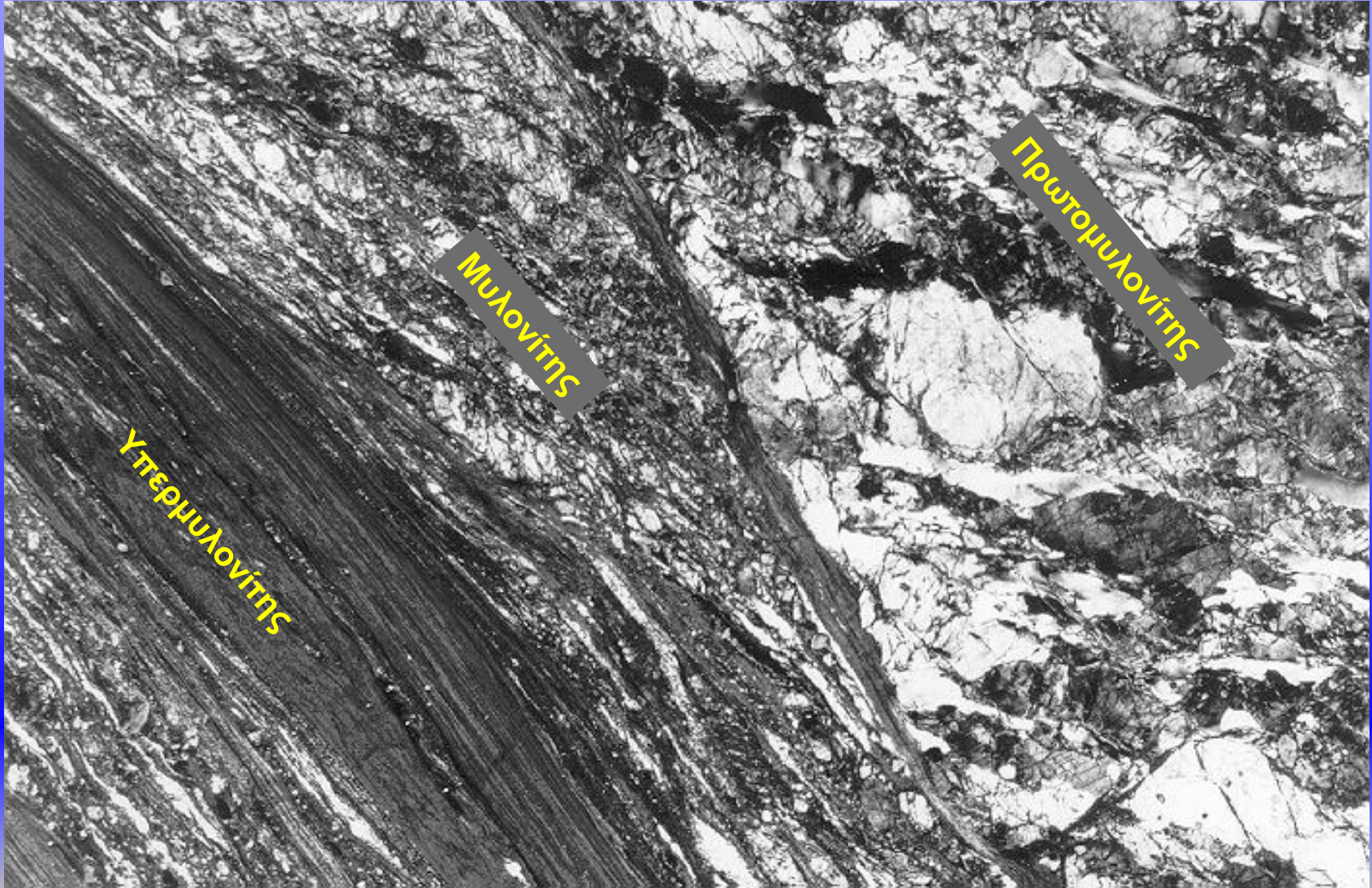
Fault Related Rocks



Μυλονίτης που έχει δημιουργηθεί σε χαλαзо-αστριούχο πέτρωμα. Η τομή είναι κάθετη στη σχιστότητα και παράλληλη στη γράμμωση έκτασης.



Fault Related Rocks



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: Ζώνες διάτμησης και πετρώματα ρηξιγενών
ζωνών». 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 (1/4)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 1: Copyrighted.

Εικόνα 2: Brittle ductile terminology. Copyrighted. <https://o.quizlet.com/NVJt9u-KLRPxNilp5NEPDQ.jpg>

Εικόνα 3: Example of plastic deformation of impure quartzite, Ruby Gap (Australia), Photo by W. James Dunlap. Copyrighted.

Εικόνα 4: Copyrighted.

Εικόνες 5-6-7-8: Copyrighted.

Εικόνα 9: Το κλασικό σχήμα του Sibson (1977) για τη μεταβολή της δομής των πετρωμάτων ρηξιγενών ζωνών ανάλογα με το βάθος. Copyrighted.

Εικόνα 10: Η ταξινόμηση των κατακλαστικών πετρωμάτων κατά Higgins (1971). Copyrighted.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/4)

Εικόνα 11: Η ταξινόμηση των πετρωμάτων που σχετίζονται με ρηξιγενείς ζώνες κατά Wise et al., 1984. Copyrighted.

Εικόνα 12: Η υποθετική ιστορία ενός τυπικού πετρώματος που σχετίζεται με ρηξιγενείς ζώνες, Whise et al., 1984. Copyrighted.

Εικόνα 13: Organogram for fault rocks. Brodie et al.2007, IUGS – SCMR. Copyrighted. www.bgs.ac.uk/scmr/home.html

Εικόνα 14: Folliated cataclasite. Copyrighted. <http://www.geologic.co.nz/Geologic/Library/Publications/s-bflow%20Fig4.JPG>

Εικόνα 15: Πρωτομυλονίτης. Copyrighted. https://geohazard009.files.wordpress.com/2009/12/350px-mylonite_strona.jpg?w=450

Εικόνα 16: Πρωτομυλονίτης. Copyrighted. <https://hypocentre.files.wordpress.com/2012/01/rock3660089-scaled1000.jpg>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/4)

Εικόνα 17: Μυλονίτης. Copyrighted.

http://users.monash.edu.au/~weinberg/Pages/Reru_valley/Reru_valley/50pct/DS_C03555.JPG

Εικόνα 18: Υπερμυλονίτης. Copyrighted.

http://geomaps.wr.usgs.gov/archive/scamp/photo/NGS_mylonite.jpg

Εικόνα 19: Ασύμμετρη διάτμηση σε υπερμυλονίτη. Copyrighted.

http://users.monash.edu.au/~weinberg/Pages/El_Pichao_Ultramylonites/50pct/IMG_1980.JPG

Εικόνα 20: Υπερμυλονίτης. Copyrighted.

<https://eps.mcgill.ca/blogs/faultrocks/wp-content/uploads/2014/06/Pofadder-ultramylonite.jpg>

Εικόνα 21: Μυλονίτης που έχει δημιουργηθεί σε πηλιτικό γνεύσιο. Copyrighted.

<https://thumbnail.mixcloud.com/w/318/h/318/q/90/upload/images/extaudio/7a8bb63d-9377-4582-8589-8123ce8c0890.jpg>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (4/4)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Πίνακες

Πίνακας 1: Ταξινόμηση μεταμορφωμένων πετρωμάτων, Woodcock & Mort 2008.
Copyrighted.

<http://geolmag.geoscienceworld.org/content/145/3/435/F3.large.jpg>

Πίνακας 2: Ταξινόμηση μεταμορφωμένων πετρωμάτων, Magloughlin 2010.
Copyrighted.

