


MATERIALS DE BIOLOGIA I GEOLOGIA

CLASSIFICACIONS DE LES ROQUES IGNIES I METAMÒRFIQUES.

Autor: Montserrat Liesa i Torre-Marín



 Generalitat de Catalunya
Departament d'Ensenyament
Direcció General
d'Ordenació Educativa
Centre de Documentació
i Experimentació de Ciències

Pg. de la Vall d'Hebron, 64-70
08023 BARCELONA
Tel. 417.68.75/417.67.70

N^o 101

CLASSIFICACIONS DE LES ROQUES IGNIES I METAMORFIQUES

MONTSERRAT LIESA I TORRE-MARIN

Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció geològica.

Universitat de Barcelona

Barcelona, Març de 1989

101 01

CLASSIFICACIO DE LES ROQUES IGNEES

Criteris més emprats per a les diferents classificacions:

- Composició mineralògica
- Composició química
- Tipus de microestructura
- Condicions de jaciment
- Altres criteris

Composició mineralògica

Presència o absència de determinats minerals (minerals index).

Respecte al quars:

- roques subsaturades (minerals incompatibles amb quars)
- roques saturades (absència de quars i de minerals incompatibles amb quars)
- roques sobresaturades (presència de quars)

Composició química

Percentatge de SiO₂:

- roques àcides (100 - 66% SiO₂)
- roques intermèdies (66 - 45% SiO₂)
- roques bàsiques (45 - 20% SiO₂)
- roques ultrabàsiques (< 20% SiO₂)

Microstructurals

- Mida de gra absoluta
 - Roca fanerítica: tots els cristalls es distingeixen a ull nu, encara que no s'identifiquin.
 - Roca afanítica: no tots els cristalls es distingeixen a ull nu.
- Mida de gra relativa
 - gra fi: < 1mm
 - gra mig 1 - 5mm
 - gra gros 5 - 30mm
 - gra molt gros > 30mm
- Tipus més freqüents de microestructures
 - Textura granular: cristalls del mateix ordre de magnitud.
 - Textura porfírica: cristalls de diferent ordre de magnitud.

pissarra pigallada
fil.lita pigallada
esquist pigallat

Psamites o arenites: **metaquarsites**
mida de gra fina a grollera
 metaarcoses (paragneiss)
mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia)
 metagrauvaques (paragneiss)
mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia)

Psefites, rudites o conglomerats: **metaconglomerats**
mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia)

Carbonats (calcàries i dolomies): **marbres**
mida de gra fina a grollera

Roques margoses:

Afectades per metamorfisme regional:

mida de gra fina (<0.1 mm)	calcopissarres
mida de gra mitja (0.1 - 1.0 mm)	calcofil.lites
mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia)	roques calcosilicatades
amfibolites (segons la composició)	
mida de gra grollera (>1 mm, homogènia a heterogènia.)	

Afectades per metamorfisme de contacte:

corniana calcosilicatada
(corniana amfibòlica)

Equivalents metamòrfics de les roques ígnies

Aquestes roques es poden anomenar també ortoderivades. El prefix orto- seguit del nom de la roca metamòrfica (per exemple ortogneiss) s'utilitza per a designar l'origen ígni de la roca considerada.

Roques ígnies àcides: **ortogneiss**
mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia)

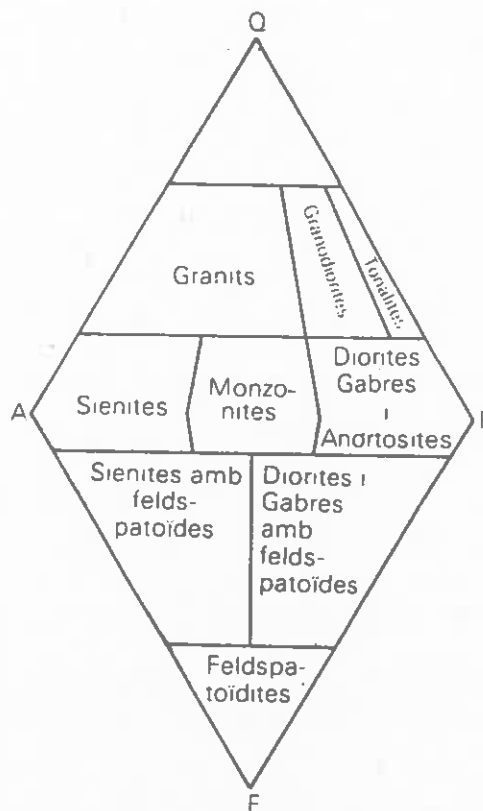
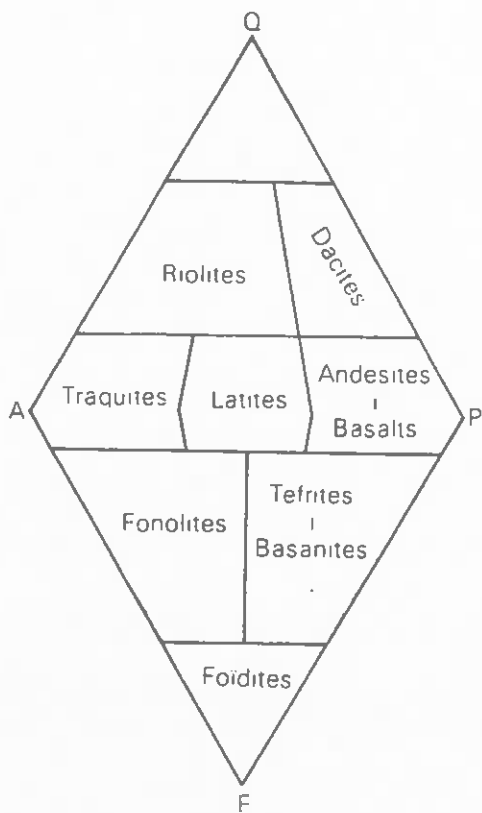
Roques ígnies bàsiques: **metabasites**

* **Procés regional d'alta temperatura**

mida de gra fina (<0.1 mm)	esquistos verds
mida de gra mitjana a grollera (>0.1 mm, homogènia)	amfibolites
mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia)	gneiss amfibòlic

ROQUES VOLCANIQUES

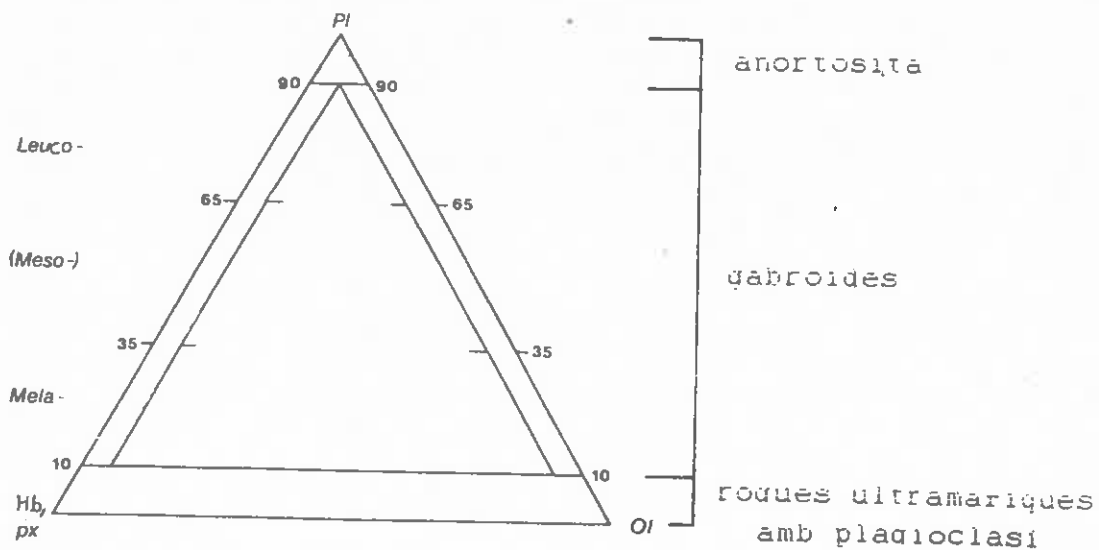
ROQUES PLUTONIQUES



Roques gabroïques

Per a roques plutòniques

P. Plagiòclasi
 Px, Hb. Piroxè, Hornblenda
 Ol. Olivina



CLASSIFICACIO DE LES ROQUES IGNIES

CONDICIONS DE JACIMENT	COMPOSICIÓ QUÍMICA	COMPOSICIÓ MINERA-LÒGICA	LEUCOCRÀTIQUES		MESOTIPUS		MÀFIQUES		ULTRAMÀFIQUES		BRETXES VOLCÀNIQUES	OBSIDIANA	VOLCÀNIQUES O EFUSIVES	INTRUSIVES				
			ÀCIDES	INTERMÈDIES	BÀSIQUES	ULTRABÀSIQUES	ULTRABÀSIQUES	BÀSIQUES	INTERMÈDIES	BÀSIQUES								
CONDICIONS DE JACIMENT	COMPOSICIÓ QUÍMICA	COMPOSICIÓ MINERA-LÒGICA	% MÀFICS	% SiO ₂	MICROSTRUCTURAL	PIROCLÀSTICA	VITREA	PORFÍRICA	GRANUDA	FANERÍTICA	HIPABISALS	PLUTÒNIQUES	INTRUSIVES	INTRUSIVES				
															▲ SI, NA, K	▲ CA, FE, MG	▲ Q, FK, PL NA	▲ PL CA, MIN. MAFICS BI, AMF, PX, OL
															▲ SI, NA, K	▲ CA, FE, MG	▲ Q, FK, PL NA	▲ PL CA, MIN. MAFICS BI, AMF, PX, OL
															▲ SI, NA, K	▲ CA, FE, MG	▲ Q, FK, PL NA	▲ PL CA, MIN. MAFICS BI, AMF, PX, OL
															▲ SI, NA, K	▲ CA, FE, MG	▲ Q, FK, PL NA	▲ PL CA, MIN. MAFICS BI, AMF, PX, OL
															▲ SI, NA, K	▲ CA, FE, MG	▲ Q, FK, PL NA	▲ PL CA, MIN. MAFICS BI, AMF, PX, OL
															▲ SI, NA, K	▲ CA, FE, MG	▲ Q, FK, PL NA	▲ PL CA, MIN. MAFICS BI, AMF, PX, OL
															▲ SI, NA, K	▲ CA, FE, MG	▲ Q, FK, PL NA	▲ PL CA, MIN. MAFICS BI, AMF, PX, OL
															▲ SI, NA, K	▲ CA, FE, MG	▲ Q, FK, PL NA	▲ PL CA, MIN. MAFICS BI, AMF, PX, OL
															▲ SI, NA, K	▲ CA, FE, MG	▲ Q, FK, PL NA	▲ PL CA, MIN. MAFICS BI, AMF, PX, OL
															▲ SI, NA, K	▲ CA, FE, MG	▲ Q, FK, PL NA	▲ PL CA, MIN. MAFICS BI, AMF, PX, OL
															▲ SI, NA, K	▲ CA, FE, MG	▲ Q, FK, PL NA	▲ PL CA, MIN. MAFICS BI, AMF, PX, OL

*-Δsi, a M. Liesa, 1989

NOMENCLATURA I CLASSIFICACIO DE LES ROQUES METAMORFIQUES

Les característiques principals de les roques metamòrfiques són la seva mineralogia i microestructura. Aquestes característiques estan condicionades per la mineralogia i microestructura de la roca primària de la qual provenen (ígnia, sedimentària o metamòrfica) així com del caràcter del metamorfisme (tèrmic, dinàmic...). Amb la intervenció de tantes variables i de diferent natura, la classificació de les roques metamòrfiques esdevé complexa, ja que no es pot sistematitzar. En aquest cas s'hauria de parlar més pròpiament de nomenclatura de les roques metamòrfiques, en la qual poden haver-hi roques no classificades i, al contrari, solapament de termes.

Donada la dependència de les roques metamòrfiques respecte de la roca ígnia o sedimentària de la qual provenen, la classificació més completa serà aquella que parteixi de les roques primàries. Aquesta divisió genètica pot resultar, en ocasions, poc còmoda d'utilitzar, donat que presenta molts noms. Atenent a aquest criteri Williams et al., 1957; Semenenko, 1967 i Hejtman, 1962, 1977) han proposat la classificació que s'exposa tot seguit, lleugerament modificada i simplificada:

Equivalents metamòrfics de les roques sedimentàries

Aquestes roques es poden anomenar també **paraderivades**. El prefix **para-** seguit del nom de la roca metamòrfica (per exemple paragneiss) s'utilitza per a designar l'origen sedimentari de la roca considerada.

Pelites o lutites: **Metapelites**

Afectades per metamorfisme regional:

mida de gra fina (<0.1 mm)	pissarra
mida de gra mitja (0.1 - 1.0 mm)	fil.lita
mida de gra grollera (>1 mm, homogènia)	esquist
mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia)	gneiss pelític

Afectades per metamorfisme de contacte:

corniana pelítica o cornubianita (ang: hornfels)

Si la roca havia sofert prèviament un metamorfisme regional i encara conserva característiques microestructurals d'aquest procés, s'utilitzen els termes del metamorfisme regional seguits de l'adjectiu pigallat (cast: moteado).

Condicions de jaciment

- Intrusives Plutòniques
- Hipabissals
- Extrusives o Volcàniques

Altres criteris

Index de color: Presència de minerals fèlsics o clars (quars, feldspats i feldspatoïdes) o de minerals màfics o foscos (biotita, amfibols, piroxens, olivina i minerals opacs). Escala de 1 a 100% de minerals màfics.

- roques leucocràtiques $M < 30\%$
- roques del mesotipus $30 < M < 60\%$
- roques màfiques $60 < M < 90\%$
- roques ultramàfiques $M > 90\%$

CLASSIFICACIO RECOMANADA PER LA IUGS (INTERNATIONAL UNION OF GEOSCIENCES)

CLASSIFICACIO DE STRECKEISEN

- STRECKEISEN, A. (1973). Geotimes, 18, 26 - 30.
- STRECKEISEN, A. (1976). Earth Sci. Rev. 12, 1 - 33
- STRECKEISEN, A. (1979). Geology, 7, 331 - 335
- STRECKEISEN, A. (1980). Geol. Runds., 69, 194 - 207

Basada directament en la mineralogia i condicions de jaciment de les roques ígnees i indirectament en llurs criteris microestructurals i composició química.

Classificació triangular.

Vèrtexs dels triangles, 100% del mineral considerat:

ROQUES PLUTONIQUES I VOLCANIQUESMàfics < 90%**Triangle QAPF**

Per a roques plutòniques i volcàniques
Basat en la incompatibilitat Q - F (quars + feldspatoïdes = feldspats)

- Q. quars
- A. Feldspat alcalí
- P. Plagiòclasi
- F. Feldspatoïdes

mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia) granulites bàsiques

* Procés regional d'alta pressió

mida de gra fina a mitjana (<0.1 mm - 1mm) metabasites amb zeolita

mida de gra grollera (>1 mm, homogènia) esquistos blaus

mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia) eclogites

Roques ígnies ultrabàsiques:

No formen sèries de metamorfisme prògrad, noms diversos en funció de diferents composicions de les roques.

mida de gra fina a mitjana (<0.1 mm - 1mm) talc

mida de gra fina a mitjana (<0.1 mm - 1mm) serpentinites

mida de gra fina a mitjana (<0.1 mm - 1mm) esquistos clorítics

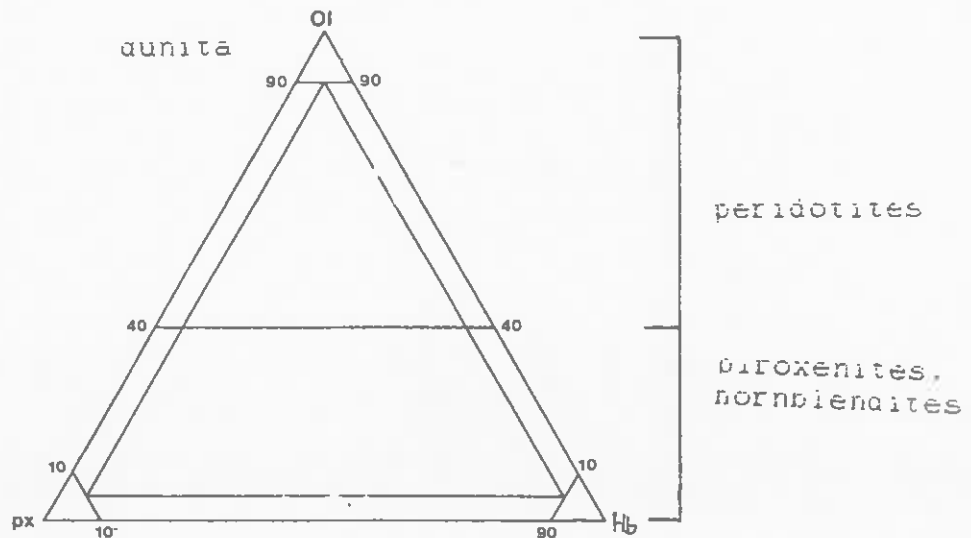
mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia) gneiss ultramàfic

Les roques afectades per metamorfisme dinàmic reben una nomenclatura específica, referida a aquesta característica, independent de la composició de la roca. Si la roca presenta una microestructura no foliada s'anomena cataclasita; si, pel contrari, és foliada s'anomena milonita. Aquests termes es poden utilitzar com adjectius si interessa resaltar la naturalesa de la roca original que ha sofert el procés milonític o cataclàstic. Per exemple esquist milonític, gneiss cataclàstic.

Màfics > 90%**Roques ultramàfiques**

Per a roques plutòniques

Ol. Olivina
 Px. Piroxè
 Hb. Hornblenda

ROQUES HIPABISSALS

Classificació basada en els equivalents plutònics

Roques leucocràtiques

- Textura porfírica:
 pòrfir + tipus de roca, segons el triangle QAPF (ex. pòrfir granític, pòrfir granodiorític...)
- Textura granular:
 micro + tipus de roca, segons el triangle QAPF (ex. microgranit, microgranodiorita...)
- Nomenclatures específiques:
 composició quars - feldspàtica:
 aplita: granular de gra fi
 pegmatita: granular de gra gruixut

Roques màfiques

- Nomenclatures específiques:
 diabases: equivalents composicionals dels gabroïdes
 lampròfirs: roques melanòcrates en dics de composicions variables (biotita, piroxè o amfíbol en fenocristalls)

PROCES	ROQUES SEDIMENTARIES				ROQUES IGNIES			ULTRABASIQUES			
	ROCA ORIGINARIA MIDA GRA	PELITES	QUARSITES ROQUES Q - F	CARBONATS		BASIQUES					
				PURS	IMPURS (marques)	Met. alta T	Met. alta P				
M. REGIONAL	gra fi 0.1 mm	PISSARRA	QUARSITA GNEISS	MARBRE	CALCOPISSARRA	ESQUIST VERD	METABASITA amb ZEOLITA	TALC			
	gra mig 0.1 - 1 mm	FIL.LITA			CALCOFIL.LITA			GNEISS	AMFIBOLITA	ESQUIST BLAU	SERPENTINA
	gra groller 1 mm homogeni	ESQUIST			ROCA CALCOSILICA- TADA (R. AMFIBO- LICA)	GNEISS AMFIBOLIC	ECLOGITA				GNEISS ULTRAMÀFIC
	gra groller 1 mm heterogeni	GNEISS									
CONTACTE	gra fi 0.1 mm	PISARRA PIGALLADA	QUARSITA CORNIANA Q - F	MARBRE	CALCOPISSARRA	GNEISS AMFIBOLIC	ECLOGITA	GNEISS ULTRAMÀFIC			
	gra mig 0.1 - 1 mm	FIL.LITA PIGALLADA			CALCOFIL.LITA						
	gra groller 1 mm heterogeni	(ESQUIST PIGALLAT) CORNUBIANITA			CORNIANA CALCOSILICATA (C. AMFIBOLICA)						
		Q-filosil. (and,sil,dist, cd, est, fk)	Quars Q - Feld.	Calcita. Dolomita	Ca, Do, filosil. Di, Gr, Wo	Pl, Amf, Ep	Amf blaus, Pl, Gt, Px	Serp, Talc Amf Mg			

CLASSIFICACIO DE LES
ROQUES METAMORFIQUES

M. Liesa, 1989

Δ condicions metamòrfiques →

Δ condicions metamòrfiques →

NOMENCLATURA I CLASSIFICACIO DE LES ROQUES METAMORFIQUES

Les característiques principals de les roques metamòrfiques són la seva mineralogia i microestructura. Aquestes característiques estan condicionades per la mineralogia i microestructura de la roca primària de la qual provenen (ígnia, sedimentària o metamòrfica) així com del caràcter del metamorfisme (tèrmic, dinàmic...). Amb la intervenció de tantes variables i de diferent natura, la classificació de les roques metamòrfiques esdevé complexa, ja que no es pot sistematitzar. En aquest cas s'hauria de parlar més pròpiament de nomenclatura de les roques metamòrfiques, en la qual poden haver-hi roques no classificades i, al contrari, solapament de termes.

Donada la dependència de les roques metamòrfiques respecte de la roca ígnia o sedimentària de la qual provenen, la classificació més completa serà aquella que parteixi de les roques primàries. Aquesta divisió genètica pot resultar, en ocasions, poc còmoda d'utilitzar, donat que presenta molts noms. Atenent a aquest criteri Williams et al., 1957; Semenenko, 1967 i Hejtman, 1962, 1977) han proposat la següent classificació, la qual ha estat lleugerament modificada i simplificada. A més, s'hi afegeix el tipus de textura, ja que en alguns casos aquesta dona una informació definitiva del procés que ha format la roca. Aquest fet és sobretot evident en les metapelites.

Equivalents metamòrfics de les roques sedimentàries

Aquestes roques es poden anomenar també paraderivades. El prefix para- seguit del nom de la roca metamòrfica (per exemple paragneiss) s'utilitza per a designar l'origen sedimentari de la roca considerada.

Pelites o lutites:

Metapelites

Afectades per metamorfisme regional:

textura foliada (< 1mm)
textura esquistosa (>1 mm)

pissarra
mida de gra fina (<0.1 mm)
fil.lita
mida de gra mitja (0.1 - 1.0 mm)
esquist
mida de gra grollera (>1 mm, homogènia)
gneiss pelític
mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia)

Afectades per metamorfisme de contacte:

textura granoblàstica
corniana pelítica o cornubianita (ang: hornfels)

Si la roca havia sofert prèviament un metamorfisme regional i encara conserva característiques microestructurals d'aquest procés, s'utilitzen els termes del metamorfisme regional seguits de l'adjectiu pigallat (cast: moteado).

pissarra pigallada
fil.lita pigallada
esquist pigallat

Textura més o menys foliada o granoblàstica en funció de l'hàbit dels minerals i del procés metamòrfic sofert.

Afectades per metamorfisme regional o contacte

Psefites o arenites:

metaquarsites
mida de gra fina a grollera

metaarcoses (paragneiss)
mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia)

metagrauvaques (paragneiss)
mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia)

Psamites, rudites o conglomerats:

metaconglomerats
mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia)

Carbonats (calcàries i dolomies):

marbres
mida de gra fina a grollera

Roques margoses:

Afectades per metamorfisme regional:

textura foliada (<1 mm)
textura bandada (>1 mm)

calcopissarres
mida de gra fina (<0.1 mm)

calcofil.lites
mida de gra mitja (0.1 - 1.0 mm)

roques calcosilicatades
mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia)

amfibolites (composicions riques en Fe-Mg)
mida de gra grollera (>1 mm), homogènia a heterogènia).

Afectades per metamorfisme de contacte:

corniana calcosilicatada
(corniana amfibòlica)

Equivalents metamòrfics de les roques ígnies

Aquestes roques es poden anomenar també ortoderivades. El prefix orto- seguit del nom de la roca metamòrfica (per exemple ortogneiss) s'utilitza per a designar l'origen igni de la roca considerada.

Només són afectades pel metamorfisme regional. No es considera el metamorfisme de contacte, ja que aquest té lloc a temperatura inferior a la de formació de les roques ígnies i, per tant, no sol modificar la seva mineralogia.

textura foliada

Roques ígnies àcides:

ortogneiss

mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia)

Roques ígnies bàsiques:

metabasites

Classificació segons el tipus de metamorfisme:

*** Procés regional d'alta temperatura**

esquistos verds

mida de gra fina a mitjana (<0.1 mm - 1mm)

amfibolites

mida de gra grollera (>1 mm, homogènia)

gneiss amfibòlic

mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia)

granulites bàsiques

mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia)

*** Procés regional d'alta pressió**

metabasites amb zeolita

mida de gra fina a mitjana (<0.1 mm - 1mm)

esquistos blaus

mida de gra grollera (>1 mm, homogènia)

eclogites

mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia)

Roques ígnies ultrabàsiques:

No formen sèries de metamorfisme prògrad, noms diversos en funció de diferents composicions de les roques.

talc

mida de gra fina a mitjana (<0.1 mm - 1mm)

serpentinites

mida de gra fina a mitjana (<0.1 mm - 1mm)

esquistos clorítics

mida de gra fina a mitjana (<0.1 mm - 1mm)

gneiss ultramàfic

mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia)

Les roques afectades per metamorfisme dinàmic reben una nomenclatura específica, referida a aquesta característica, independent de la composició de la roca. Si la roca presenta una microestructura no foliada s'anomena cataclasita; si, pel contrari, és foliada s'anomena milonita. Aquests termes es poden utilitzar com adjectius si interessa resaltar la naturalesa de la roca original que ha sofert el procés milonític o cataclàstic. Per exemple esquist milonític, gneiss cataclàstic.

BIBLIOGRAFIA

- ** BARD, J.P., 1979. Microtexture des roches magmatiques et métamorphiques. Masson, Paris. 192 pp.
- ** BEST, M.G. , 1982. Igneous and metamorphic petrology. W. H. Freeman and Co., New York, 630 pp.
- ** D'AMICO, C., INNOCENTI, F. & SASSI, F. P. , 1987. Magmatismo e metamorfismo. Utet. Scienze della Terra. 536 pp.
- * FRY, N., 1984. The field description of metamorphic rocks. Geol. Soc. London, Handbook series. 110 pp.
- * GILLEN, C., 1982. Metamorphic Geology: An introduction to tectonic and metamorphic processes. G. Allen & Unwin, London. 144 pp.
- * INGLES, M. MARTI, J. PALAU, J., 1986. Les roques. Introducció a la Petrologia. Ketres editora. Col·lecció Ventall, 7.
- ** MASON, R. , 1978. Petrology of the metamorphic rocks. G. Allen & Unwin, London, 254 pp.
- ** MIYASHIRO, A. , 1973. Metamorphism and metamorphic belts. G. Allen & Unwin, 492 pp.
- *** OXBURGH, E.R., YARDLEY, B.W.D. & ENGLAND, P.C., eds. , 1987. Tectonic settings of regional metamorphism. Phil. Trans. R. Soc. London, 1-276.
- *** POWELL, R. , 1978. Equilibrium thermodynamics in petrology. Harper & Row, Publishers, London, 284 pp.
- ** SPRY, A. 1969. Metamorphic Textures. Pergamon press, Oxford.
- ** TURNER, F.J. & VERHOOGEN, J. , 1951. Igneous and metamorphic petrology. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 694 pp.
- ** VERNON, R.H. 1976. Metamorphic processes. Reactions and microstructure development. G. Allen & Unwin, 247 pp.
- ** WINKLER, M.G.F., 1967. Petrogenesis of metamorphic rocks. Springer-Verlag. New York. 2a ed., 348 pp.
- *** WOOD, B.J. & FRASER, D.G. , 1977. Elementary thermodynamics for geologists. Oxford University Press, Oxford, 303 pp.
- ** YARDLEY, B.W.D., 1989. An introduction to metamorphic petrology. Longman Earth Science Series. London, 248 pp.

EL RENOVAMENT MINERALOGIC I MICROSTRUCTURAL DE LES ROQUES METAMORFIQUES

Montserrat Liesa

El metamorfisme és un canvi mineralògic i microstructural d'una roca en estat sòlid, produït perquè les condicions pressió - temperatura a les què se sotmet durant el procés metamòrfic són diferents a aquelles a les quals es va formar. La roca originària pot ésser una roca ignea, sedimentària o una altra roca metamòrfica. El metamorfisme, a més de l'estadi final estudia els passos intermedis (fig. 1).

L'objectiu de l'estudi de les roques metamòrfiques és conèixer l'evolució que ha sofert la roca i la seva relació amb el procés que l'ha format.

Els límits del metamorfisme se situen entre la diagènesi (roca sedimentària) i la fússió parcial de la roca (roca ignea) (fig. 2).

La roca resultant d'un procés metamòrfic depèn de:

-Roca originària:

Natura, composició, microestructura primària

-Metamorfisme:

Trajectòria del metamorfisme dintre del camp P-T (fig. 1).

Presència o absència de fluids (CO₂ i H₂O essencialment)

Procés metamòrfic que l'ha format a escala regional:

Procés eminentment tèrmic (ΔT)

Procés eminentment dinàmic (pressió d'esforços tectònics)

Procés dinamo-tèrmic (pressió d'esforços tectònics actuant a profunditat i a una temperatura dintre del camp del metamorfisme).

Influència de la temperatura.

Facilita les reaccions metamòrfiques.

D'on surt el calor (fig. 3):

- del mantell

- desintegració d'isòtops radiactius

Aports locals de calor:

- magma

El flux de calor cedit per les roques a la superfície terrestre és causat directament per la incidència dels dos primers factors (fig. 4):

- normal a les zones internes de les plaques (lleugerament superior a les continentals que a les oceàniques a causa de la major abundància d'isòtops radiactius)

- inferior al normal a les zones de subducció

- superior al normal a les dorsals oceàniques.

Influència de la pressió

Hi ha diversos tipus de pressió que s'exerceixen sobre les roques:

Pressió litostàtica

Pressió produïda pel pes de la columna de roques que té al damunt. És isòtropa, no produeix deformació a les roques. Tendeix a cohesionar la roca (fig. 5).

Pressió d'esforços tectònics

Pressió més intensa en un sentit que en els altres. És anisòtropa i és responsable de la deformació de les roques.

Pressió de fluids

Exercida pels fluids intersticials de la roca. Si la P fluids és superior a la litostàtica els fluids tendeixen a formar esquerdes i escapar-se. Si és igual o inferior romanen dintre de la roca (fig. 5).

La interacció, durant un temps prolongat, dels factors temperatura i dels diversos tipus de pressió es manifesta en un desequilibri de la mineralogia i de la microestructura original de la roca i en una adaptació a les noves condicions P-T. Per tal de restablir-se l'equilibri es forma una nova mineralogia i una nova microestructura, estable a les noves condicions.

Canvis soferts per les roques metamòrfiques

Canvi microestructural

Control de la temperatura:

Temperatura

Un increment de temperatura provoca la cristal·lització - recristal·lització dels grans. Facilita la nucleació i creixement dels grans.

Es formen microestructures tèrmiques (fig. 6a).

Per exemple una aurèola de metamorfisme de contacte (fig. 6b).

Control de la pressió esforços tectònics:

Afavoreix el trencament i la disminució de la mida de gra

Microestructures dinàmiques (fig. 7a,b).

Per exemple una bretxa de falla (fig. 7a) o una milonita (fig. 7b).

Control mixt Temperatura + Pressió d'esforços tectònics + Pressió litostàtica

Cristal·lització - recristal·lització dels grans controlada per la deformació (fig. 8a, b, c).

Microestructures dinamo-tèrmiques (fig. 8a).

Les microestructures dinamo-tèrmiques són les més comunes. En general es produeix un increment de la mida de gra, aparellat amb l'increment del metamorfisme (fig. 8b, c)

la formació de minerals amb volum molar baix (xarxa cristal·lina més densa).

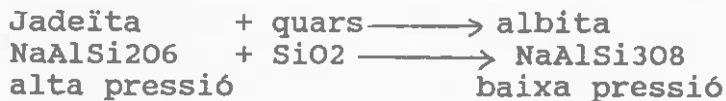
Exemples (fig. 12):

canvi polimorf dels aluminosilicats (Al_2SiO_5)

distena: volum molar baix, estable a alta P

andalusita: volum molar mig, estable a baixa P-T

sil.limanita: volum molar alt, entropia alta, estable a alta T

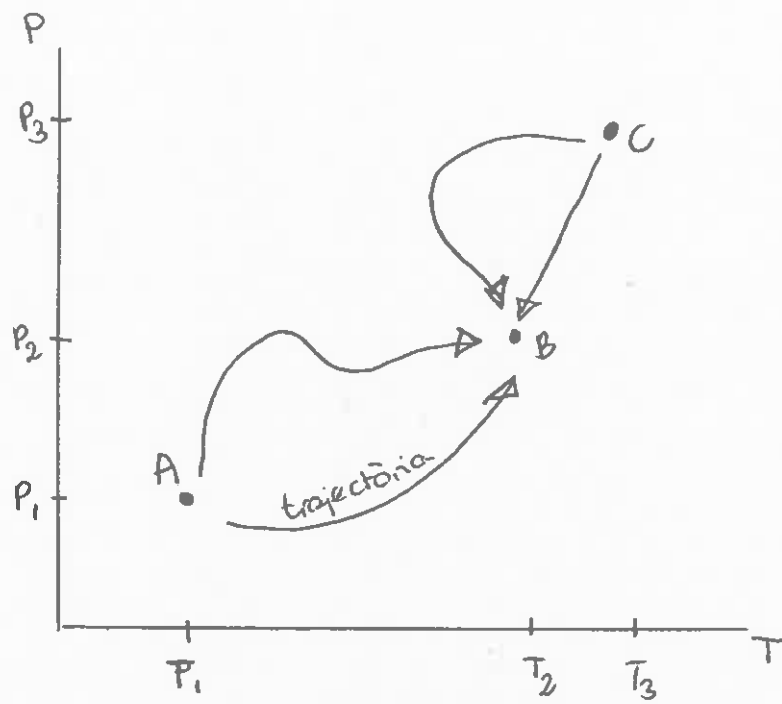


Les associacions minerals més característiques s'han determinat experimentalment per tal de saber a quines temperatures i pressions tenen lloc les reaccions. Per exemple figs. 10, 11 i 12. L'estudi de les associacions minerals permet la reconstrucció de les condicions P-T del darrer estadi, en general de l'estadi de màxima P-T o clímax metamòrfic.

Conclusions

A partir de les microestructures de la roca i les associacions mineralògiques es pot determinar

- el tipus de metamorfisme que ha format la roca
 - tèrmic
 - dinàmic
 - dinamo-tèrmic
- la història metamòrfica deformativa de la roca
 - diverses fases de deformació enregistrades
- màximes condicions P-T
 - associació mineralògica o paragènesi del clímax metamòrfic
- context geodinàmic on s'ha format, dintre del marc de la tectònica de plaques (fig. 12, 13):
 - metamorfisme d'alta P/baixa T \Rightarrow zona compressiva
 - metamorfisme de P intermèdia \Rightarrow zona compressiva (a la vora del continent)
 - metamorfisme d'alta T/baixa P \Rightarrow zona distensiva



A: r. sedimentaria
 B: r. metamorfica
 C: r. Epica

Fig 1

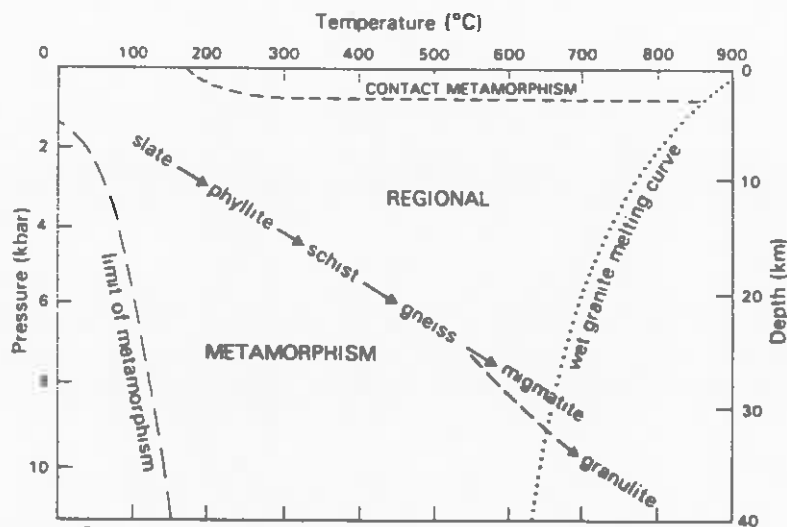


Figure 2 Pressure-temperature diagram on which are located the positions where conditions are suitable to produce slates, etc. from pelitic sediments.

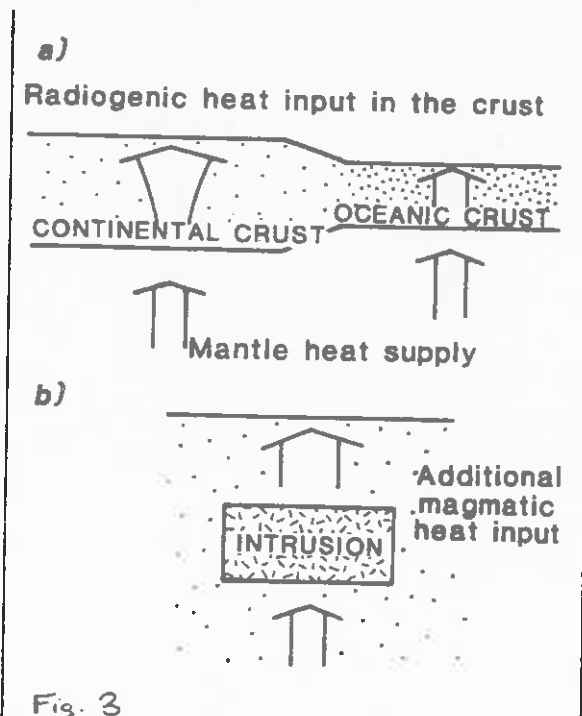


Fig. 3

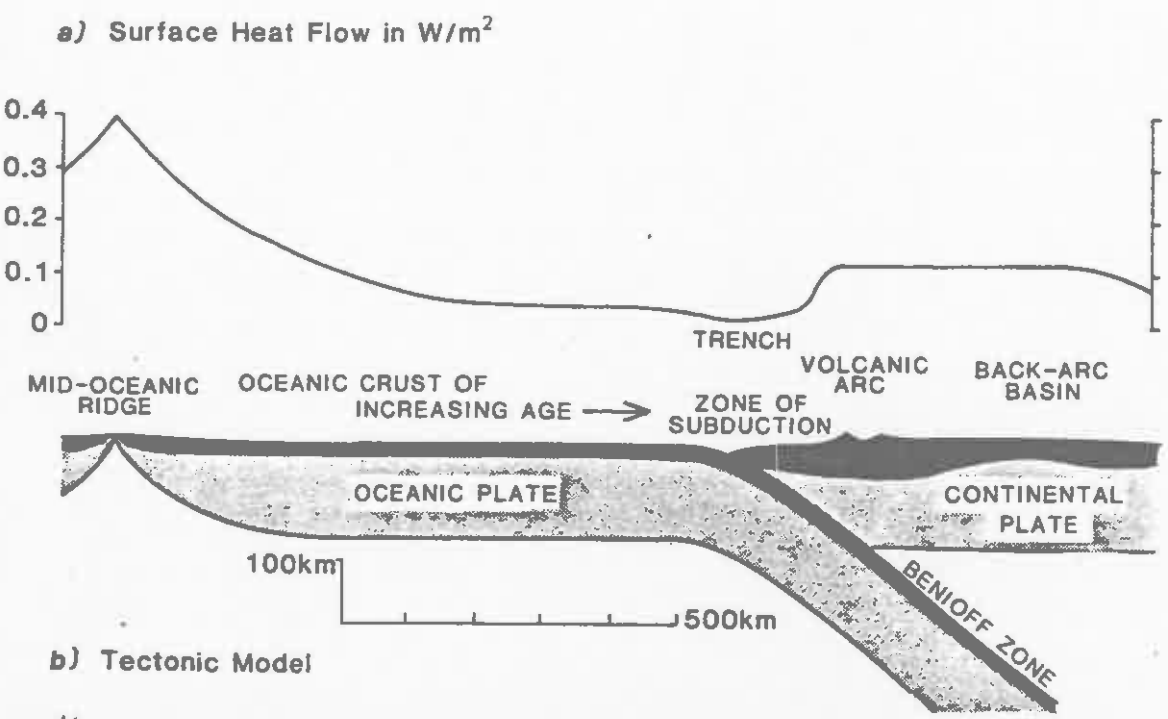


Fig. 4 Variation in the surface heat flow measured at different parts of the earth (a) shown in relation to plate tectonic setting (b). Compiled from Oxburgh (1974).

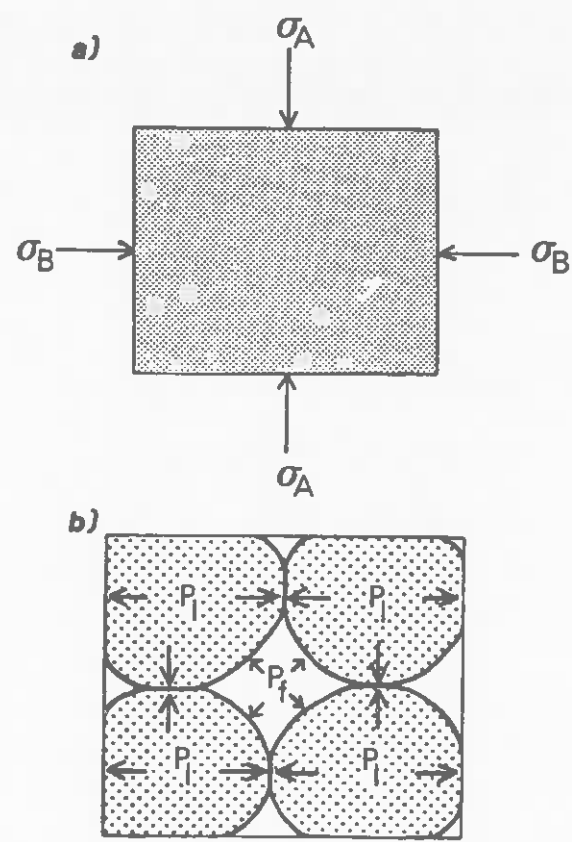
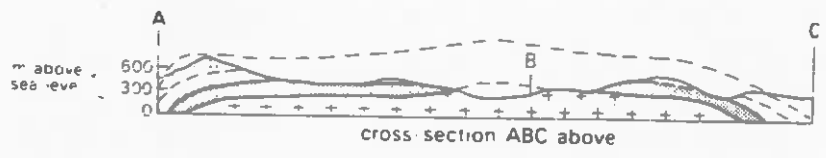
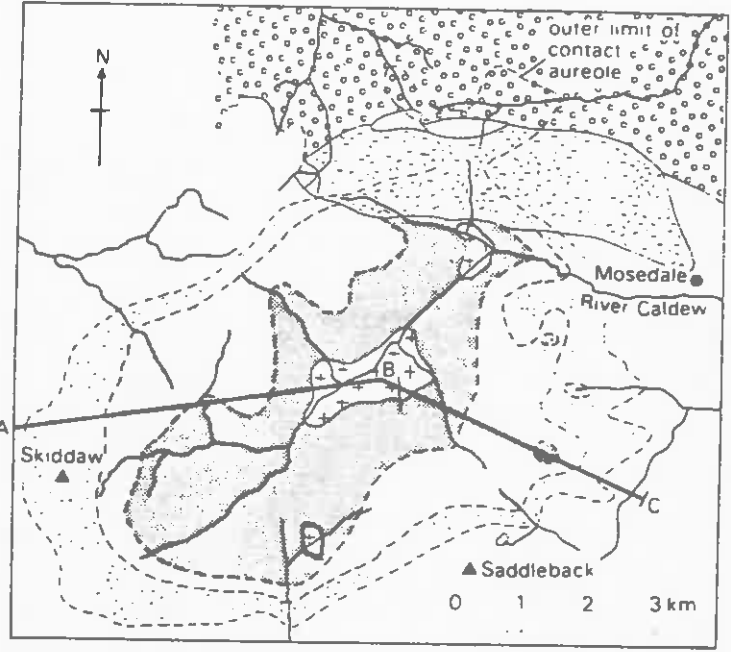
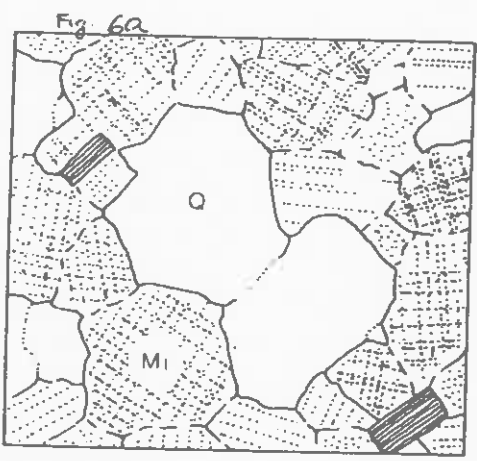


Fig 5



- Key**
- Skiddaw granite
 - Carrock Fell Complex (mostly gabbro)
 - Borrowdale Volcanic Series
 - Skiddaw Slate (not contact metamorphosed)
- Metamorphic zones in Skiddaw slate**
- outer spotted slate zone
 - andalusite slate zone
 - hornfels zone

Skiddaw area, Lake District. Fig 6b

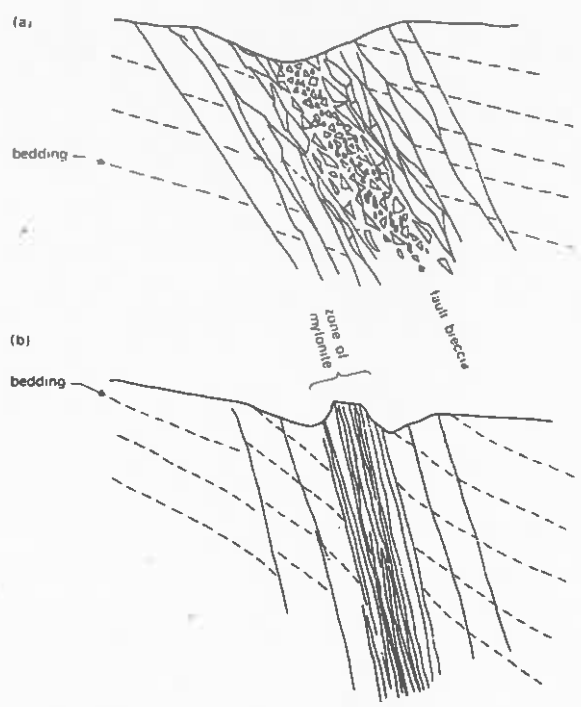


Figure 7 Cross sections through fault zones in massive rocks. (a) Fault zone with fault breccia, formed at shallow level in the Earth's crust. (b) Fault zone with mylonite, formed at deeper level.

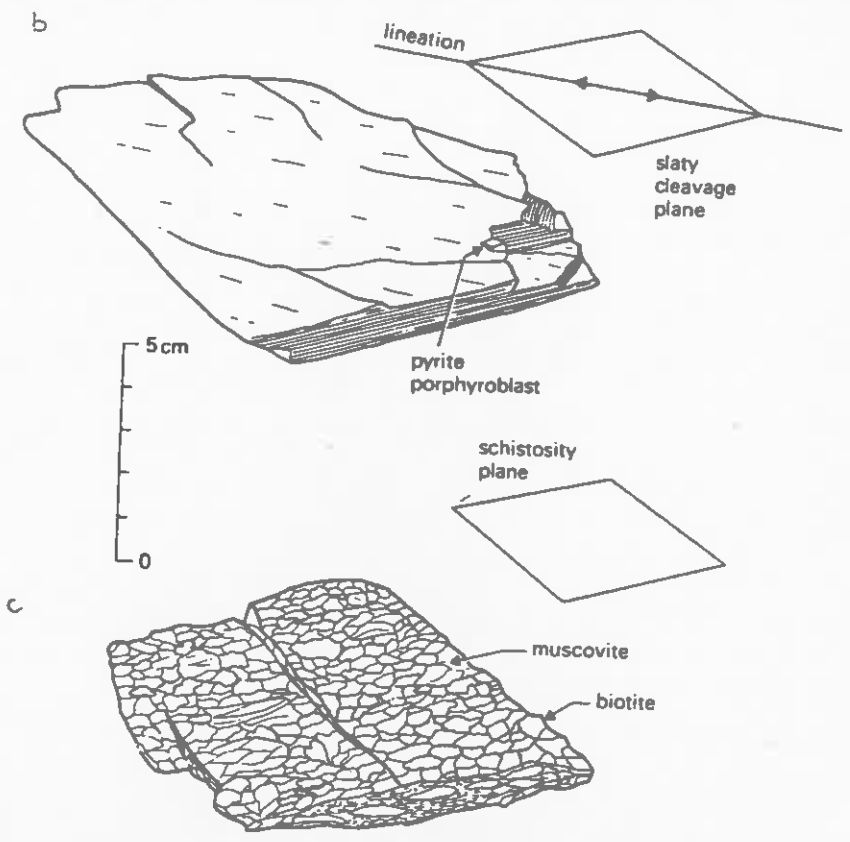
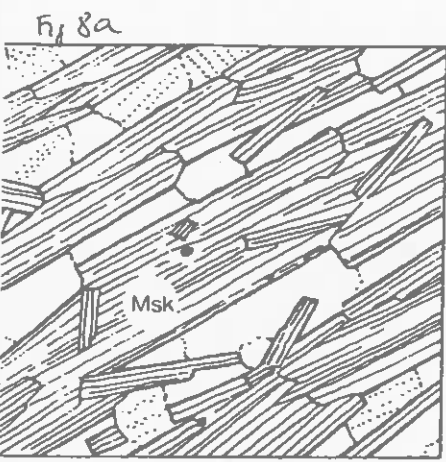


Figure 8 Sketches of hand-specimens of (b) slate and (c) schist to illustrate the more regular cleavage direction in slate. Individual muscovite and biotite flakes indicated in schist. Slate specimen from Ballachulish, Argyll; schist from Loch Stack, Sutherland.

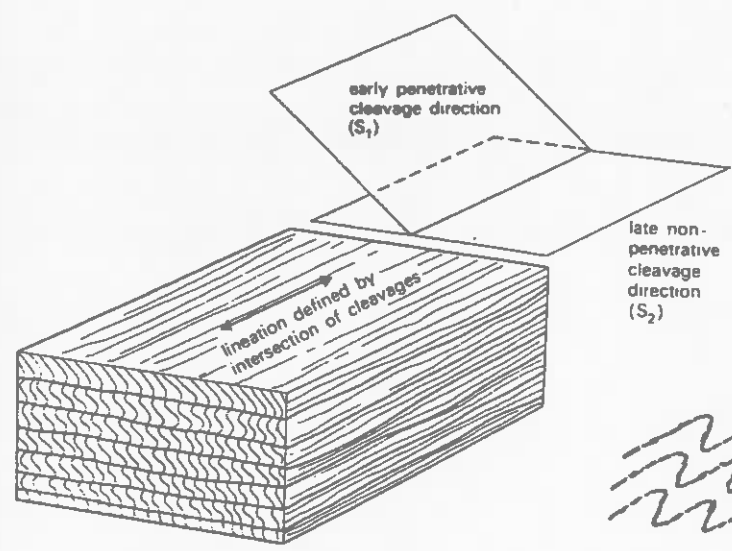


Fig 9

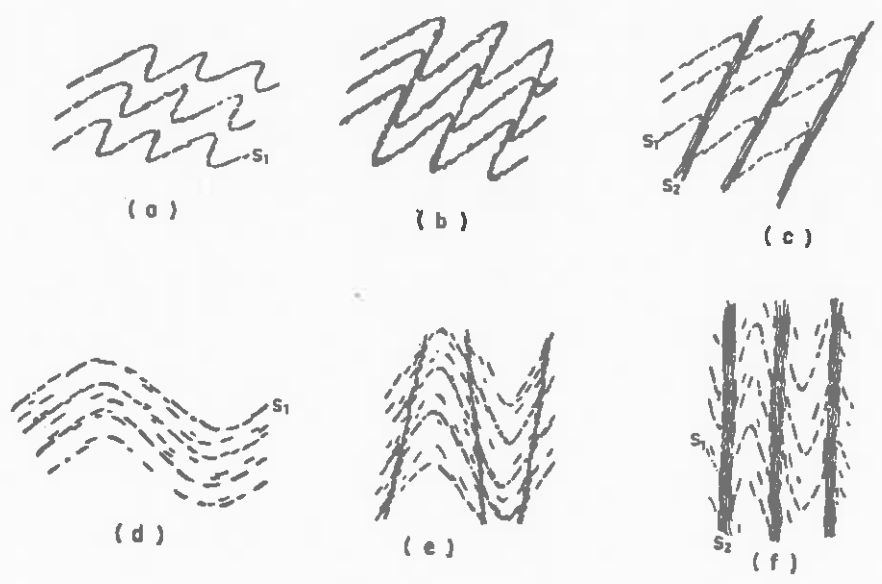


Fig. 9 Two foliations. Development of a second planar foliation S_2 during the deformation of the first foliation S_1 . (a), (b) and (c) successive stages in asymmetrical folding. (d), (e) and (f) successive stages in symmetrical folding

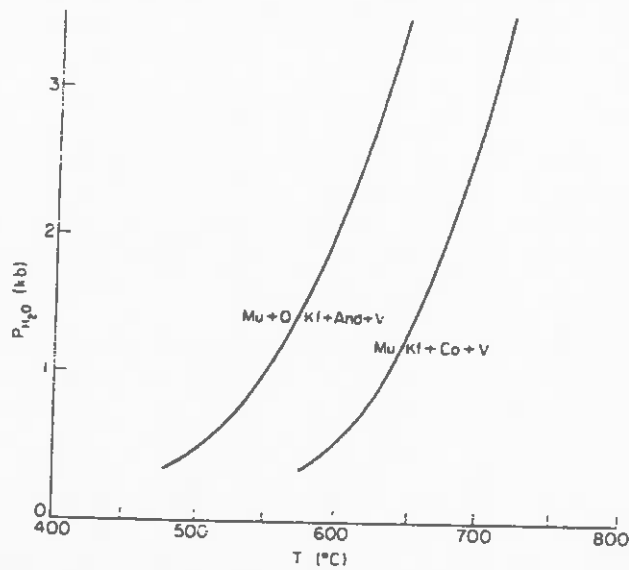


Fig. 10 P_{H_2O} - T curves showing the upper stability limits of (muscovite + quartz) and muscovite. After Evans (1965), *Amer. J. Science*, 263, pp. 655, 660. And=andalusite; Co=corundum; Kf=K-feldspar; Mu=muscovite; Q=quartz; V=water vapour.

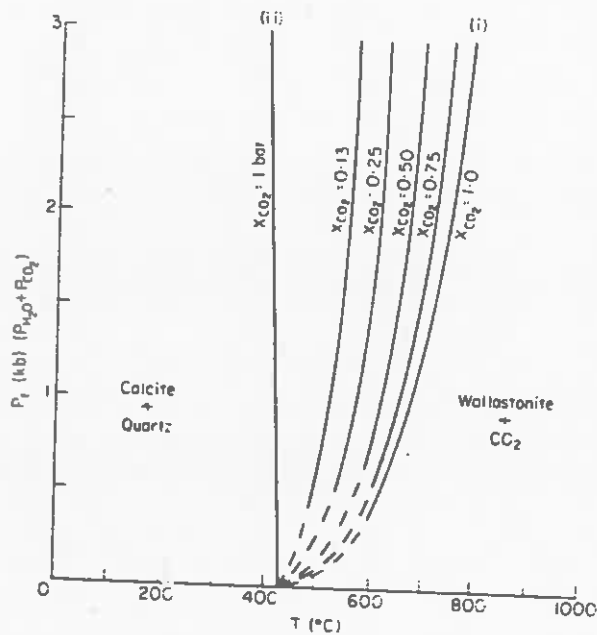


Fig. 11 Curves of univariant equilibrium for the reaction: calcite + quartz = wollastonite + CO_2 as functions of P_T ($=P_{H_2O} + P_{CO_2}$) for various compositions of the fluid phase (expressed as X_{CO_2}). After Winkler, p. 35."

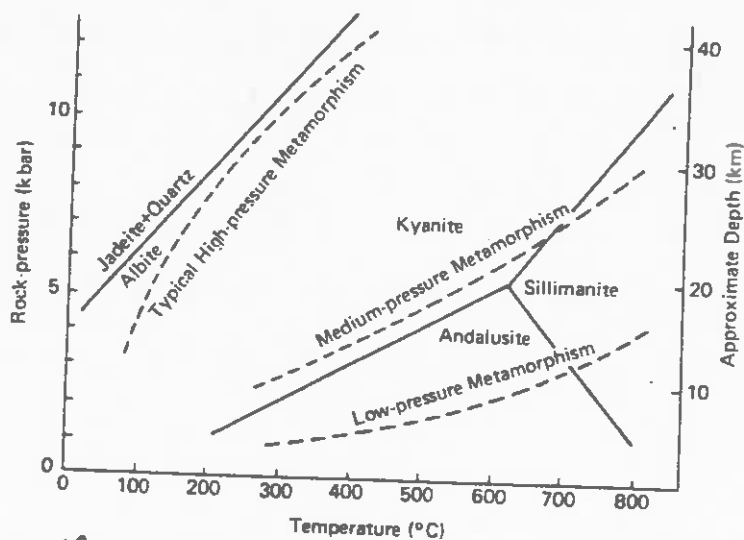


Fig. 12 Classification of metamorphic facies series in relation to the stability fields of Al_2SiO_5 minerals and jadeite.

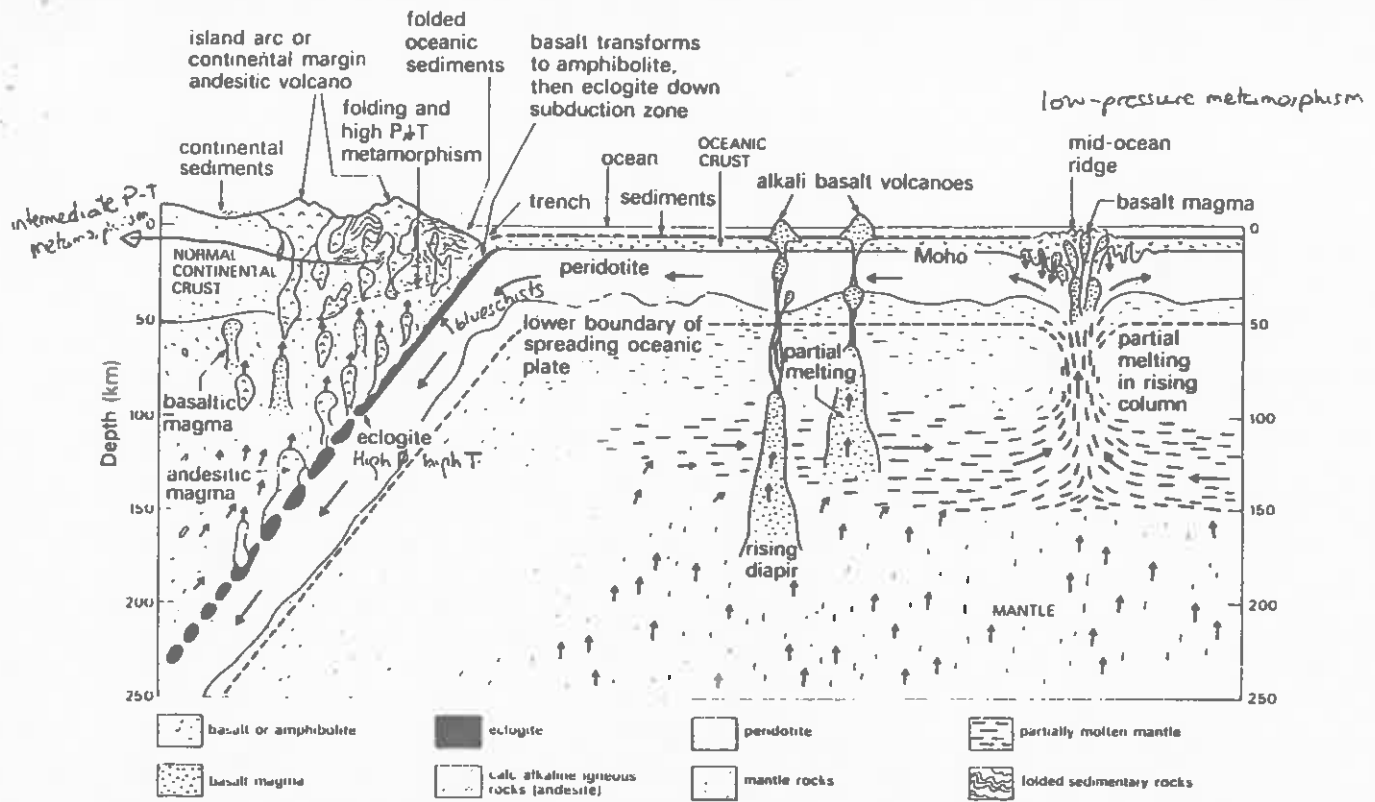
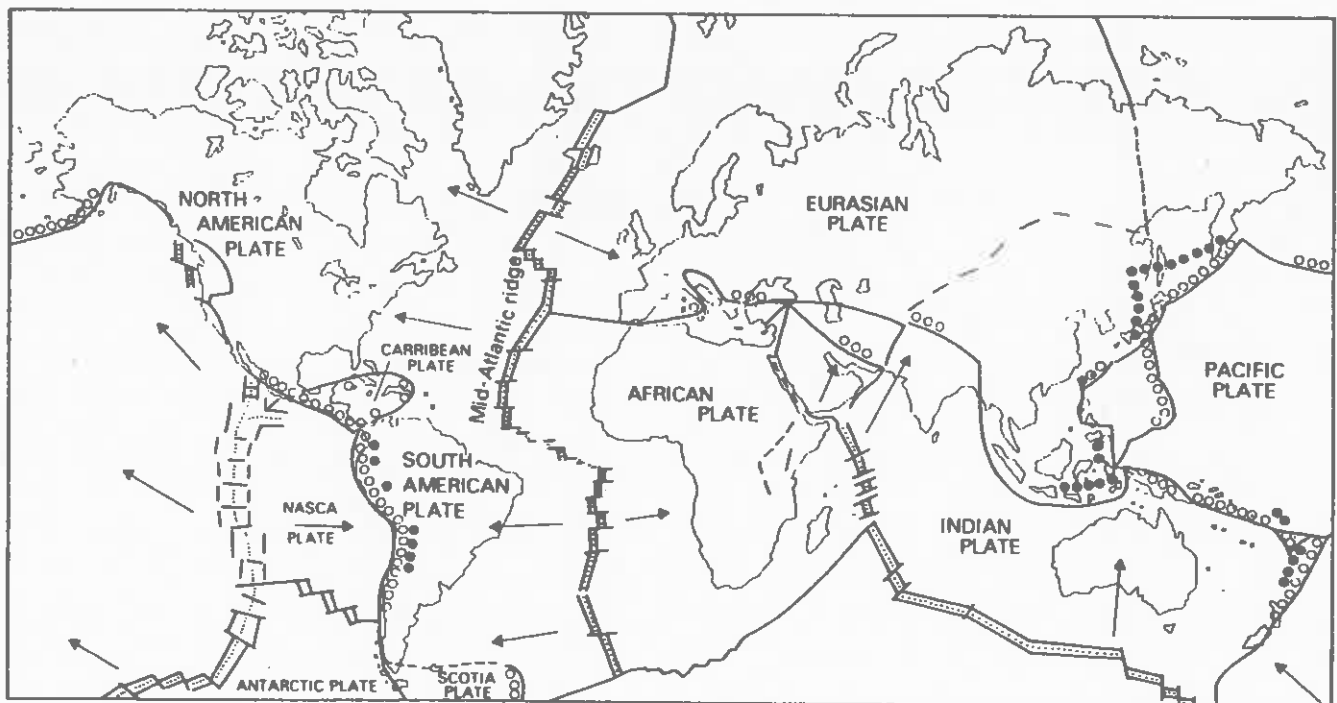


Figure 13 Tectonic plate margins: schematic section through a mid-oceanic ridge (constructive margin) and a subduction zone (destructive).



- // actively spreading ridge crests
- direction of spreading, length of arrow proportional to spreading rate
- shallow focus earthquakes 0-100 km
- intermediate focus earthquakes 100-500 km
- ⊃ transform faults
- ⋯ continental outline (modern coast)
- deep focus earthquakes > 700 km

Figure 13 Lithospheric plates, showing features at plate boundaries. Crustal plates are bounded by active ridge crests, transform faults, trench systems and zones of compression (young fold mountain belts). Spreading rates: $\sim 1 \text{ cm y}^{-1}$ at Iceland, $\sim 9 \text{ cm y}^{-1}$ in equatorial Pacific Ocean.

PROCES	ROCA ORIGINARIA	ROQUES SEDIMENTARIES				ROQUES IGNIES			ULTRABASIQÜES
		PELLITES	QUARSITES ROQUES Q - F	CARBONATS		ACIDES	BASIQÜES		
MIDA GRA			ROQUES Q - F	PURS	IMPURS (marques)		Met. alta T	Met. alta P	
M. REGIONAL	gra fi 0.1 mm	PISARRA			CALCOPISSARRA	ESQUIST VERD	METABASITA	TALC	
	gra mig 0.1 - 1 mm	FIL.LITA	QUARSITA GNEISS	MARBRE	CALCOFIL.LITA		amb ZEOLITA	SERPENTINA	
	gra groller 1 mm homogeni	ESQUIST			ROCA CALCOSILICA- TADA (R. AMFIBO- LICA)	AMFIBOLITA	ESQUIST BLAU	GNEISS ULTRAMÀFIC	
	gra groller 1 mm heterogeni	GNEISS				GNEISS	ECLOGITA		
CONTACTE	gra fi 0.1 mm	PISARRA PIGALLADA	QUARSITA CORNIANA		CALCOPISSARRA				
	gra mig 0.1 - 1 mm	FIL.LITA PIGALLADA	Q - F	MARBRE	CALCOFIL.LITA				
	gra groller 1 mm heterogeni	(ESQUIST PIGALLAT) CORNUBIANITA	Quars Q - Feld. Cq, est, fK)	Calcita Dolomita	CORNIANA CALCOSILICATA (C. AMFIBOLICA)	Q, F, filosil. Ca, Do, filos. Di, Gr, Wo	Amf blaus, Pl, Gt, Px	Serp, Talc Amf Mg	

CLASSIFICACIO DE LES
ROQUES METAMORFIQUES

M. Liesa, 1989

▲ conditions metamorphiques

▲ conditions metamorphiques

NOMENCLATURA I CLASSIFICACIO DE LES ROQUES METAMORFIQUES

Les característiques principals de les roques metamòrfiques són la seva mineralogia i microestructura. Aquestes característiques estan condicionades per la mineralogia i microestructura de la roca primària de la qual provenen (ígnia, sedimentària o metamòrfica) així com del caràcter del metamorfisme (tèrmic, dinàmic...). Amb la intervenció de tantes variables i de diferent natura, la classificació de les roques metamòrfiques esdevé complexa, ja que no es pot sistematitzar. En aquest cas s'hauria de parlar més pròpiament de nomenclatura de les roques metamòrfiques, en la qual poden haver-hi roques no classificades i, al contrari, solapament de termes.

Donada la dependència de les roques metamòrfiques respecte de la roca ígnia o sedimentària de la qual provenen, la classificació més completa serà aquella que parteixi de les roques primàries. Aquesta divisió genètica pot resultar, en ocasions, poc còmoda d'utilitzar, donat que presenta molts noms. Atenent a aquest criteri Williams et al., 1957; Semenenko, 1967 i Hejtman, 1962, 1977) han proposat la següent classificació, la qual ha estat lleugerament modificada i simplificada. A més, s'hi afegeix el tipus de textura, ja que en alguns casos aquesta dóna una informació definitiva del procés que ha format la roca. Aquest fet és sobretot evident en les metapelites.

Equivalents metamòrfics de les roques sedimentàries

Aquestes roques es poden anomenar també **paraderivades**. El prefix **para-** seguit del nom de la roca metamòrfica (per exemple **paragneiss**) s'utilitza per a designar l'origen sedimentari de la roca considerada.

Pelites o lutites:

Metapelites

Afectades per metamorfisme regional:

textura foliada (< 1mm)

textura esquistosa (>1 mm)

pissarra

mida de gra fina (<0.1 mm)

fil.lita

mida de gra mitja (0.1 - 1.0 mm)

esquist

mida de gra grollera (>1 mm, homogènia)

gneiss pelític

mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia)

Afectades per metamorfisme de contacte:

textura granoblàstica

corniana pelítica o cornubianita (ang: hornfels)

Si la roca havia sofert prèviament un metamorfisme regional i encara conserva característiques microestructurals d'aquest procés, s'utilitzen els termes del metamorfisme regional seguits de l'adjectiu pigallat (cast: moteado).

pissarra pigallada
fil.lita pigallada
esquist pigallat

Textura més o menys foliada o granoblàstica en funció de l'hàbit dels minerals i del procés metamòrfic sofert.

Afectades per metamorfisme regional o contacte

Psefites o arenites:

metaquarsites
mida de gra fina a grollera

metaarcoses (paragneiss)
mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia)

metagrauvaques (paragneiss)
mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia)

Psamites, rudites o conglomerats:

metaconglomerats
mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia)

Carbonats (calcàries i dolomies):

marbres
mida de gra fina a grollera

Roques margoses:

Afectades per metamorfisme regional:

textura foliada (<1 mm)
textura bandada (>1 mm)

calcopissarres
mida de gra fina (<0.1 mm)

calcofil.lites
mida de gra mitja (0.1 - 1.0 mm)

roques calcosilicatades
mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia)

amfibolites (composicions riques en Fe-Mg)
mida de gra grollera (>1 mm), homogènia a heterogènia).

Afectades per metamorfisme de contacte:

corniana calcosilicatada
(corniana amfibòlica)

Equivalents metamòrfics de les roques ígnies

Aquestes roques es poden anomenar també ortoderivades. El prefix orto- seguit del nom de la roca metamòrfica (per exemple ortogneiss) s'utilitza per a designar l'origen igni de la roca considerada.

Només són afectades pel metamorfisme regional. No es considera el metamorfisme de contacte, ja que aquest té lloc a temperatura inferior a la de formació de les roques ígnies i, per tant, no sol modificar la seva mineralogia.

textura foliada

Roques ígnies àcides:

ortogneiss

mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia)

Roques ígnies bàsiques:

metabasites

Classificació segons el tipus de metamorfisme:

*** Procés regional d'alta temperatura**

esquistos verds

mida de gra fina a mitjana (<0.1 mm - 1mm)

amfibolites

mida de gra grollera (>1 mm, homogènia)

gneiss amfibòlic

mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia)

granulites bàsiques

mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia)

*** Procés regional d'alta pressió**

metabasites amb zeolita

mida de gra fina a mitjana (<0.1 mm - 1mm)

esquistos blaus

mida de gra grollera (>1 mm, homogènia)

eclogites

mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia)

Roques ígnies ultrabàsiques:

No formen sèries de metamorfisme prògrad, noms diversos en funció de diferents composicions de les roques.

talc

mida de gra fina a mitjana (<0.1 mm - 1mm)

serpentinites

mida de gra fina a mitjana (<0.1 mm - 1mm)

esquistos clorítics

mida de gra fina a mitjana (<0.1 mm - 1mm)

gneiss ultramàfic

mida de gra grollera (>1 mm, heterogènia)

Les roques afectades per metamorfisme dinàmic reben una nomenclatura específica, referida a aquesta característica, independent de la composició de la roca. Si la roca presenta una microestructura no foliada s'anomena cataclasita; si, pel contrari, és foliada s'anomena milonita. Aquests termes es poden utilitzar com adjectius si interessa resaltar la naturalesa de la roca original que ha sofert el procés milonític o cataclàstic. Per exemple esquist milonític, gneiss cataclàstic.

PROCES	ROCA ORIGINARIA	ROQUES SEDIMENTARIES				ROQUES IGNIES			ULTRABASIQUES
		MIDA GRA	PELITES	QUARSITES		ACIDES	BASIQUES		
				ROQUES Q - F	PURS		CARBONATS IMPURS (marques)	Met. alta T	
M. REGIONAL	gra fi 0.1 mm	PISSARRA	QUARSITA GNEISS	MARBRE	CALCOPISSARRA	GNEISS	ESQUIST VERD	METABASITA	TALC
	gra mig 0.1 - 1 mm	FIL.LITA			CALCOFIL.LITA		amb ZEOLITA	SERPENTINA	
	gra groller 1 mm homogeni	ESQUIST	ROCA CALCOSILICA- TADA (R. AMFIBO- LICA)	AMFIBOLITA	ESQUIST BLAU	GNEISS ULTRAMÀFIC			
	gra groller 1 mm heterogeni	GNEISS		GNEISS AMFIBÒLIC	ECLOGITA				
CONTACTE	gra fi 0.1 mm	PISARRA PIGALLADA	QUARSITA CORNIANA Q - F	MARBRE	CALCOPISSARRA				
	gra mig 0.1 - 1 mm	FIL.LITA PIGALLADA			CALCOFIL.LITA				
	gra groller 1 mm heterogeni	(ESQUIST PIGALLAT) CORNUBIANITA			CORNIANA CALCOSILICATA (C. AMFIBOLICA)				
		Q-filosil. (and,sil,dist, cd, est, fk)	Quars Q - Feld.	Calcita Dolomita	Ca, Do, filos. Di, Gr, Wo	Q, F, filosil.	Pl, Amf, Ep	Amf blaus, Pl, Gt, Px	Serp, Talc Amf Mg

CLASSIFICACIO DE LES
RÒQUES METAMORFIQUES

M. Liesa, 1989

Δ conditions metamorfiques

Δ conditions metamorfiques

EL RENOVAMENT MINERALOGIC I MICROSTRUCTURAL DE LES ROQUES METAMORFIQUES

Montserrat Liesa

El metamorfisme és un canvi mineralògic i microstructural d'una roca en estat sòlid, produït perquè les condicions pressió - temperatura a les què se sotmet durant el procés metamòrfic són diferents a aquelles a les quals es va formar. La roca originària pot ésser una roca ignea, sedimentària o una altra roca metamòrfica. El metamorfisme, a més de l'estadi final estudia els passos intermedis (fig. 1).

L'objectiu de l'estudi de les roques metamòrfiques és conèixer l'evolució que ha sofert la roca i la seva relació amb el procés que l'ha format.

Els límits del metamorfisme se situen entre la diagènesi (roca sedimentària) i la fússió parcial de la roca (roca ignea) (fig. 2).

La roca resultant d'un procés metamòrfic depèn de:

-Roca originària:

Natura, composició, microestructura primària

-Metamorfisme:

Trajectòria del metamorfisme dintre del camp P-T (fig. 1).

Presència o absència de fluids (CO₂ i H₂O essencialment)

Procés metamòrfic que l'ha format a escala regional:

Procés eminentment tèrmic (ΔT)

Procés eminentment dinàmic (pressió d'esforços tectònics)

Procés dinamo-tèrmic (pressió d'esforços tectònics actuant a profunditat i a una temperatura dintre del camp del metamorfisme).

Influència de la temperatura.

Facilita les reaccions metamòrfiques.

D'on surt el calor (fig. 3):

- del mantell

- desintegració d'isòtops radiactius

Aports locals de calor:

- magma

El flux de calor cedit per les roques a la superfície terrestre és causat directament per la incidència dels dos primers factors (fig. 4):

- normal a les zones internes de les plaques (lleugerament superior a les continentals que a les oceàniques a causa de la major abundància d'isòtops radiactius)

- inferior al normal a les zones de subducció

- superior al normal a les dorsals oceàniques.

Influència de la pressió

Hi ha diversos tipus de pressió que s'exerceixen sobre les roques:

Pressió litostàtica

Pressió produïda pel pes de la columna de roques que té al damunt. Es isòtropa, no produeix deformació a les roques. Tendeix a cohesionar la roca (fig. 5).

Pressió d'esforços tectònics

Pressió més intensa en un sentit que en els altres. Es anisòtropa i és responsable de la deformació de les roques.

Pressió de fluids

Exercida pels fluids intersticials de la roca. Si la P fluids és superior a la litostàtica els fluids tendeixen a formar esquerdes i escapar-se. Si és igual o inferior romanen dintre de la roca (fig. 5).

La interacció, durant un temps prolongat, dels factors temperatura i dels diversos tipus de pressió es manifesta en un desequilibri de la mineralogia i de la microestructura original de la roca i en una adaptació a les noves condicions P-T. Per tal de restablir-se l'equilibri es forma una nova mineralogia i una nova microestructura, estable a les noves condicions.

Canvis soferts per les roques metamòrfiques

Canvi microestructural

Control de la temperatura:

Temperatura

Un increment de temperatura provoca la cristal·lització - recristal·lització dels grans. Facilita la nucleació i creixement dels grans.

Es formen microestructures tèrmiques (fig. 6a).

Per exemple una aurèola de metamorfisme de contacte (fig. 6b).

Control de la pressió esforços tectònics:

Afavoreix el trencament i la disminució de la mida de gra

Microestructures dinàmiques (fig. 7a,b).

Per exemple una bretxa de falla (fig. 7a) o una milonita (fig. 7b).

Control mixt Temperatura + Pressió d'esforços tectònics + Pressió litostàtica

Cristal·lització - recristal·lització dels grans controlada per la deformació (fig. 8a, b, c).

Microestructures dinamo-tèrmiques (fig. 8a).

Les microestructures dinamo-tèrmiques són les més comunes. En general es produeix un increment de la mida de gra, aparellat amb l'increment del metamorfisme (fig. 8b, c)

la formació de minerals amb volum molar baix (xarxa cristal·lina més densa).

Exemples (fig. 12):

canvi polimorf dels aluminosilicats (Al_2SiO_5)

distena: volum molar baix, estable a alta P

andalusita: volum molar mig, estable a baixa P-T

sil·limanita: volum molar alt, entropia alta, estable a alta T

Jadeïta	+ quars	→	albita
$NaAlSi_2O_6$	+ SiO_2	→	$NaAlSi_3O_8$
alta pressió			baixa pressió

Les associacions minerals més característiques s'han determinat experimentalment per tal de saber a quines temperatures i pressions tenen lloc les reaccions. Per exemple figs. 10, 11 i 12. L'estudi de les associacions minerals permet la reconstrucció de les condicions P-T del darrer estadi, en general de l'estadi de màxima P-T o clímax metamòrfic.

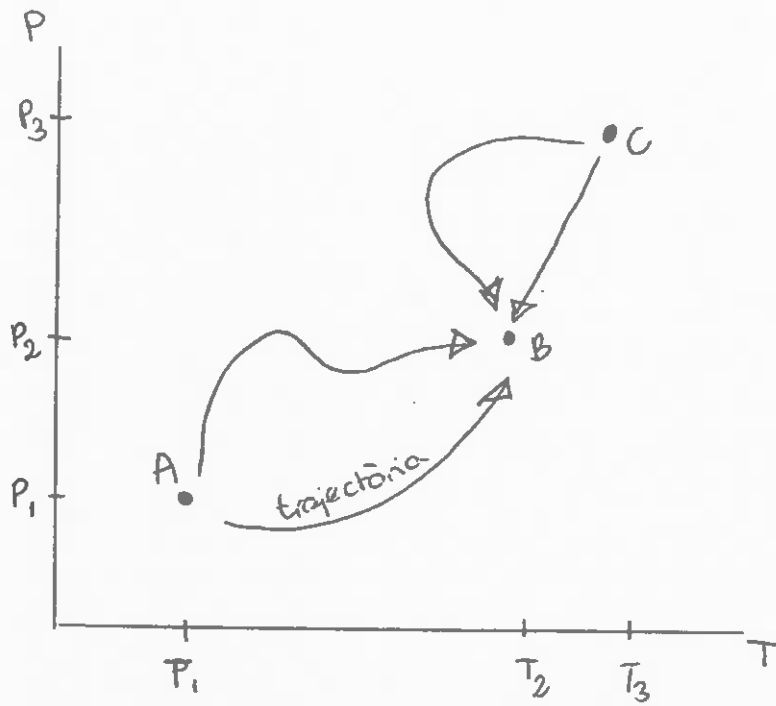
Conclusions

A partir de les microstructures de la roca i les associacions mineralògiques es pot determinar

- el tipus de metamorfisme que ha format la roca
 - tèrmic
 - dinàmic
 - dinamo-tèrmic
- la història metamòrfica deformativa de la roca
 - diverses fases de deformació enregistrades
- màximes condicions P-T
 - associació mineralògica o paragènesi del clímax metamòrfic
- context geodinàmic on s'ha format, dintre del marc de la tectònica de plaques (fig. 12, 13):
 - metamorfisme d'alta P/baixa T ⇒ zona compressiva
 - metamorfisme de P intermèdia ⇒ zona compressiva (a la vora del continent)
 - metamorfisme d'alta T/baixa P ⇒ zona distensiva

BIBLIOGRAFIA

- ** BARD, J.P., 1979. Microtexture des roches magmatiques et métamorphiques. Masson, Paris. 192 pp.
- ** BEST, M.G. , 1982. Igneous and metamorphic petrology. W. H. Freeman and Co., New York, 630 pp.
- ** D'AMICO, C., INNOCENTI, F. & SASSI, F. P. , 1987. Magmatismo e metamorfismo. Utet. Scienze della Terra. 536 pp.
- * FRY, N., 1984. The field description of metamorphic rocks. Geol. Soc. London, Handbook series. 110 pp.
- * GILLEN, C., 1982. Metamorphic Geology: An introduction to tectonic and metamorphic processes. G. Allen & Unwin, London. 144 pp.
- * INGLES, M. MARTI, J. PALAU, J., 1986. Les roques. Introducció a la Petrologia. Ketres editora. Col.lecció Ventall, 7.
- ** MASON, R. , 1978. Petrology of the metamorphic rocks. G. Allen & Unwin, London, 254 pp.
- ** MIYASHIRO, A. , 1973. Metamorphism and metamorphic belts. G. Allen & Unwin, 492 pp.
- *** OXBURGH, E.R., YARDLEY, B.W.D. & ENGLAND, P.C., eds. , 1987. Tectonic settings of regional metamorphism. Phil. Trans. R. Soc. London, 1-276.
- *** POWELL, R. , 1978. Equilibrium thermodynamics in petrology. Harper & Row, Publishers, London, 284 pp.
- ** SPRY, A. 1969. Metamorphic Textures. Pergamon press, Oxford.
- ** TURNER, F.J. & VERHOOGEN, J. , 1951. Igneous and metamorphic petrology. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 694 pp.
- ** VERNON, R.H. 1976. Metamorphic processes. Reactions and microstructure developement. G. Allen & Unwin, 247 pp.
- ** WINKLER, M.G.F., 1967. Petrogenesis of metamorphic rocks. Springer-Verlag. New York. 2a ed., 348 pp.
- *** WOOD, B.J. & FRASER, D.G. , 1977. Elementary thermodynamics for geologists. Oxford University Press; Oxford, 303 pp.
- ** YARDLEY, B.W.D., 1989. An introduction to metamorphic petrology. Longman Earth Science Series. London, 248 pp.



A: r. sedimentària
 B: r. metamòrfica
 C: r. ígnia

Fig 1

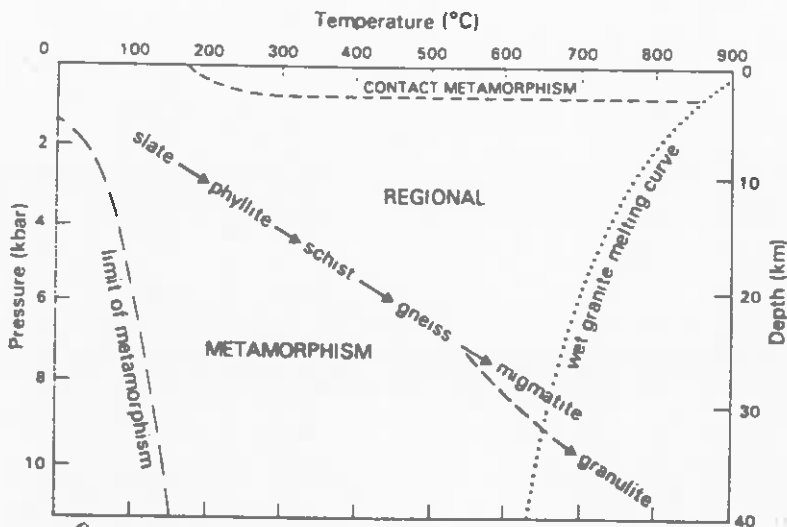


Figure 2 Pressure-temperature diagram on which are located the positions where conditions are suitable to produce slates, etc. from pelitic sediments.

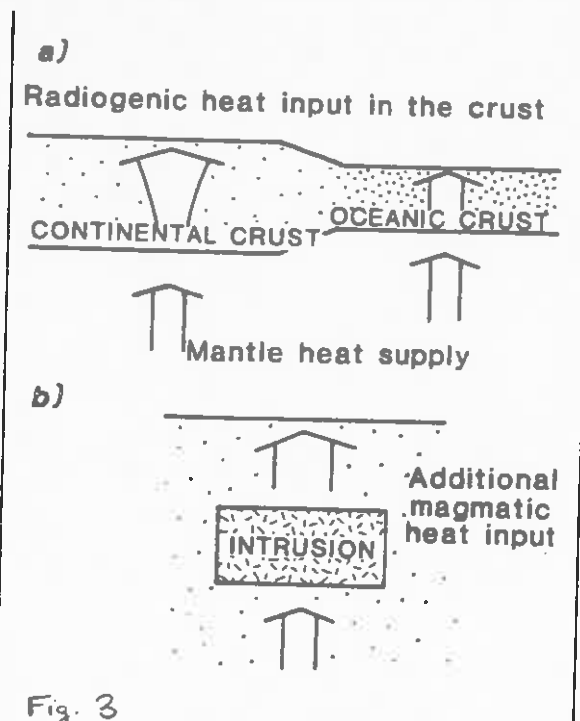


Fig. 3

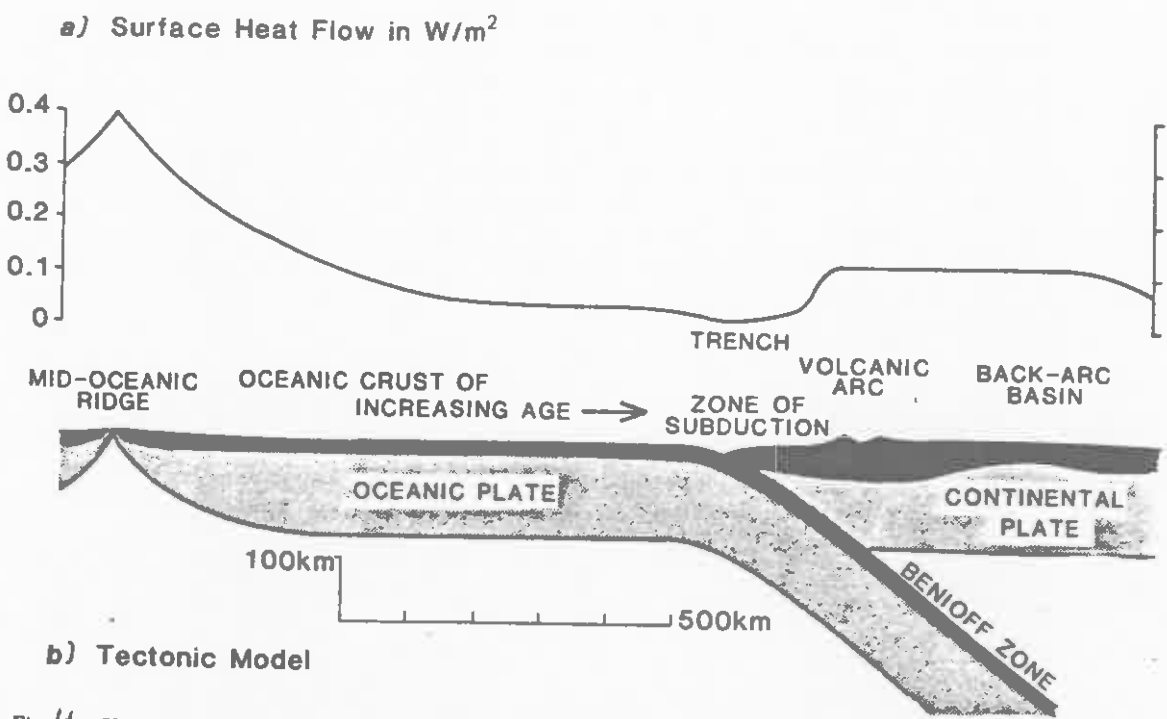


Fig. 4 Variation in the surface heat flow measured at different parts of the earth (a) shown in relation to plate tectonic setting (b). Compiled from Oxburgh (1974).

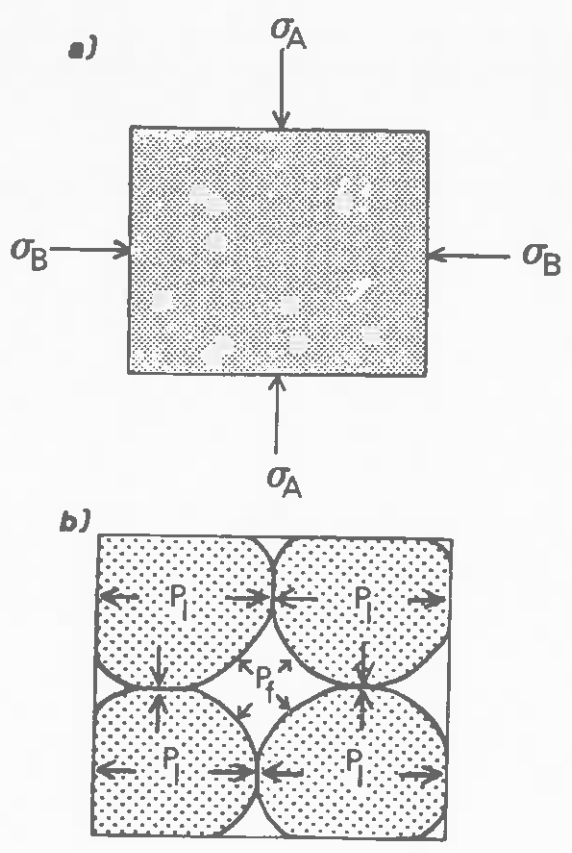
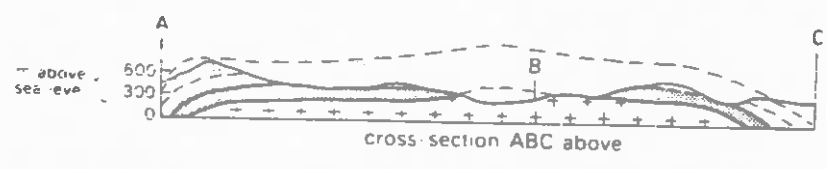
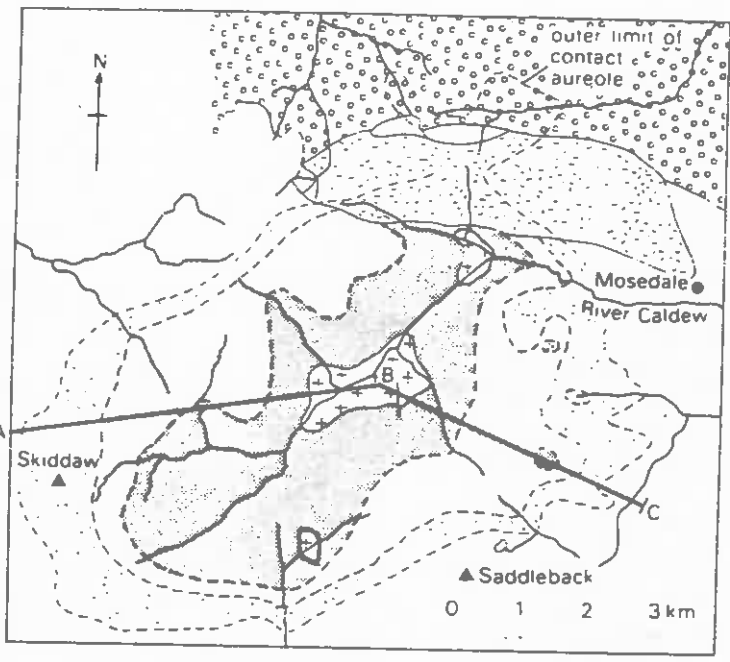
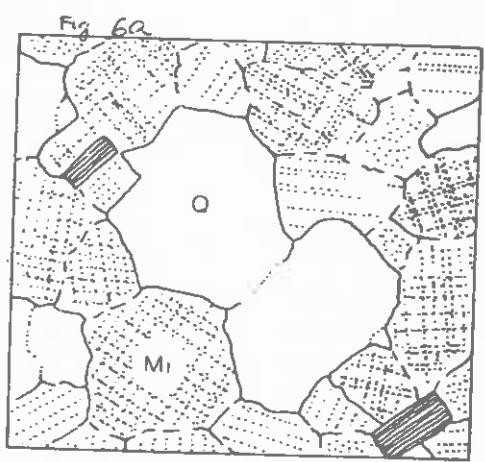


Fig 5



- Key**
- Skiddaw granite
 - Carrock Fell Complex (mostly gabbro)
 - Borrowdale Volcanic Series
 - Skiddaw Slate (not contact metamorphosed)
- Metamorphic zones in Skiddaw slate**
- outer spotted slate zone
 - andalusite slate zone
 - hornfels zone

Skiddaw aureole, Lake District. Fig 6b

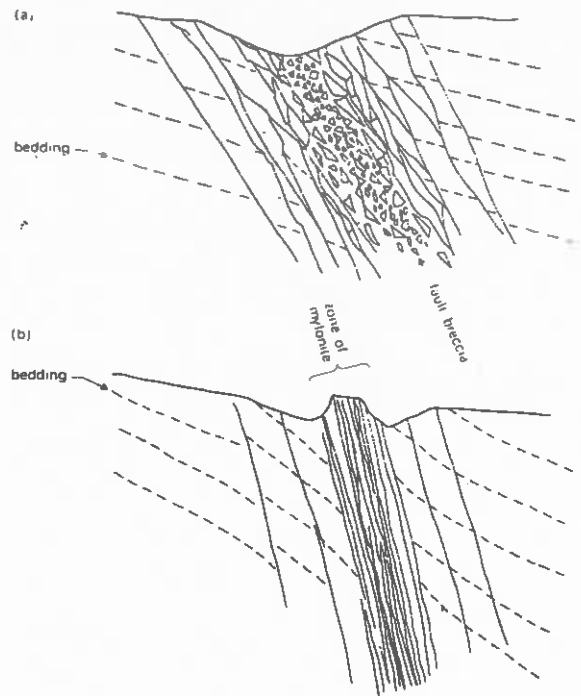


Figure 7 Cross sections through fault zones in massive rocks. (a) Fault zone with fault breccia, formed at shallow level in the Earth's crust. (b) Fault zone with mylonite, formed at deeper level.

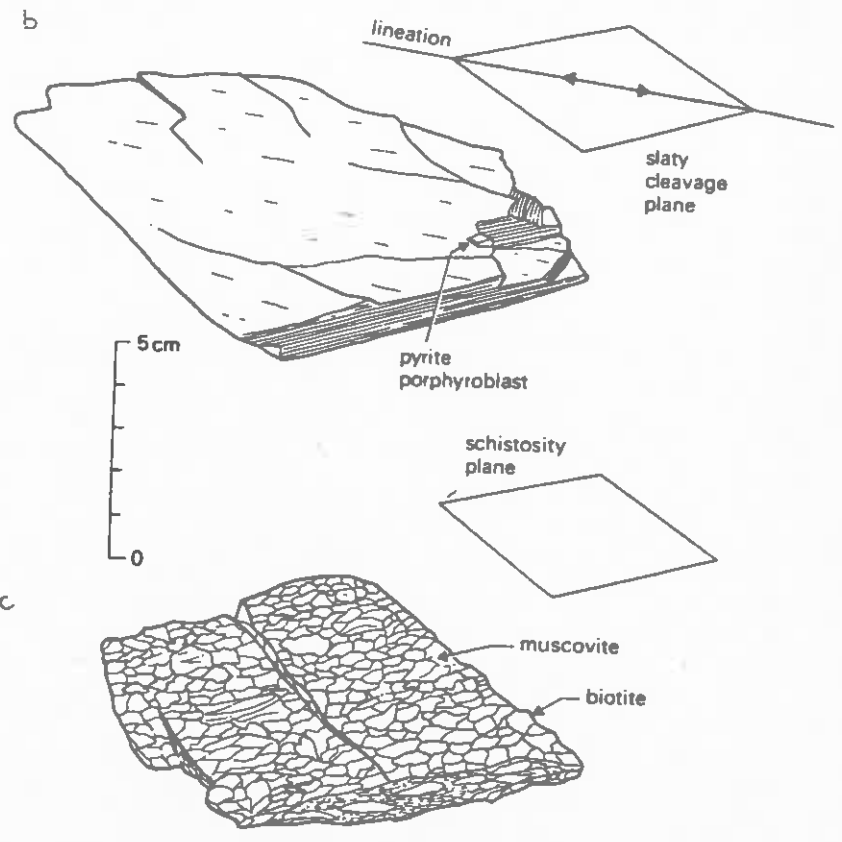
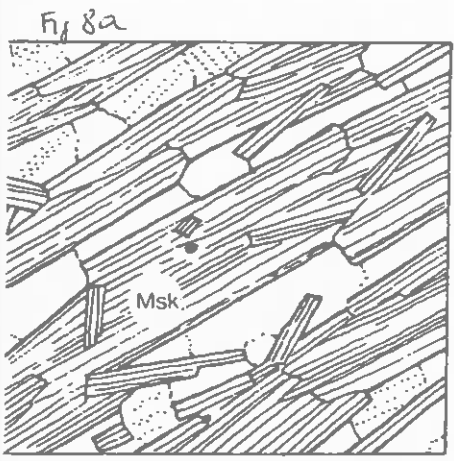


Figure 8 Sketches of hand-specimens of (b) slate and (c) schist to illustrate the more regular cleavage direction in slate. Individual muscovite and biotite flakes indicated in schist. Slate specimen from Ballachulish, Argyll; schist from Loch Stack, Sutherland.

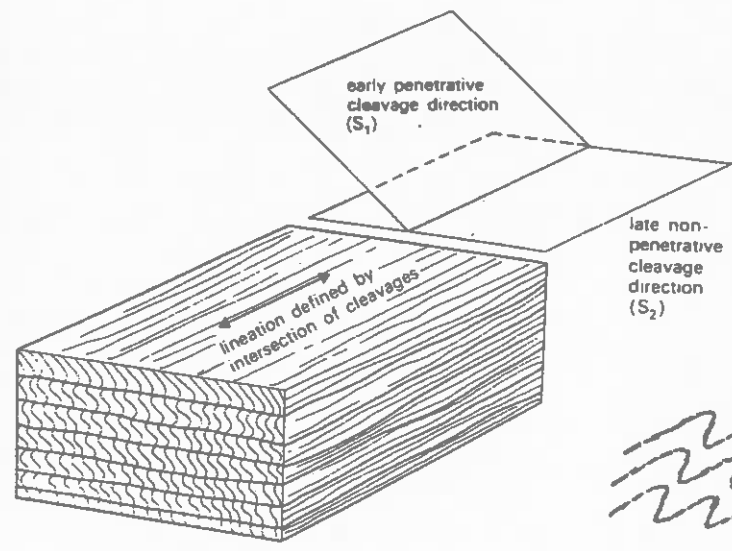


Fig 9

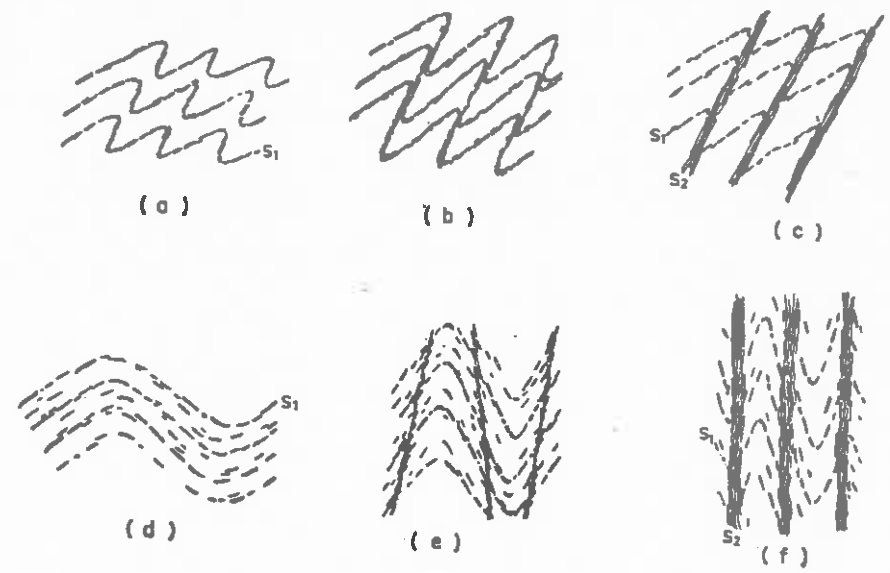


FIG. 9 Two foliations. Development of a second planar foliation S_2 during the deformation of the first foliation S_1 . (a), (b) and (c) successive stages in asymmetrical folding. (d), (e) and (f) successive stages in symmetrical folding

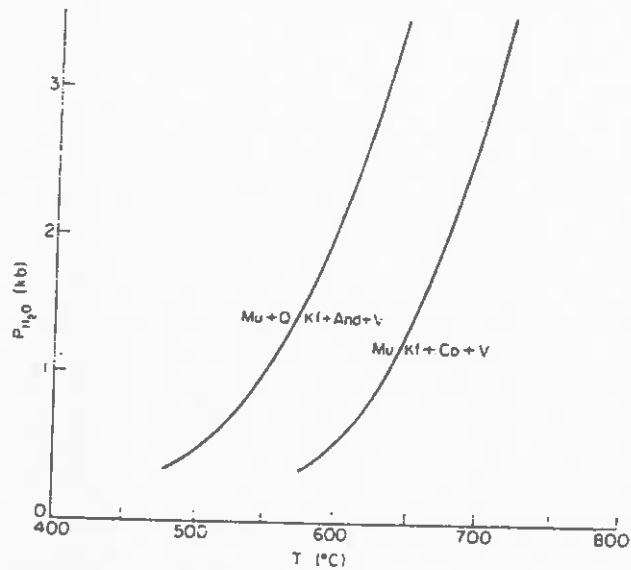


Fig. 10 P_{H_2O} - T curves showing the upper stability limits of (muscovite+quartz) and muscovite. After Evans (1965). *Amer. J. Science*, 263, pp. 655, 660. And=andalusite; Co=corundum; Kf=K-feldspar; Mu=muscovite; Q=quartz; V=water vapour.

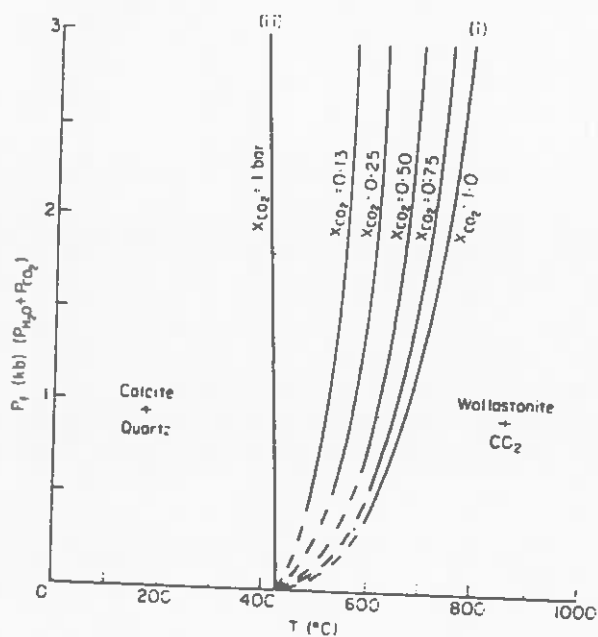


Fig. 11 Curves of univariant equilibrium for the reaction: calcite+quartz = wollastonite+ CO_2 as functions of $P_T (=P_{H_2O}+P_{CO_2})$ for various compositions of the fluid phase (expressed as X_{CO_2}). After Winkler, p. 35.²²

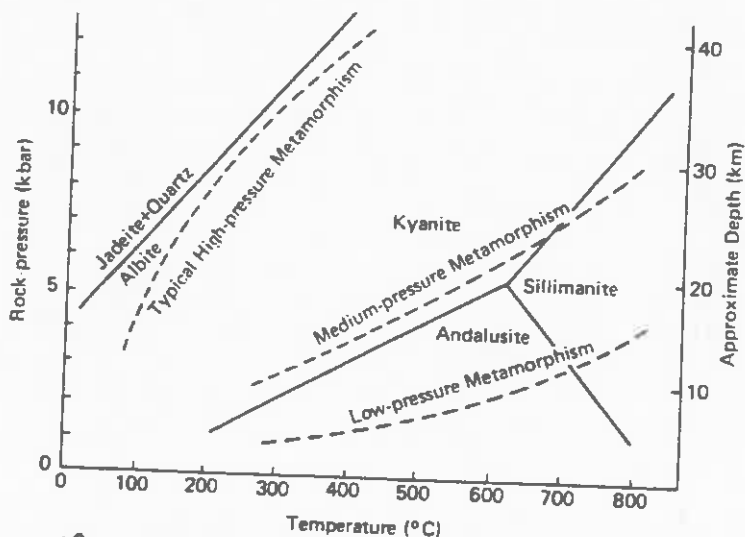


Fig. 12 Classification of metamorphic facies series in relation to the stability fields of Al_2SiO_5 minerals and jadeite.

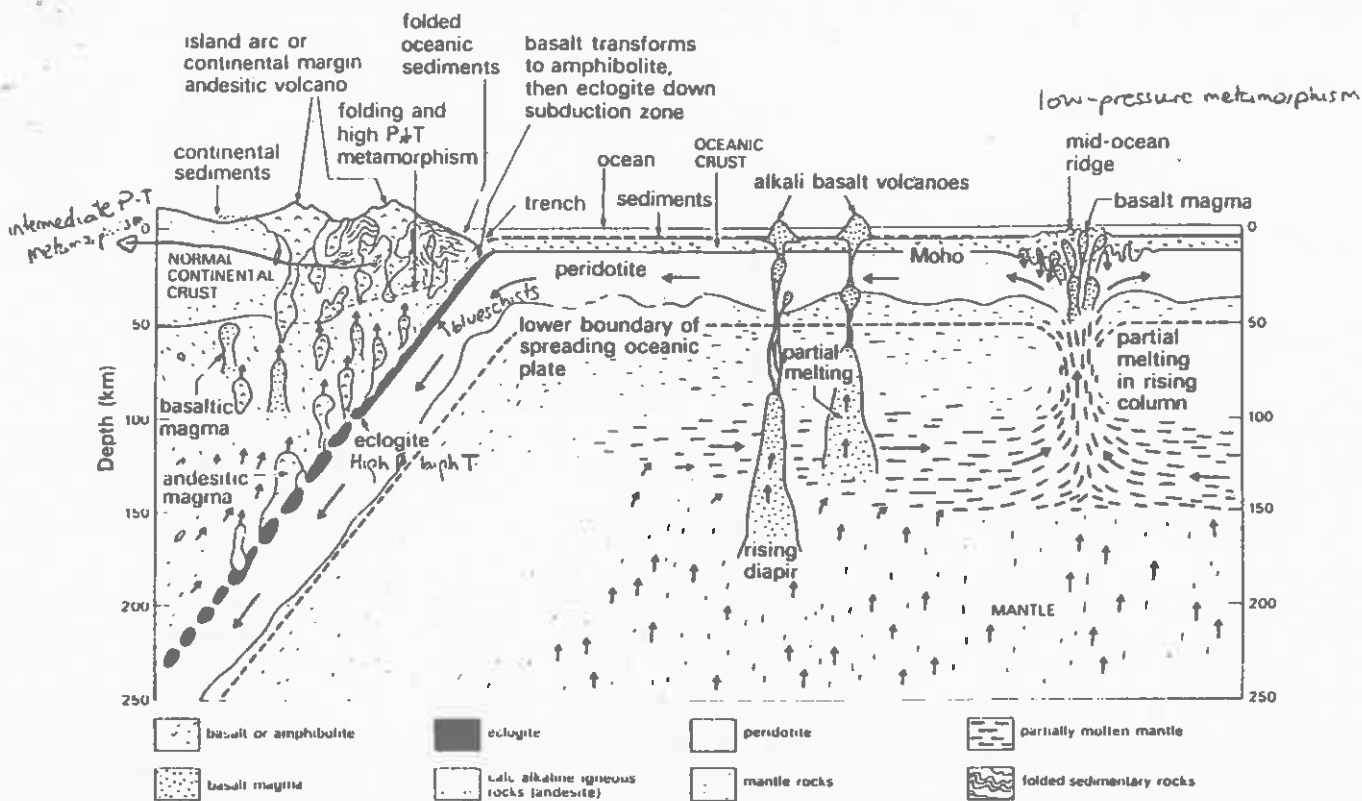


Figure 13 Tectonic plate margins: schematic section through a mid-oceanic ridge (constructive margin) and a subduction zone (destructive).

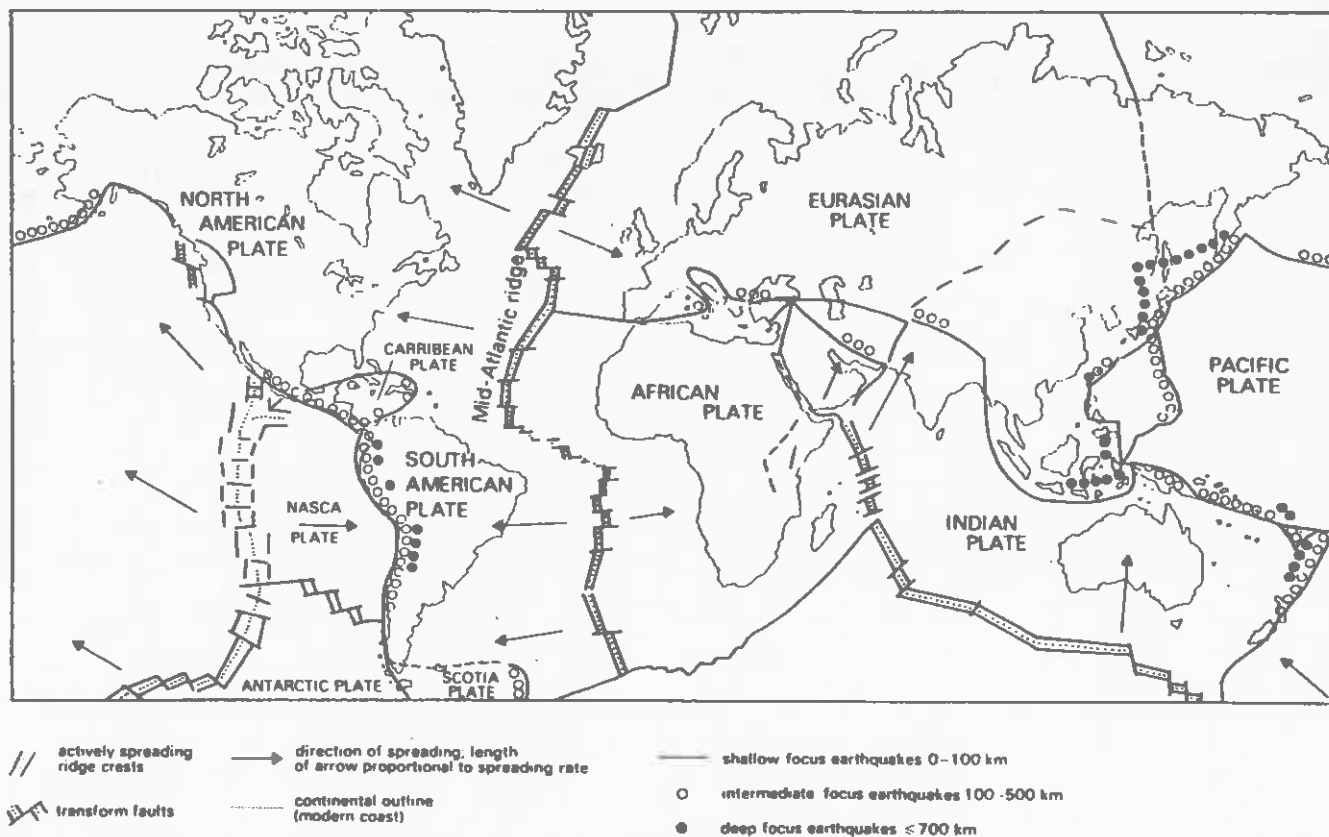


Figure 13 Lithospheric plates, showing features at plate boundaries. Crustal plates are bounded by active ridge crests, transform faults, trench systems and zones of compression (young fold mountain belts). Spreading rates: $\sim 1 \text{ cm y}^{-1}$ at Iceland, $\sim 9 \text{ cm y}^{-1}$ in equatorial Pacific Ocean.

CLASSIFICACIÓ DE LES ROQUES IGNEES

Criteris més emprats per a les diferents classificacions:

- Composició mineralògica
- Composició química
- Tipus de microestructura
- Condicions de jaciment
- Altres criteris

Composició mineralògica

Presència o absència de determinats minerals (minerals index).

Respecte al quarz:

- roques subsaturades (minerals incompatibles amb quarz)
- roques saturades (absència de quarz i de minerals incompatibles amb quarz)
- roques sobresaturades (presència de quarz)

Composició química

Percentatge de SiO₂:

- roques àcides (100 - 66% SiO₂)
- roques intermèdies (66 - 45% SiO₂)
- roques bàsiques (45 - 20% SiO₂)
- roques ultrabàsiques (< 20% SiO₂)

Microestructurals

- Textura granular
- Textura porfírica ...

Condicions de jaciment

- Intrusives Plutòniques
 Hipabissals
- Extrusives o Volcàniques

Altres criteris

Index de color: Presència de minerals fèlsics o clars (quarz, feldspats i feldspatoïdes) o de minerals màfics o foscos (biotita, amfibols, piroxens, olivina i minerals opacs). Escala de 1 a 100% de minerals màfics.

- roques leucocràtiques M < 30%
- roques del mesotipus 30 < M < 60%
- roques màfiques 60 < M < 90%
- roques ultramàfiques M > 90%

CLASSIFICACIO RECOMANADA PER LA IUGS (INTERNATIONAL UNION OF GEOSCIENCES)

CLASSIFICACIO DE STRECKEISEN

- STRECKEISEN, A. (1973). *Geotimes*, 18, 26 - 30.
STRECKEISEN, A. (1976). *Earth Sci. Rev.* 12, 1 - 33
STRECKEISEN, A. (1979). *Geology*, 7, 331 - 335
STRECKEISEN, A. (1980). *Geol. Runds.*, 69, 194 - 207

Basada directament en la mineralogia i condicions de jaciment de les roques ignees i indirectament en llurs criteris microestructurals i composició química.

Classificació triangular.

Vértexs dels triangles, 100% del mineral considerat:

ROQUES PLUTONIQVES I VOLCANIQVES

Màfics < 90%

Triangle QAPF

Per a roques plutòniques i volcàniques
Basat en la incompatibilitat Q - F (quars + feldspatoïdes = feldspats)

- Q. quars
- A. Feldspat alcali
- P. Plagiòclasi
- F. Feldspatoïdes

Roques gabroiques

Per a roques plutòniques

- P. Plagiòclasi
- Px, Hb. Piroxè, Hornblenda
- Ol. Olivina

Màfics > 90%

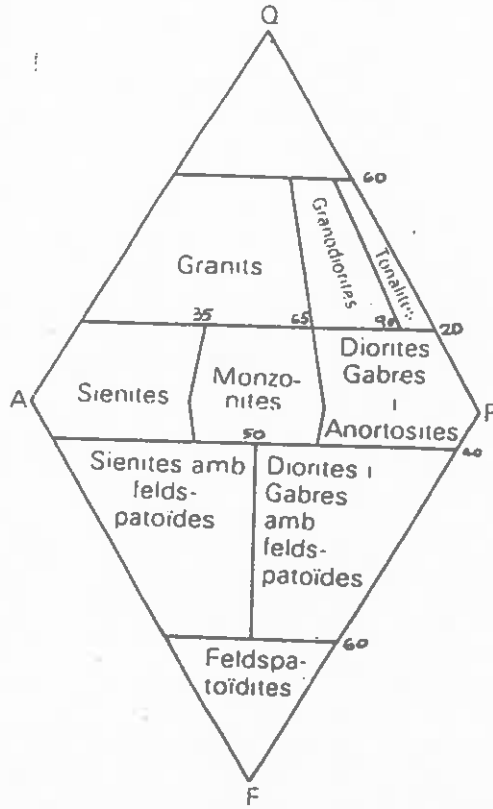
Roques ultramàfiques

Per a roques plutòniques

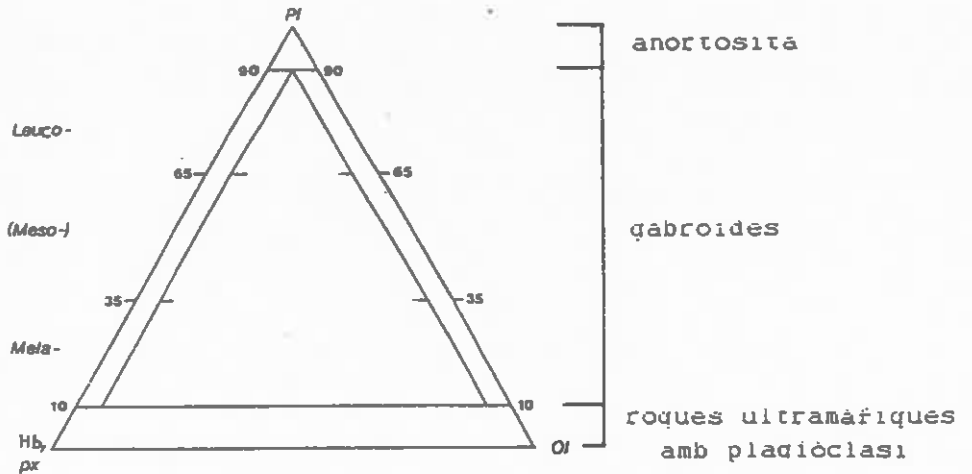
- Ol. Olivina
- Px. Piroxè
- Hb. Hornblenda

ROQUES PLUTONIQUES

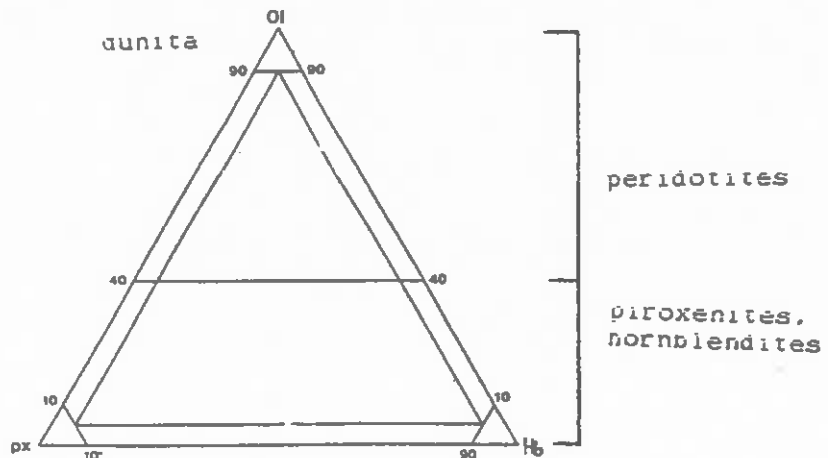
Màfics < 90%



Roques gabroiques

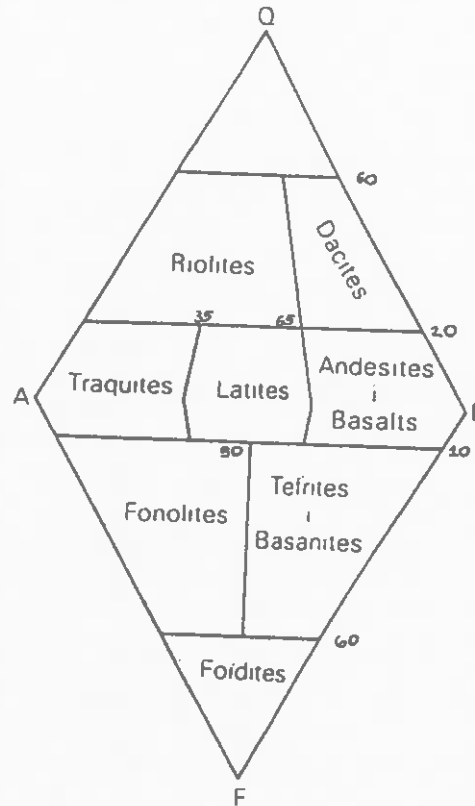


Màfics > 90%



ROQUES VOLCANIQUES

Màfics < 90%



ROQUES HIPABISSALS

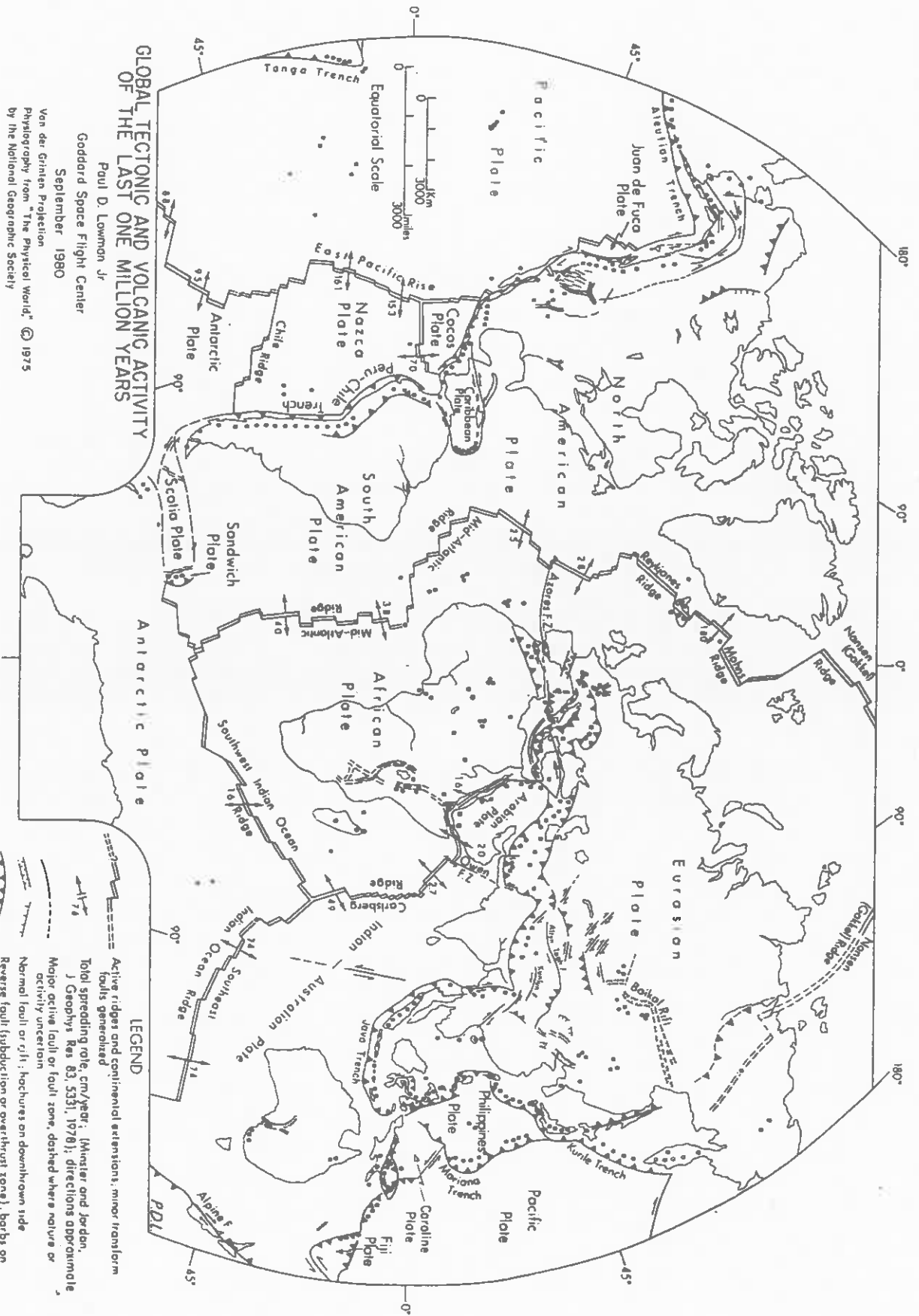
Classificació basada en els equivalents plutònics

Roques leucocràtiques

- Textura porfírica:
pòrfir + tipus de roca, segons el triangle QAPF (ex. pòrfir granític, pòrfir granodiorític...)
- Textura granular:
micro + tipus de roca, segons el triangle QAPF (ex. microgranit, microgranodiorita...)

Roques màfiques

- nomenclatures específiques



GLOBAL TECTONIC AND VOLCANIC ACTIVITY OF THE LAST ONE MILLION YEARS

Paul D. Lowman Jr
 Goddard Space Flight Center
 September 1980
 Von der Grinten Projection
 Physiography from "The Physical World," © 1975
 by the National Geographic Society

LEGEND

Active ridges and continental extensions: minor transform faults generalized

Total spreading rate, cm/year: (Munster and Jordan, J. Geophys. Res. 83, 5331, 1978); directions approximate

Major active fault or fault zone, dashed where nature or activity uncertain

Normal fault or rift: hachures on downthrown side

Reverse fault (subduction or overthrust zone), barbs on upthrown side

Volcanos active within the last 1 million years: generalized (some isolated basaltic centers omitted)

ARC VOLCANISM
 (basalts, andesites in oceanic arcs;
 andesites, dacites, rhyolites in continental arcs)

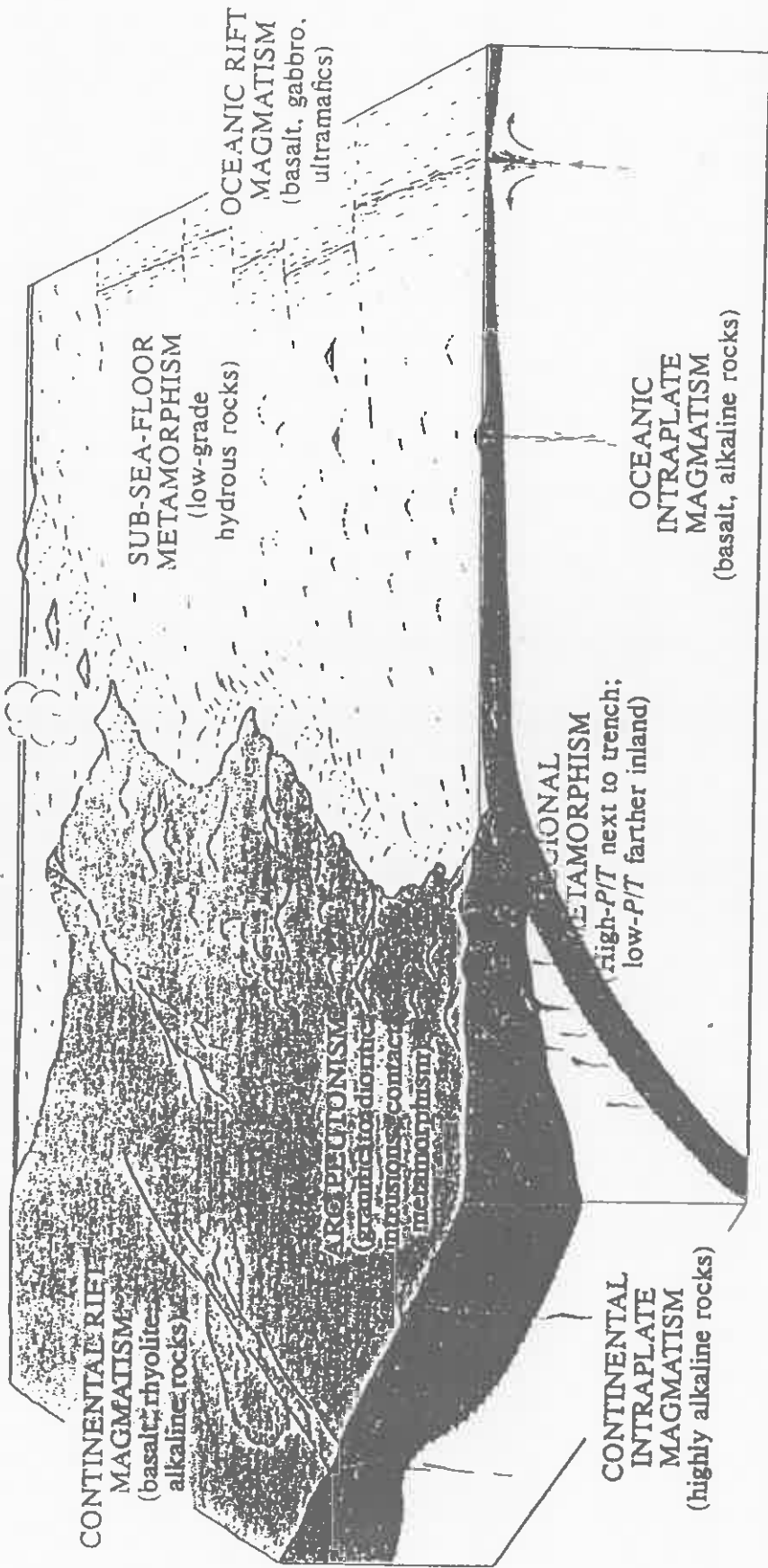
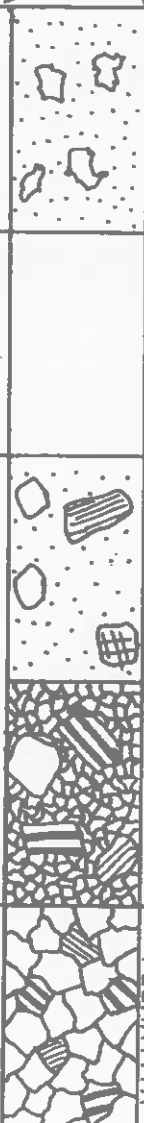


Figure 1-17 Idealized view of plate tectonic rock associations. Surface relief is somewhat exaggerated. Lithosphere is shaded dark gray.

CONDICIONS DE JACIMENT	COMPOSICIÓ QUÍMICA	← Δ SI, NA, K		→ Δ CA, FE, MG	
		COMPOSICIÓ MINERA-LÒGICA	← Δ Q, FK, PL NA		→ Δ PL CA, MIN. MAFICS BI, AMF, PX, OL
	% MAFICS		LEUCOCRÀTIQUES		MESOTIPUS
		% SiO ₂	ÀCIDES		INTERMÈDIES
	MICROSTRUCTURA		BRETxes VOLCÀNIQUES		OBSIDIANA
		PIROCLÀSTICA	VOLCÀNIQUES O EFUSIVES		AFANTICA
	VITREA		EXTRUSIVES		FANÈRICA
		PORFÍRICA	HIPABISALS		PLUTÒNIQUES
	GRANUDA		INTRUSIVES		INTRUSIVES
		MICROSTRUCTURA			

*-Δ si, q