



DEPARTAMENT DE GEOMORFOLOGIA I TECTÒNICA  
FACULTAT DE GEOLOGIA  
UNIVERSITAT DE BARCELONA

ESTUDI DE LA DEFORMACIÓ EN ELS  
GNEISS DEL MASSÍS DEL CANIGÓ.

MARÇ 1.984

JOSEP MARIA CASAS

Fig. 50. Microestructura de les milonites quars-feldspàtiques de la zona milonítica de Fontpedrosa-Nyer. A) Cristalls de calcita que destaquen per la seva mida de gra en una milonita quars-feldspàtica. Gorges de Nyer. Nícols encreuats (escala 1mm), B) Milonita derivada del granit de Mont-Lluís formada gairebé exclusivament per quars, moscovita i petits cristalls de calcita. El quars forma grans cristalls amb extinció ondulant i recristal·litització restringida. Gorges de Nyer. N. encreuats (escala 1 mm). C) Aspecte d'una protomilonita quars-feldspàtica. Formació d'ombres de pressió als extrems dels porfiroclastos de feldspat. El quars forma agregats policristal·lins granoblàstics. Gorges de Toès. N. encreuats (escala 0,1 mm), D) Milonita quars-feldspàtica. Gorges de Toès. Destaquen els porfiroclastos feldspàtics amb nombroses fractures (shear step) que originen la reducció de mida de gra per fragmentació d'aquests elements. La resta de la roca està formada per una matriu composta per filosilicats i ribbons de quars allargats paral·lelament a l'esquistositat., N. encreuats (escala 1 mm).



B



D



A



C

Per detectar si les roques que presenten aquestes transformacions mineralògiques sofreixen també algun tipus de variació en la seva composició química, he realitzat una sèrie d'anàlisis químiques de les milonites de les gorges de Nyer. Aquestes roques tenen una composició granítica (Fig.49). He triat roques amb un grau de deformació variable i amb una proporció variable també en el contingut en filosilicats. Les mostres provenen de les milonites dels voltants de l'Ermita de la Roca (al sud de Nyer). Les anàlisis mostren que les roques amb un contingut elevat de filosilicats sofreixen variacions detectables en el seu contingut en K, Fe i Na (Fig. 48 ) respecte les milonites amb una composició "normal". Aquestes variacions reforcen la suposició que la deformació està associada en aquestes roques a l'actuació d'una fase fluida. Aquesta fase produiria la redistribució de determinats elements al llarg de la zona de deformació i afavoriria els processos de retrogradació normalment - associats a les deformacions milonítiques a baixa temperatura (BEACH i FYFE, 1973; BOSSIERE i VAUCHEZ, 1978; BEACH, 1980).

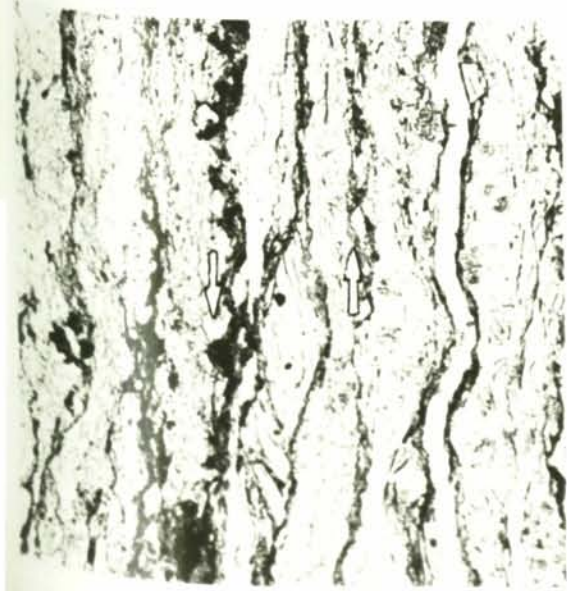
### Les filonites

Les filonites provenen de micasquistos i de corneanes deformades. Són roques de gra fi amb una esquistositat molt penetrant. Solen presentar agregats irregulars i allargats de sericita-miques blanques, els quals podrien ser antics porfiroblastos deformats i alterats durant el procés de milonitització. En aquestes roques el quarz presenta les mateixes característiques que en les milonites quarz-feldspàtiques (formació d'agregats policristal·lins allargats, cristalls poligonals equidimensionals, etc.).

L'esquistositat està definida per bandes alternants discontinues de quarz o de minerals filitosos,



Fig. 51, A) Cristall de moscovita amb fractures i geometria lenticular (lense shaped) en una milonita quars-feldspàtica de les gorges de Toès. Les petites ombres de pressió asimètriques i la disposició de cristalls són compatibles amb un sentit de cisalla sinistre a la fotografia. N. paral·lels (escala 0,1 mm), B) Biotita amb extinció ondulant i nombrosos kinks que afecten l'exfoliació principal. Protomilonita quars-feldspàtica. Gorges de Nyer N. encreuats (escala 0,1 mm), C) Plagiòclasi afectada per kinks i fractures. Protomilonita quars-feldspàtica. Gorges de Toès (escala 1 mm), D) Aspecte d'una filonita derivada d'un esquist milonititzat. L'esquistositat està definida per filosilicats amb orientació dimensional i agregats molt estirats de cristalls de quars. L'esquistositat està afectada per un sistema de shear-bands (NW-SE a la fotografia). Gorges de Nyer. N. encreuats. (escala 1 mm), E) Filonita formada exclusivament per filosilicats (clorita i moscovita) i per agregats granoblàstics equidimensionals de quars. Deriva d'un micasquist en fàcies amfibòlica retrogradat durant la milonitització. Milonites de la vall del Llec. N. encreuats (escala 0,1 mm).



A



B



C



D



E



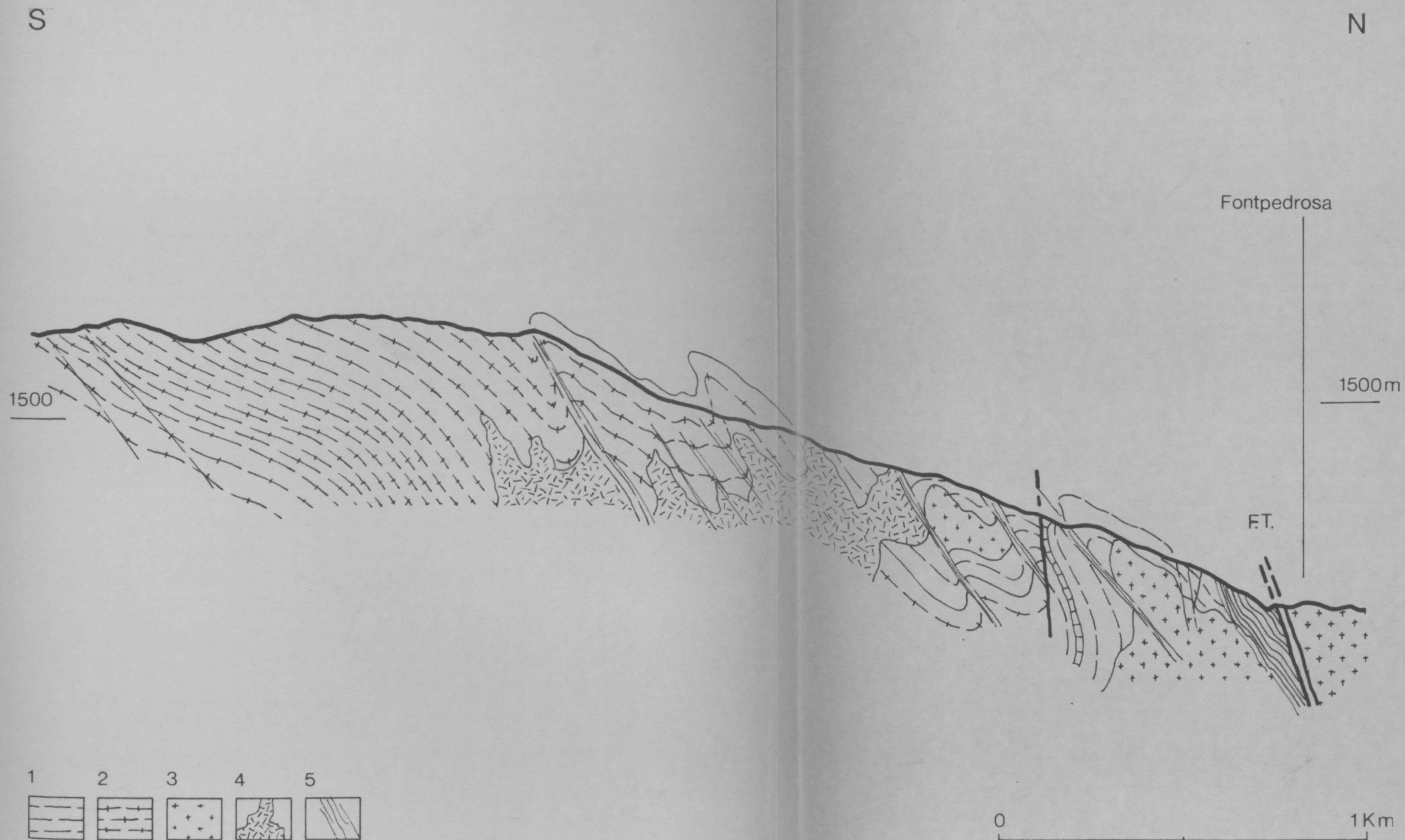


Fig. 52 Tall dels voltants de Fontpedrosa-Prats de Balaguer (situació a la figura 39). Llegenda 1: materials de la cobertura 2: gneiss, 3: granit de Mont-Lluís, 4: Leucogranit (granit Profund del Canigó), 5: esquistositat milonítica, F.T.: Falla de la Tet.

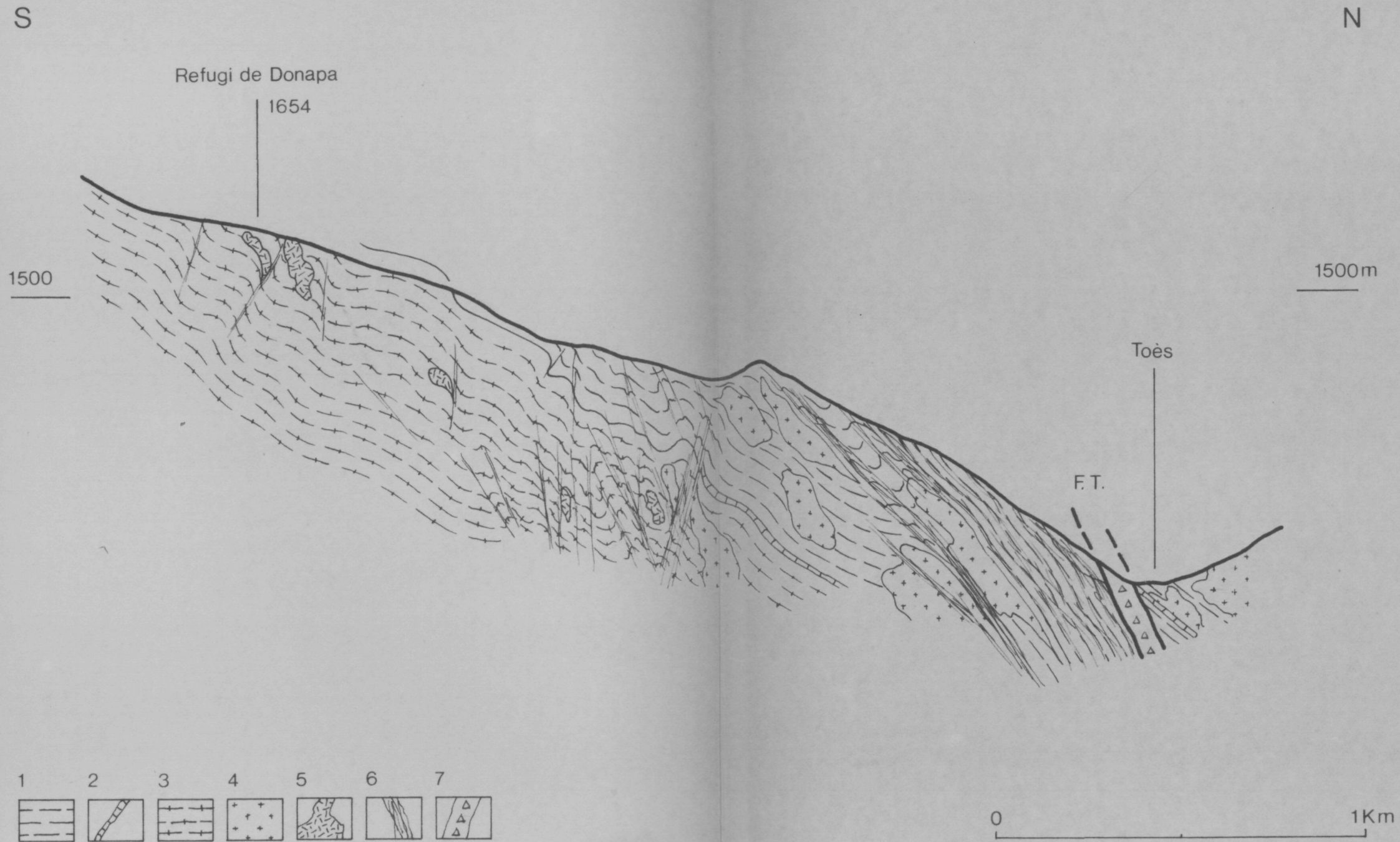


Fig. 53 Tall de la zona milonítica dels voltants de Toès (gorges de Carançà) - situació a la figura 39 - . Llegenda, 1: esquistos de la cobertora, 2: marbres, 3: gnèss ocellars (G-2), 4: granit de Mont-Lluís, 5: leucogranit (Granit Profund del Canigó), 6: esquistositat milonítica, 7: materials de falla, F.T.: falla de la Tet.



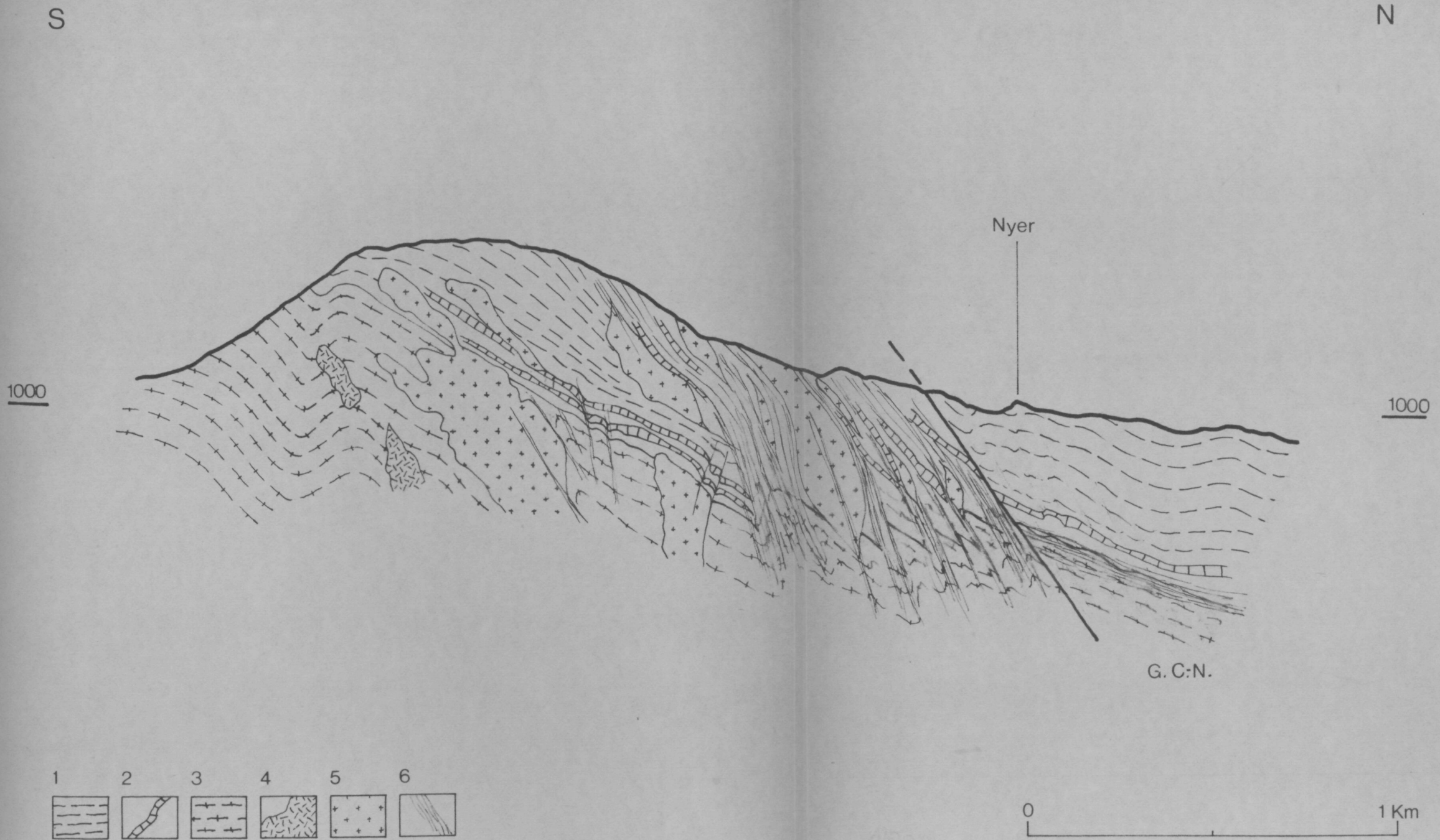


Fig. 5.4 Tall de les gorges de Nyer. (situació a la figura 39). Llegendra, 1: esquists de la cobertura, 2: marbres, 3: gneiss, 4: Leucogranit (granit Profund del Canigó), 5: granit de Mont-Lluís, 6: esquistositat milonítica. G.C.-N.: gneiss de Canavelles-Nyer.



per concentracions de minerals opacs i per agregats allargats de miques de mida de gra molt petita (antics porfiroblastos). A nivell microscòpic es reconeix també la presència de shear-bands, que originen una crenulació "extensiva" de l'esquistositat i que fan que aquesta adopti formes sigmoidals.

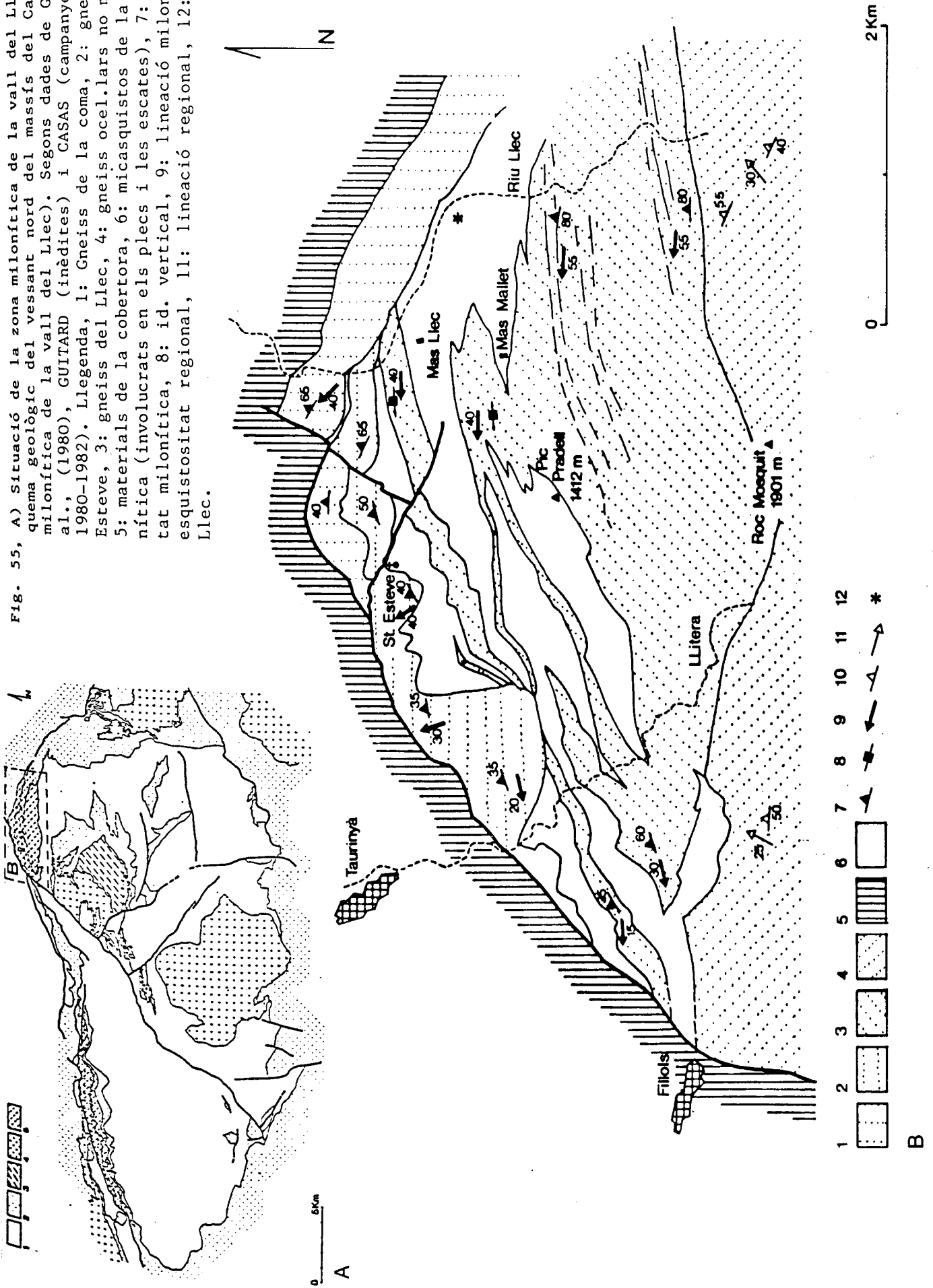
### 5.1.2. LA ZONA MILONÍTICA DE LA VALL DEL LLEC

Al vessant nord del Canigó hi ha un seguit de bandes milonítiques que estan associades a una sèrie d'escates i de repeticions tectòniques. Aquestes estructures, en les que hi són involucrats tant els gneiss com els materials de la cobertora, es disposen formant una ampla faixa orientada de NW-SE a NE-SW. Aquesta faixa envolta gairebé tot l'acabament septentrional del massís, i és aproximadament paral·lela al contacte gneiss-cobertora en aquesta regió; està limitada a l'est per l'acabament septentrional de la falla de Mentet-Fillols. FONTBOTÉ i GUITARD (1958) ja descriuen la presència d'aquesta zona milonítica que associen a encavalcaments E-W. GUITARD (1970) atribueix una edat tardi-herciniana al conjunt de milonites, i CARRERAS et al. (1980) i GEYSSANT et al. (1980) precisen les característiques estructurals d'aquesta important zona milonítica. En conjunt aquesta zona té un gruix considerable, de l'ordre dels 2000 m en el tall de la vall del Llec. A diferència de la veïna zona de Fontpedrosa-Nyer al seu interior és possible distingir-hi diverses unitats estructurals (de N a S): els gneiss de la Coma, els gneiss de St. Esteve i els gneiss del Llec (Fig.55).

#### 5.1.2.1. Els gneiss de la Coma

Són els gneiss més septentrionals que afloren en aquest sector del massís. Es tracta d'una unitat de

Fig. 55, A) Situació de la zona milonítica de la vall del Llec, B) Esquema geològic del vessant nord del massís del Canigó (zona milonítica de la vall del Llec). Segons dades de GEYSSANT et al., (1980), GUITARD (inèdites) i CASAS (campanyes de camp 1980-1982). Llegendra, 1: Gneiss de la coma, 2: gneiss de St. Esteve, 3: gneiss del Llec, 4: Gneiss ocellars no milonítics, 5: materials de la cobertora, 6: micasquistos de la zona milonítica (involucrats en els plecs i les escates), 7: esquistositat milonítica, 8: id. vertical, 9: lineació milonítica, 10: esquistositat regional, 11: lineació regional, 12: mines del Llec.



gneiss ocellars que forma la base que suporta els materials paleozoics del massís dels Aspres. Estan en contacte per falla inversa (de direcció NW-SE) amb la resta de materials dels massís (GEYSSANT et al. 1980), i paral·lelament a aquest accident els gneiss estan localment milonitzats. Aquesta unitat està limitada a l'oest per la falla de Mentet-Fillols (Figs. 55) mentre que per l'est forma una escata orientada NW-SE que encavalca les unitats situades més cap a l'interior del massís.

#### A) ESTRUCTURES MENORS DE DEFORMACIÓ

##### a) Esquistositat milonítica (Sm)

Aquests gneiss presenten una esquistositat milonítica subparal·lela a la S. regional i més ben desenvolupada cap a la base de la formació. Té una orientació mitjana 120, 65 NE als voltants del riu Llec i pren una direcció més propera a N140E més cap a l'est. En general és subparal·lela a la traça cartogràfica de la falla inversa que separa aquests gneiss de la resta del massís (Fig. 55).

##### b) Lineació milonítica (Lm)

Damunt dels plans Sm es reconeix una lineació d'estirament i/o mineralògica que forma un angle elevat amb la lineació regional que sovint és observable en aquests materials. Té un cabussament entre 20 i 50° segons la direcció 320 i, de la mateixa manera que l'esquistositat, està més ben marcada en els nivells més fins.

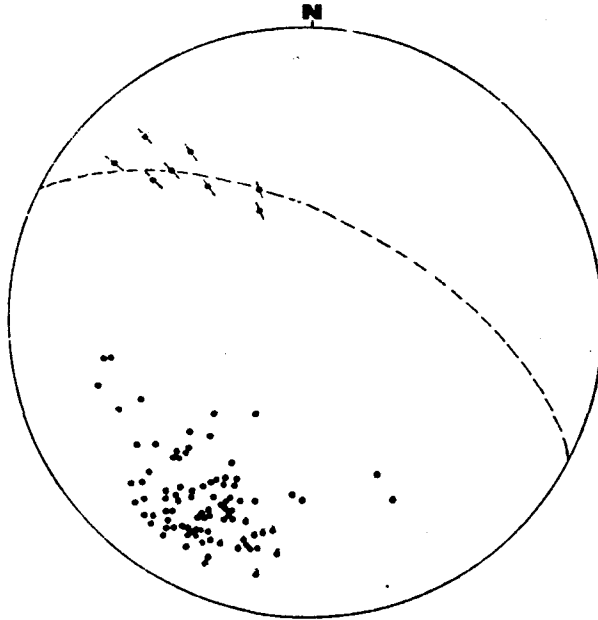


Fig. 56. Disposició de l'esquistositat milonítica (•, 90 mesures) i de la lineació milonítica (↔, 8 mesures) en els gneiss de la Coma.

## B) MICROSTRUCTURA

Els gneiss de la Coma tenen una microestructura protomilonítica-milonítica que està definida per porfiroclastos feldspàtics de mida molt variable que destaquen sobre la resta de components. No he observat la presència de calcita en aquest gneiss. L'esquistositat que envolta els porfiroclastos pren disposicions sigmoidals i està definida per: a) fenocristalls allargats de quars, b) bandes o agregats lenticulars de quars, c) ombres de pressió allargades dels feldspats, i d) bandes irregulars marró-fosques formades per concentracions de petits fragments de filosilicats trencats, i per cristalls d'epidota i concentracions d'hematites i/o magnetita. Els filosilicats són en general poc abundants i tenen una mida de gra petita, la qual cosa dóna un aspecte leucocràtic a aquests gneiss. La moscovita està fortament fracturada i forma petites plaques de forma lenticular (lense shaped o fish shaped) envoltades per petits cristalls de miques blanques a l'interior dels nivells més foscos. La biotita

és molt poc abundant, els pocs cristalls observats tenen alteracions a clorita daurada. Aquest darrer mineral és força abundant; és present a les ombres de pressió dels feldspats i també, en forma de cristalls més petits, a l'interior dels nivells de concentració de filosilicats, en aquest cas prové de l'alteració de la biotita. El voltant dels fenocristalls feldspàtics s'observen petits cristalls de miques blanques de neoformació.

Tant el feldspat potàsic com la plagiòclasi formen els megacristalls al·lotriomorfs que són envoltats per l'esquistositat. Presenten nombroses esquerdes reomplertes per clorita i quars i no mostren signes de recristalització. Presenten processos de seritització i vores de gra molt irregulars com a resultat de l'arrancament de petits fragments de cristall.

### El quars

El quars presenta una microestructura molt variada. S'observen fenocristalls allargats paral·lels a l'esquistositat, que presenten extinció ondulant, vores serrades, bandes de deformació i formació de subgrans (quars I). S'observen més a més agregats policristal·lins granoblàstics, formats per cristalls poligonals a subpoligonals amb vores ben definides (quars II). Aquests grans de mida més petita s'haurien format per recristal·litzaació dinàmica a partir dels fenocristalls. A les vores dels feldspats aquests nous grans adopten formes més allargades amb la direcció de màxima elongació lleugerament obliqua respecte l'esquistositat. Els gneiss estan travessants per petits filons monomineràtics de quars que estan plegats i afectats per l'esquistositat milonítica. Els cristalls de quars que formen aquests petits filons presenten també formes allargades obliqües a l'esquistositat (Fig.58A). Aquests cristalls amb una orienta-



ció dimensional preferent tenen també una marcada o.c.p. (Fig.59A). Els eixos  $c$  formen dos màxims amb una forta inclinació, i formen un angle d'entre 10 i 20° amb la normal al pla mig de l'esquistositat. És una distribució asimètrica segons el sentit de moviment invers deduit per aquesta unitat milonítica.

L'elevada inclinació dels màxims respecte la traça mitja del pla d'esquistositat suggereix que en aquestes milonites l' o.c.p. es forma bàsicament per un procés de "basal slip" (WILSON, 1975; BOULLIER I BOUCHEZ, 1978; BOUCHEZ I PECHER, 1981).

El quars pot presentar aquest tipus de microestructura en milonites associades a encavalcaments i fallles dúctils (BRUNEL, 1980; ETHERIDGE I WILKIE, 1981; SIMPSON I SCHMID, en premsa) en les que predominen els mecanismes de deformació per cisalla (shearing environment). No obstant alguns d'aquests autors consideren que aquesta "fàbrica de forma" del quars defineix un pla de "flattening" obliqua a l'esquistositat i aproximadament perpendicular a la direcció de compressió (SIMPSON I SCHMID, en premsa). Aquest pla de "flattening" fóra resultat tant sols dels efectes finals de la deformació en una situació de deformació progressiva. BRUNEL (1980) opina que el canvi de forma del quars es formaria degut a una reactivació dels plans d'esquistositat preexistents en un darrer episodi deformatiu, i ETHERIDGE I WILKIE (1981) atribueixen les formes allargades a deformacions sobreimposades. En els gneiss de la Coma sembla que en alguns casos els cristalls de quars adopten una forma allargada com a resposta a heterogeneïtats locals de la deformació, lligades probablement a la presència de cossos més resistents (porfiroclastos feldspàtics). En altres casos, quan els cristalls allargats són predominants a nivell d'una làmina o en el cas dels petits fi-

lons de quars deformats, no crec que es tracti d'un canvi de forma de cristalls inicialment més o menys poligonals com en el cas anterior. En aquest cas els grans nous ja es formen amb una marcada orientació dimensional preferent, la qual cosa fa difícil explicar aquesta forma allargada per deformacions sobreimposades o reactivació de plans preexistents.

#### 5.1.2.2. Els gneiss de St. Esteve

Estan situats entre els gneiss de la Coma al nord i els del Llec al sud. Es tracta d'una unitat francament milonítica, formada per gneiss leucòcrates de gra mig que contenen nombrosos cossos de pegmatites intrusives discordants també intensament deformats. Al N i NE estan limitats pels gneiss de la Coma que els encavalquen, mentre que per l'oest segueixen fins als voltants de Taurinyà (Fig.55) i formen vistoses superfícies estructurals observables des de diversos llocs del massís. Aquesta unitat està separada dels gneiss del Llec per una petita intercalació de miscasquistos amb sillimanita (GUITARD, com. pers.) que contenen cossos també milonitzats de quars-diorita. La seva direcció és força variable, de NW-SE a NE-SW i per les seves característiques constitueix un bon nivell de referència.

#### A) ESTRUCTURES MENORS DE DEFORMACIÓ

##### a) Esquistositat milonítica (Sm)

Presenten una esquistositat milonítica molt ben definida que és la mesoestructura més evident en aquest materials. Aquesta esquistositat afecta també els nombrosos cossos de pegmatites i als petits filons de quars emplaçats en els gneiss, els quals a vegades

formen petits plecs amb vergència aparent de component sud. L'orientació de la Sm és força variable: a l'est de l'ermita de St. Esteve i als voltants de la pista forestal del Llec té una orientació molt semblant a la dels gneiss de la Coma (118,65 NE). Cap a l'oest, prop de Taurinyà, la Sm pren una direcció francament NE-SW (060, 40 NW). Analtzada globalment, la Sm mostra una variació progressiva de la seva direcció i presenta una distribució cònica, amb un eix 57/295 i un semiangle d'obertura de 64° (Fig.57).

b) Lineació milonítica (Lm)

Quan l'esquistositat milonítica pren direccions properes a N120E es reconeix una lineació milonítica que presenta una orientació coincident amb la dels gneiss de la Coma (40/320). Ara bé a l'oest de St. Esteve damunt dels plans Sm és possible sovint reconeixer dos sistemes de lineacions milonítiques amb orientacions diferents: un d'aquests sistemes forma un angle de pitch elevat i conserva la mateixa orientació (20-40/320), mentre que l'altre té un angle de pitch més baix i cabussa 10-20° cap a la direcció 260. No ha estat possible sobre el terreny establir relacions cronològiques entre ambdues estructures (Fig. 57).

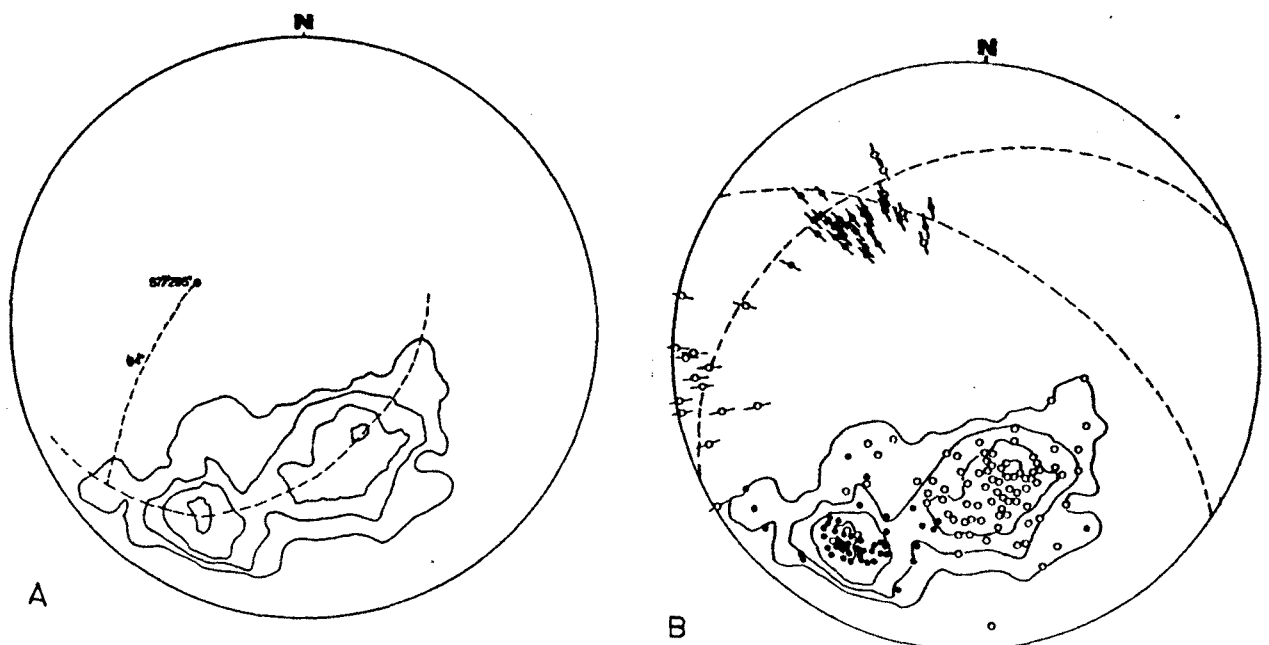


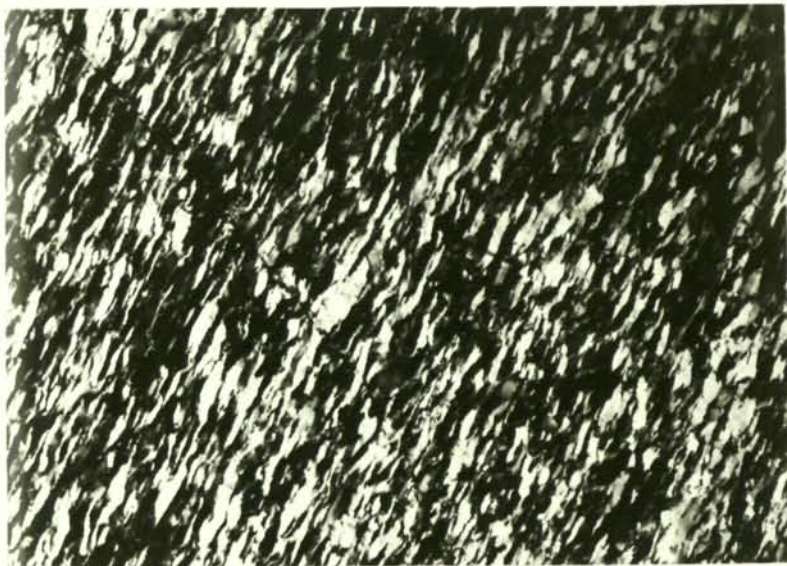
Fig. 57. A) Disposició global de l'esquistositat milonítica dels gneiss de St. Esteve (131 mesures, 1, 4, 8 i 16%), B) Orientació de l'esquistositat a l'est de St. Esteve (• Sm, → Lm) i entre l'ermita de St. Esteve i Taurinyà (○ Sm, → Lm).

Fig. 58. A) Quars amb orientació dimensional obliqua respecte l'esquistositat en els gneiss de la coma. Aquesta disposició és compatible amb un sentit de cisalla sinistre a la fotografia. Nícols encreuats (escala 1 mm), B) Quars allargat paral·lelament a l'esquistositat en els gneiss de St. Esteve. Presenta recristal·lització restringida, vores serrades i extinció ondulant. Nícols encreuats (escala 1 mm), C) Banda cataclàstica subparal·lela a l'esquistositat milonítica en els gneiss de St. Esteve. Nícols paral·lels (escala 1mm).



A

S



B

S



C



## B) MICROSTRUCTURA

Són gneiss leucòcrates de gra mig amb una microestructura protomilonítica-milonítica. Tenen una mineralogia relativament simple: quars, feldspat potàsic, moscovita i plagiòclasi. Com a minerals secundaris presenten calcita, miques blanques i hematites. Alguns megacristalls de mida variable de feldspat potàsic fonamentalment són les úniques restes de la microestructura inicial de la roca. La plagiòclasi forma sobretot cristalls de mida més petita a la matriu. No tenen biotita; la calcita forma petites plaques i agregats més o menys lenticulars, i la moscovita sol trobar-se en forma de cristalls aïllats de forma sigmoidal (lense shaped).

L'esquistositat està definida per bandes de concentració de fragments de feldspat que destaquen sobre la matriu, formada fonamentalment per quars, miques blanques i moscovita. Les nombroses pegmatites milonititzades localitzades a l'interior d'aquesta unitat presenten una microestructura molt semblant, però solen tenir un major contingut en plagiòclasi i una menor proporció de filosilicats.

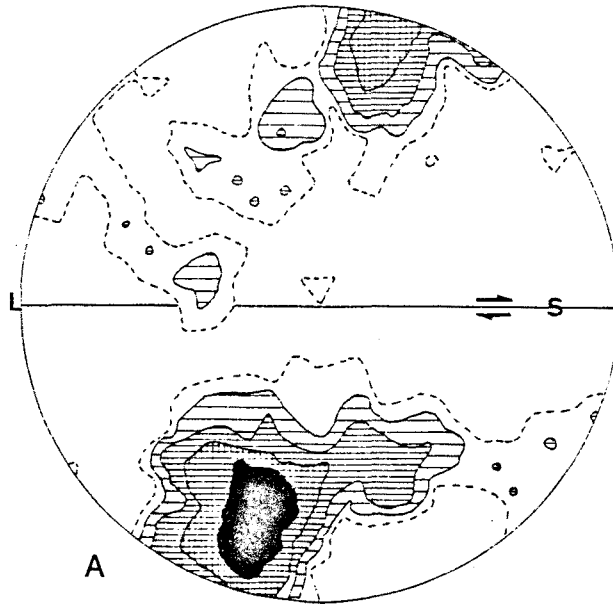
### Bandes cataclàstiques

Són bandes subparal.leles o lleugerament oblíques a l'esquistositat i de dimensions mil.limètriques a centimètriques. Estan formades per fragments angulosos-subangulosos de ribbons de quars i de feldspat amb una mida variable entre les 150 i 450 micres. Aquests fragments estan inclosos en una matriu gris-fosca de gra molt fi, formada per petits fragments de miques blanques sense orientació dimensional preferent detectable òpticament, i per petits cristalls de feldspat i de quars. La proporció clastos/matriu defineix un bandejat tectònic

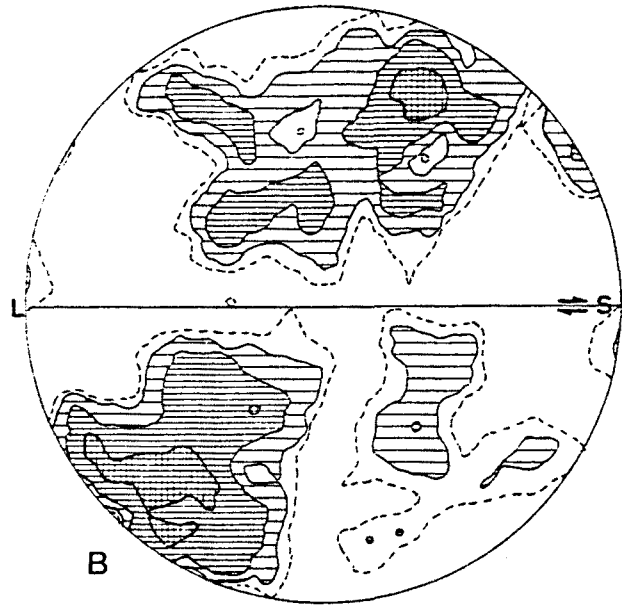
irregularment desenvolupat i aproximadament paral·lel a les vores d'aquestes bandes (Fig. 58C). Aquestes zones són interpretades com a bandes cataclàstiques, en les quals els elements sofreixen una deformació fonamentalment de tipus fràgil, en unes condicions més superficials que les que donarien lloc a la formació de les milonites.

### El quars

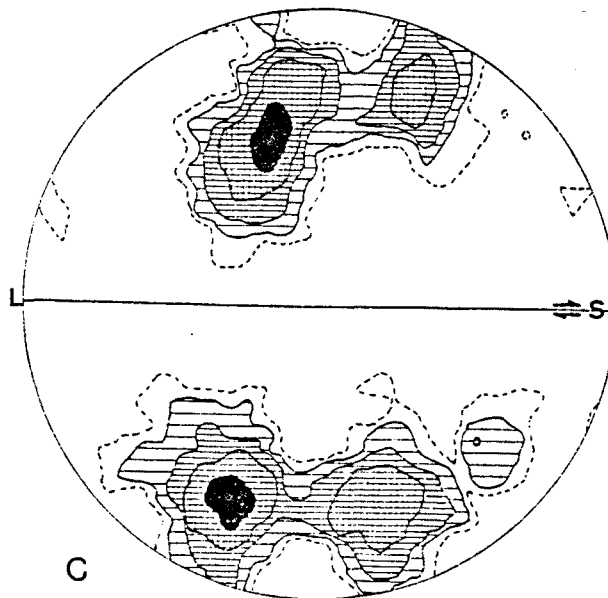
El quars de les pegmatites i dels gneiss milonitzats presenta una certa diversitat microstructural. En les diverses mostres estudiades el quars mostra graus diferents de recristal·lització i els nous grans formats tenen també formes diverses. He distingit: a) Milonites en les que els fenocristalls són molt poc abundants i en les que predominen els grans nous, que són força equidimensionals a nivell d'una làmina prima. Aquests grans tenen formes de poligonals a elongades amb totes les formes intermèdies. La direcció d'allargament dels grans és variable, però en general forma un angle agut amb l'esquistositat. Aquests grans nous presenten també, com en els gneiss de la Coma, una marcada o.c.p. (Fig. 59B). Els eixos  $c$  defineixen dos màxims que formen una garlanda obliqua a l'esquistositat segons el sentit de moviment deduit per aquesta unitat. S'insinuen dos submàxims no tan ben definits, però que fan que els diagrames tinguin una certa complexitat. b) Milonites en les que predominen els cristalls amb una forta extinció ondulant i amb vores serrades. Es tracta de grans vells, que tenen una orientació dimensional preferent paral·lela a l'esquistositat i que formen un mosaic equigranular allargat. (Fig. 58C). La recristal·lització està restringida al creixement de grans de mida molt petita, perques micres, a les vores de gra. En aquestes roques l'orientació dimensional està acompanyada també d'una o.c.p. (Fig. Els diagrames de fàbri-



A



B



C

59. O.c.p. del quars en els gneiss de la Coma i de St. Esteve A) Gneiss de la Coma, mostra representada a la fig. 58 A (200 mes. 0,5 -disc. 1,2,4 i 8%), B) Gneiss de St. Esteve. Predominen els cristalls allargats obliquament a l'esquistositat (200 mes. 0,5-disc.- 1,2 i 4%), C) Gneiss de St. Esteve. Quars allargat paral·lelament a l'esquistositat (Fig. 58C) (200 mes. 0,5-disc.- 1,2,4 i 8%)

ca mostren quatre màxims amb una elevada inclinació respecte l'esquistositat i que dibuixen dues petites corones centrades al voltant de la normal al pla d'esquistositat. Aquests tipus de microestructura i d'o.c.p. ha estat obtinguda per TULLIS et al., (1973) en assaigs de compressió axial. LISTER (1981) obté també o.c.p. semblants en simulacions per ordinador de quarsites afectades per un escurçament axial perpendicular a l'esquistositat. En ambdós casos el mecanisme de deformació del quars proposat és el lliscament intracristal·lí segons el pla basal (0001). Cal remarcar però que BOULLIER i BOUCHEZ (1978, Fig. 2) descriuen també fàbriques simètriques semblants en quarsites afectades pel Main Central Thrust himalaià. D'altra banda BURG I LAURENT (1978) proposen també que la formació de fàbriques simètriques pot ser compatible amb una situació de deformació rotacional, i suggereixen que aquest tipus de distribucions no impliquen necessàriament una situació de "flattening" perpendicular a l'esquistositat.

En aquests gneiss a una certa microestructura del quars correspon una o.c.p. també determinada. Aquestes variacions al si d'una mateixa unitat poden atribuir-se a heterogeneïtat de la deformació (MARJORIBANKS, 1976), i/o a variacions en algun dels factors que controlen la deformació intracristal·lina en el quars (presència de fluids, ETHERIDGE I WILKIE, 1979).

#### 5.1.2.3. Els gneiss del Llec

Aquesta unitat està formada pels gneiss que formen el vessant nord del Canigó i per algunes intercalacions de micasquistos atribuïbles als materials de la cobertora. El conjunt està afectat per zones milonítiques subverticals orientades E-W a NE-SW, associades a un sistema de plects hectomètrics també subverticals

(Fig.70). Aquests plecs són els que originen la repetició del contacte gneiss-cobertora en aquesta zona. La milonització està especialment ben desenvolupada a la vora d'aquest contacte, i les zones milonítiques van sent cada cop menys abundants cap al sud, a mesura que els gneiss tendeixen a presentar la textura inicial i les estructures deformatives associades a l'esquistositat regional. La característica d'aquests gneiss, i dels micasquistos intercalats, és la presència com a mínim d'una esquistositat subvertical o amb un fort cabussament cap al nord. Sovint se'n reconeixen dues, una de les quals és una crenulació, però degut a què ambdues tenen una orientació força coincident així com a que tenen un desenvolupament irregular, la seva diferenciació a vegades és difícil.

#### A) ESTRUCTURES MENORS DE DEFORMACIÓ

##### a) Esquistositat milonítica (Sm)

Està desenvolupada a l'interior d'una sèrie de bandes que tenen un gruix variable entre el metre i la desena de metres i que afecten tant als gneiss com als micasquistos. A l'interior d'aquestes zones és difícil reconèixer les estructures regionals de deformació. Els plans d'esquistositat milonítica tenen un fort cabussament cap al nord (60-70°) o bé són verticals, la seva direcció varia d'E-W en el sector més oriental (voltants de la vall del Llec) a NE-SW en la zona més occidental, entre la pista de Cortalets i el Pic Pradell (Fig. 60A). En els gneiss la Sm està definida a nivell d'aflorament per la disposició alternant de nivells més rics en filossilicats i de nivells més irregulars formats per porfiroclastos feldespatícs fortament fracturats.



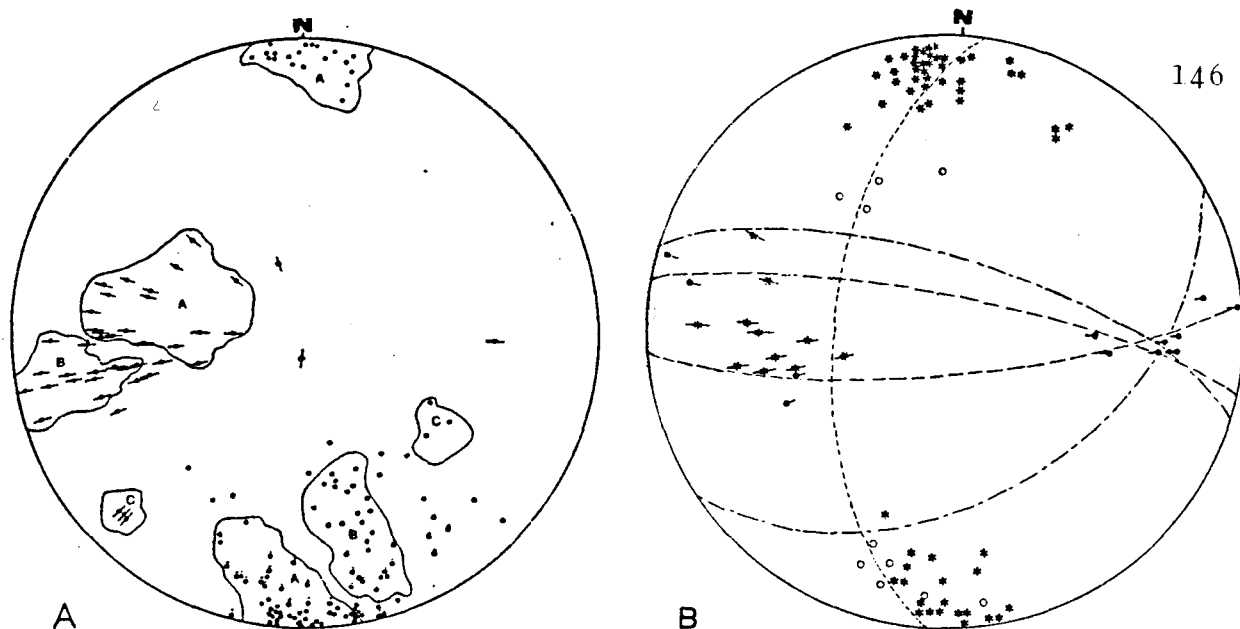


Fig. 60. A) Orientació de la Sm i de la Lm dels gneiss del Llec de diversos sectors del vessant nord : (A) voltants de la pista forestal del Llec, (B) al nord del Pic Pradell, (C) voltants del barranc de la Llitera ( • , Sm 124 mesures, → , Lm 43 mesures). Amb dades de GUITARD (inèdites) i CASAS (campanyes 1980-82). B) Orientació de les estructures menors en els gneiss afectats per l'esquistositat de crenulació ( \* St. 63 mesures, -\*- Lt 11 mesures, →• lineació d'intersecció St./Sg 2 mesures, →• eixos de plects associats 11 mesures, ○ Sg 10 mesures).

b) La lineació milonítica (Lm)

Presenta una direcció variable entre 240 i 310 i un cabussament també força variable (entre 0 i 60°) en funció de l'orientació dels plans en la que està continguda (Fig.60A). Cabussa en general cap a l'W-WNW i té una orientació coincident amb la d'un dels dos sistemes de lineacions dels gneiss de St. Esteve (compareu figures 57B i 60A).

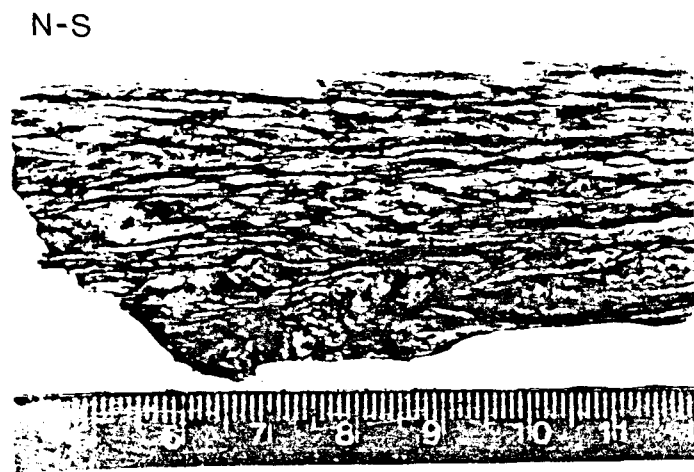
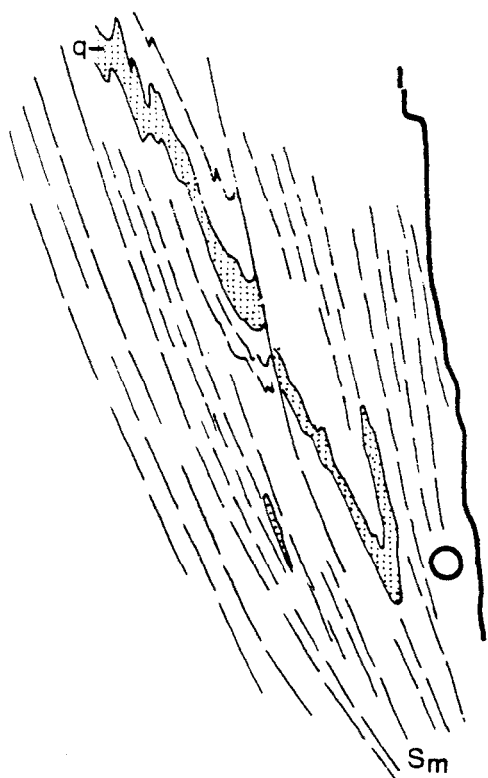


Fig. 61. A) Aspecte de la lineació milonítica en els gneiss del Llec (ultramilonites de la Collada), B) Plects intrafolials vergents cap al sud.

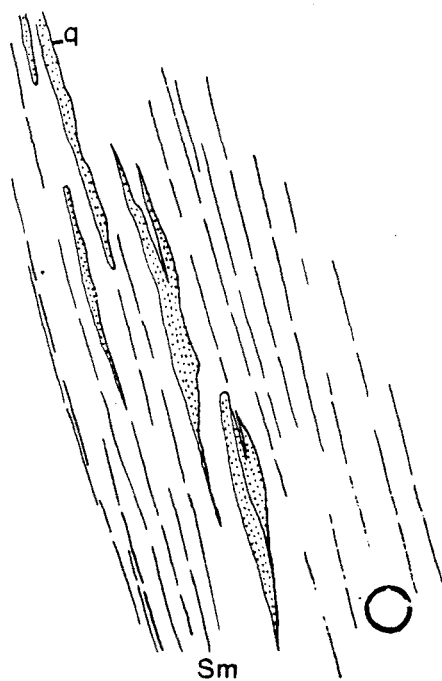
S-N



A



S-N



B



Fig. 62. Plects similonitics amb vergència cap al sud definits per vetes de quars deformades. Gneiss del llec afectats per bandes milonítiques subverticals (pista forestal de la vall del Llec).

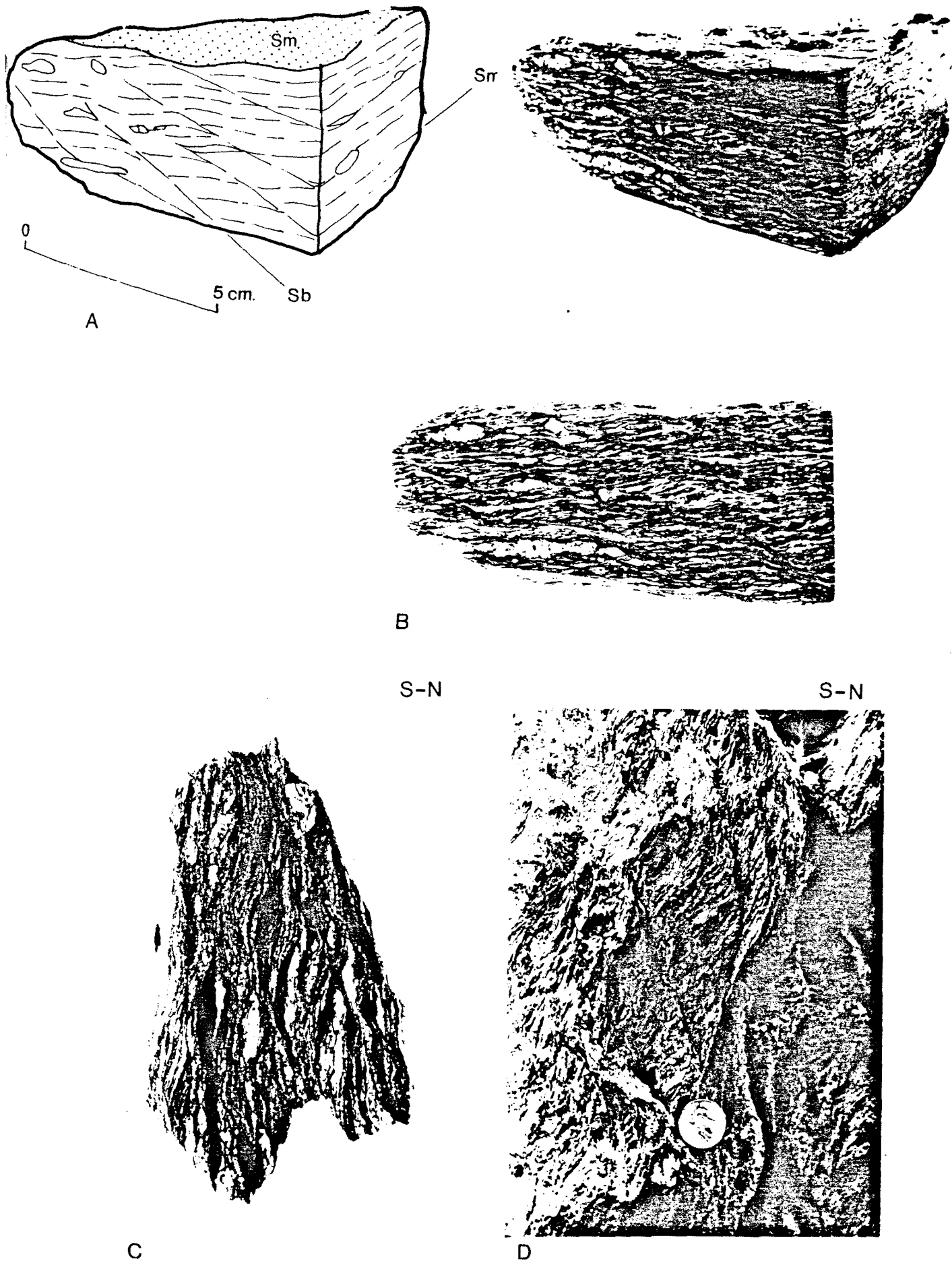


Fig. 63. Shear-bands inverses que afecten la Sm en els gneiss (A i B) i les filonites (C i D) de la vall del Llec. Originen que la Sm adopti formes sigmoidals i són compatibles amb un moviment "invers".

c) Plecs sinmilonítics (Bm)

Estan definits sobretot per vetes i petits filons de quars plegats amb el pla axial paral·lel a la Sm (Fig.62). Tenen una tendència al plegament isoclinal i una vergència aparent amb una component sud. S'han reconegut també plecs "intrafolials" que afecten a la mateixa Sm, sobretot en les ultramilonites, i que presenten la mateixa vergència (Fig.61B).

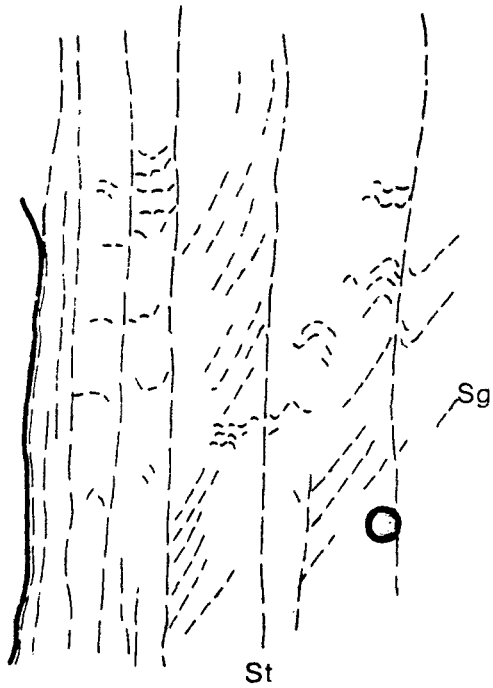
d) Shear bands (Sb)

Les ultramilonites i les filonites presenten un sistema de shear bands orientats aproximadament E-W i que localment trensposen la Sm. Formen un angle de 30° amb la Sm, que s'inflexiona fins paral·lelitzar-se amb l'orientació d'aquestes petites zones de cisalla inverses. Tan sols he reconegut un sistema d'aquestes "crenulacions extensives", en aquest cas compatible amb un moviment amb una certa component inversa per a les bandes milonítiques en les que es localitzen. (Fig. 63).

e) Esquistositat de crenulació (St)

Tant els gneiss com els micasquistos presenten entre les bandes milonítiques una esquistositat espaiada amb una orientació semblant a la de la Sm (d'E-W a NE-SW). Té però un cabussament cap al sud (70-80°) o bé és subvertical (Fig.60B i 64). És menys penetrant que la Sm i es tracta d'una esquistositat associada al microplegament de la S regional, que en els sectors on predomina aquesta té una orientació i un cabussament molt variable. A diferència de les shear bands, que tenen un desenvolupament relativament local, aquesta esquistositat no afecta mai la Sm, és una estructura dominant en diversos sectors,

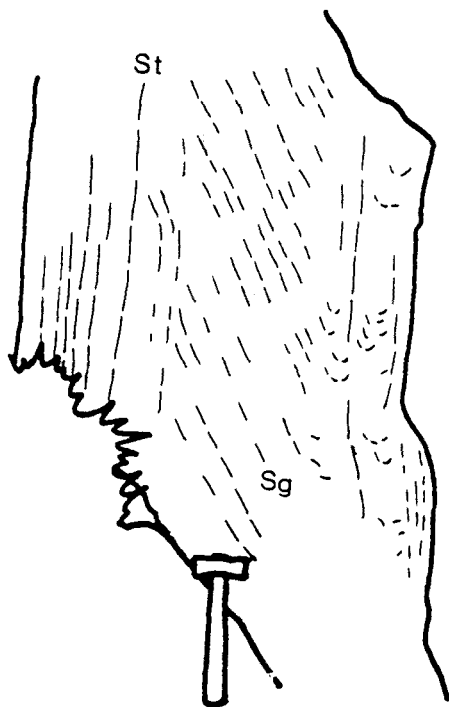
S-N



A



S-N



B



Fig. 64. Gneiss afectats per l'esquistositat de crenulació subvertical (St). Pista fores tal del Llec.

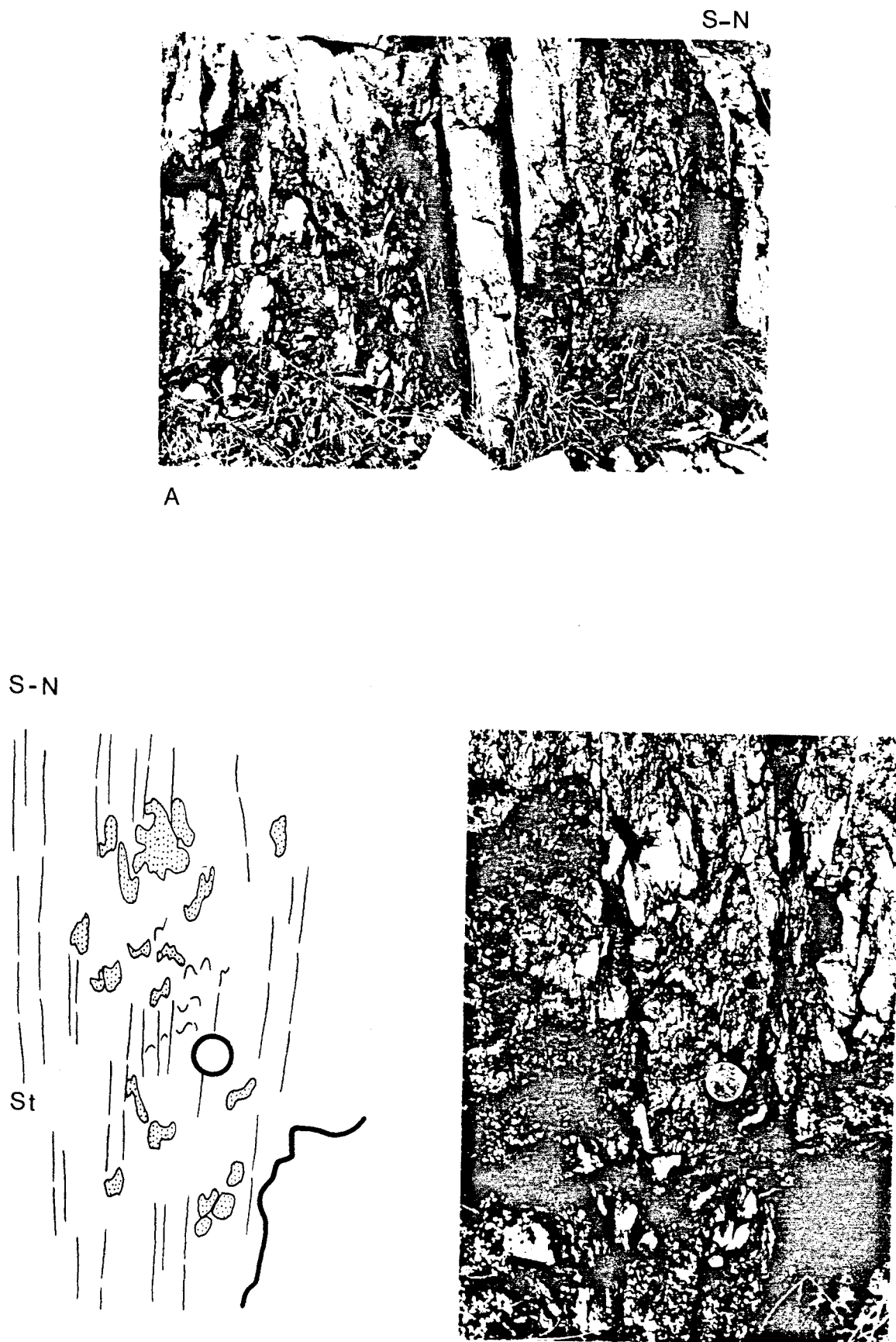


Fig. 65. A) Vetes de quars afectades per plecs i per l'esquistositat subvertical de crenulació (St) en els gneiss, B) detall. Pista forestal de la Vall del Llec.

i en tot cas tindria un caràcter de crenulació "compressiva" de la S regional.

f) Estructures lineals associades a la St (L<sup>t</sup>)

Damunt dels plans de l'esquistositat de crenulació es reconeix una lineació d'intersecció St/S regional que té una orientació aproximada E-W. Aquesta lineació forma un angle elevat amb una lineació d'estirament i un sistema d'estries que s'observen també damunt d'alguns d'aquests plans (Fig. 60B). Aquesta lineació i aquest sistema d'estries tenen una orientació molt propera a la de la lineació milonítica descrita més amunt, però tant sols són visibles localment.

g) Plecs menors associats (Bt)

L'esquistositat de crenulació és paral·lela al pla axial d'una sèrie de plecs d'ordre mètric a centimètric que afecten la S regional. Aquests plecs tenen una direcció E-W i un cabussament axial cap a l'est en el sector oriental. En alguns sectors, nombroses petites vetes de quars estan també afectades per aquest sistema de plecs (Fig. 65).

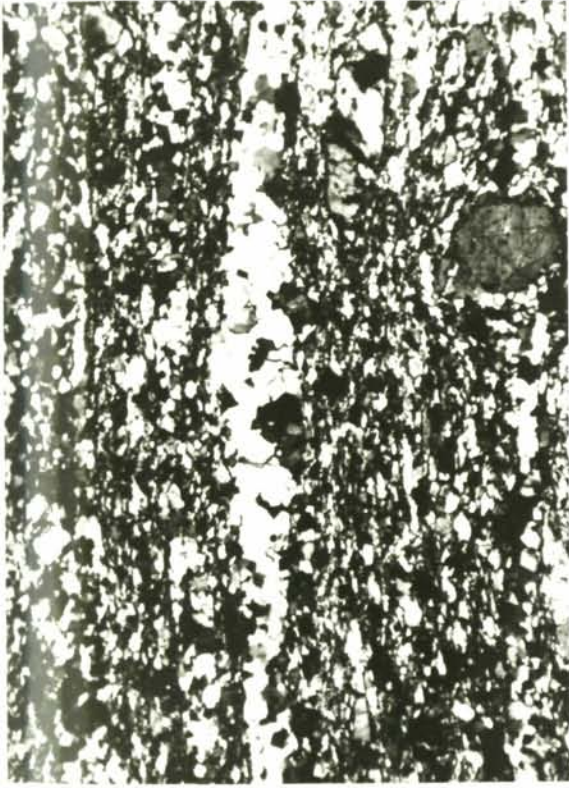
B) MICROSTRUCTURA

a) Els gneiss milonititzats

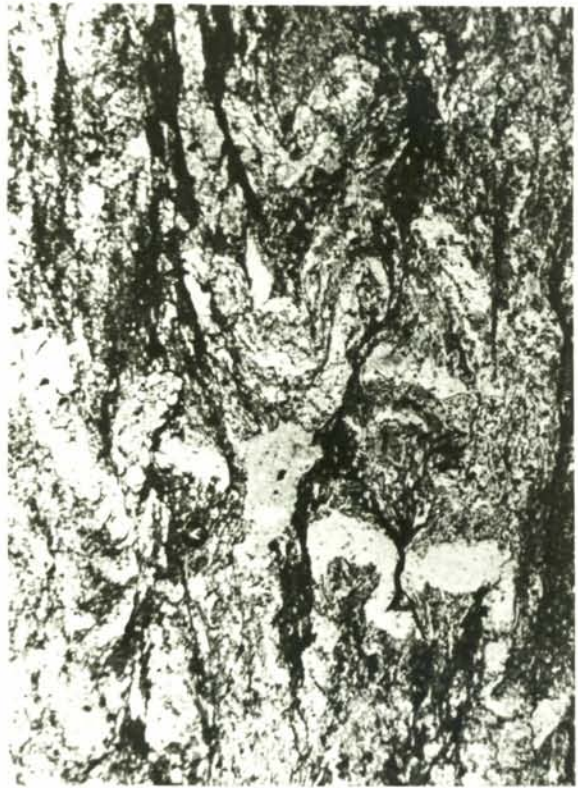
A l'interior de les bandes milonítiques subverticals els gneiss tenen microstructures ultramilonítiques molt ben desenvolupades. No es reconeixen restes de la S regional ni de la textura blastoporfídica inicial dels gneiss; tan sols hi ha algun porfiroclast feldspàtic aïllat en una matriu de mida molt més petita (Fig. 66B).

Fig. 66. A) Gneiss milonititzats de la vall del Llec en un estadi en el qual encara es reconeixen porfiroclastos feldspàtics. El quars forma ribbons allargats i els filosilicats han sofert una reducció notable de la mida de gra. Nícols encreuats (escala 1mm), B) Ultramilonita (gneiss de la Collada). Nícols encreuats (escala 1 mm), C) Formació de nous grans poligonals per recristal·lització dinàmica a partir de grans "vells" (quars II) en els gneiss milonititzats. Nícols encreuats (escala 0,1 mm), D) Aspecte de l'esquistositat de crenulació. En els microlitons s'observen restes de la Sg plegada. Nícols paral·lels (escala 1 mm).





B



D



A



C

Aquests porfiroclastos són angulosos a subangulosos, presenten estructures tipus "pull apart" i formen ombres de pressió sovint asimètriques. Tenen un comportament de tipus fràgil i la seva reducció de mida de grans produeix fonamentalment per fracturació. Les esquerdes estan omplertes per quars i calcita secundària. Presenten alteracions a miques blanques-moscovita i a epidota i calcita.

Els filosilicats més abundants són les miques blanques (de neoformació) i la moscovita, que forma petits porfiroclastos relictos o petits crisalls neoformats a partir de biotita i plagiòclasi. La biotita és molt poc abundant, és bruna, té una mida de gra molt petita i presenta una alteració generalitzada a moscovita. La clorita ompla esquerdes dels feldspats o bé forma petits nivells discontinuos.

L'esquistositat està definida per bandes subparal·leles riques en filosilicats (clorita, miques blanques de neoformació) de mida molt petita, que contenen petits cristalls d'epidota i els porfiroclastos de moscovita molt fracturats i amb extincions ondulants (Fig.

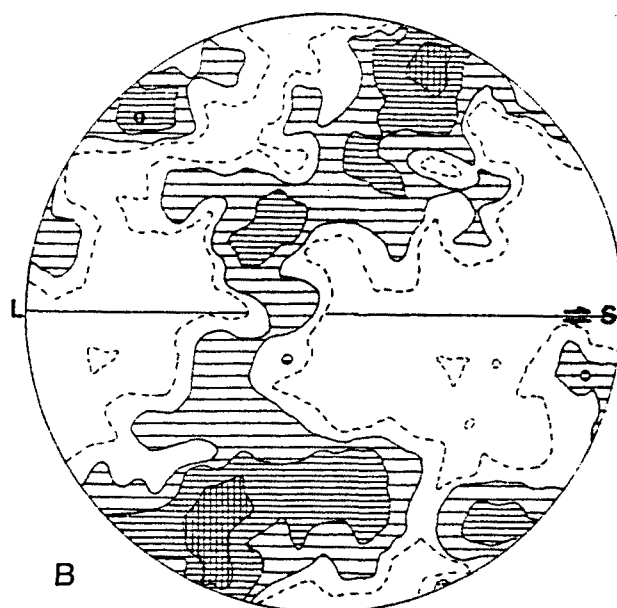
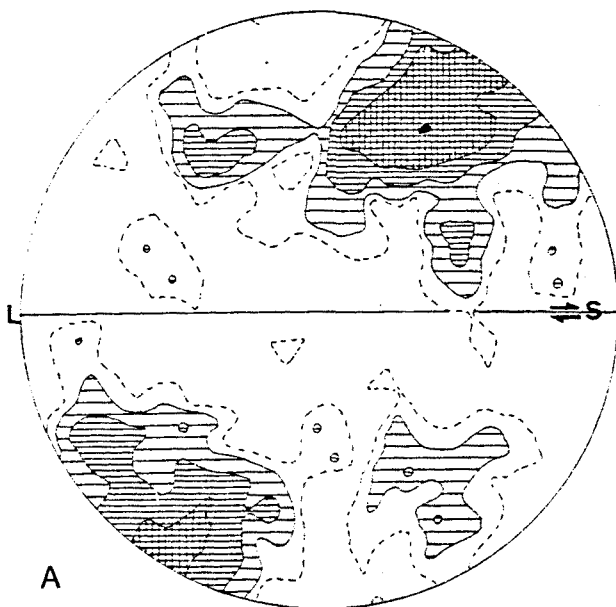
)La resta de la roca està formada per una matriu de cristalls equigranulars de quars i per petits cristalls, amb una mida semblant, de feldspat potàsic i/o plagiòclasi.

L'esquistositat està sovint plegada formant plecs intrafolials, de perfil arrodonit i amb una vergència contrària al sentit d'inclinació de la lineació milonítica. Aquests plecs són freqüents en les ultramilonites (BOUCHEZ I PECHER, 1981; PASSCHIER, 1982) i són intrepreatats com a resultat de la mateixa deformació progressiva que origina la formació de l'esquistositat.

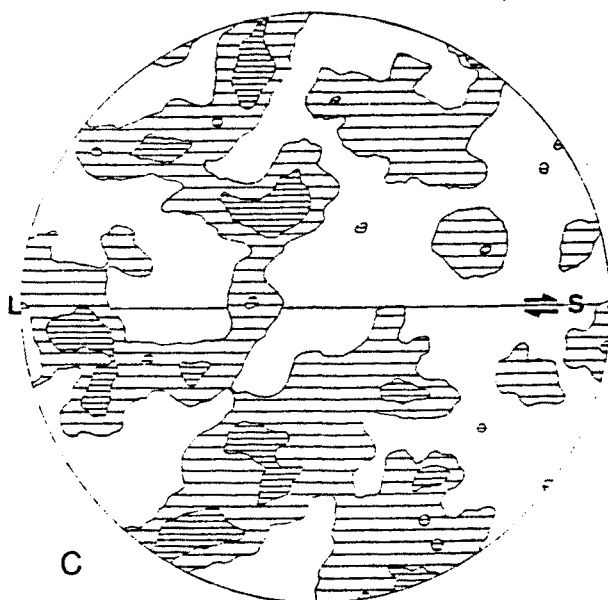
## El quars

Té una microestructura granoblàstica poligonal. Els cristalls tenen vores molt ben definides i formen agregats policristal·lins allargats paral·lelament a l'esquistositat, o bé estan distribuïts homogèniament en la matriu. Es reconeixen molt pocs grans vells. Els cristalls poligonals són equidimensionals i equigranulars a nivel d'una mateixa làmina, i presenten totes les característiques dels grans formats per recristal·lit·lització dinàmica a partir dels grans vells inicials. Tenen una mida variable entre les 100 i 150 micres.

Tenen una o.c.p. marcada. (Fig.67). Els diagrames de fàbrica són asimètrics; es dibuixen dos màxims obliquos a l'esquistositat i que formen un angle entre 20 i 30° amb la normal a aquest pla, en algun cas (Fig. 67B) aquest màxims tendeixen a definir una garlanda creuada també obliqua i centrada al voltant d'Y. Presenten sempre el mateix sentit d'asimetria respecte l'esquistositat. En algunes ultramilonites amb una mida de gra especialment petita, el quars no mostra una orientació preferent clara (Fig.67C). Es poden considerar dues possibilitats: a) es produeix una recristal·lit·lització posterior a la deformació (recristal·lit·lització estàtica), i b) la deformació del quars es produeix en aquestes roques per lliscament segons les vores dels grans ("grain boundary sliding") i no mitjançant processos de lliscament intracristal·lí (ETHERIDGE I WILKIE, 1979). Aquest mecanisme tendeix a variar l'orientació dels grans, i per tant una possible o.c.p. prèvia, però no modifica la seva forma, i sembla especialment efectiu en situacions de deformacions elevades que afecten roques de gra molt fi.



67. O.c.p. del quars dels gneiss milonitzats. A i B) 20o mesures 0,5 disc- 1, 2 i 4%. C) 200 mesures, 1 i 2%.



b) Els gneiss afectats per l'esquistositat de crenulació

Tenen en general una mida de gra més gran que no pas els gneiss milonititzats. Presenten una microestructura porfiroclàstica protomilonítica-milonítica. Presenten la mateixa mineralogia que els gneiss milonititzats, però cal destacar una major proporció de biotita, que forma petites plaques brunes i mostra variacions progressives de color cap a varietats de color verd pàlid. Aquest canvi de color és degut probablement a una pèrdua gradual de Ti de la biotita, procés comú quan aquest mineral és deformat en condicions de baix grau metamòrfic (WINKLER, 1974; PASSCHIER, 1982). El quars té una microestructura granoblàstica poligonal semblant a la de les ultramilonites. Forma també agregats lenticulars a l'interior dels quals es poden reconèixer cristalls vells envoltats pels nous grans poligonals.

L'esquistositat té un aspecte anastomòtic a trapezoidal. Una situació comú és observar restes d'una S anterior definida per bandes de quars i petits cristalls de biotita bruna (S regional), que és tallada per l'esquistositat dominant (S de crenulació). (Fig. 66D) Quan no es reconeixen restes de la S regional la S de crenulació té un aspecte semblant a la S dels gneiss milonititzats. Cal destacar no obstant algunes diferències a nivell microestructural : els gneiss crenulats tenen una mida de gra més gran associada a un major contingut en porfiroclastos feldspàtics, l'esquistositat té un desenvolupament més irregular i un aspecte més anastomòtic en general, i aquests gneiss tenen un major contingut de biotita. Els processos de reducció de mida de gra en ambdós tipus de roques són però molt semblants: fracturació dels feldspats, recristal·lització del quars, fracturació i plegament dels filosilicats. Cal destacar també

la microestructura del quars totalment comparable en els gneiss milonititzats i en els gneiss crenulats.

c) Microestructura dels esquistos de la Vall del Llec

Els micasquistos que afloren en aquest sector del massís, al sud dels gneiss de la Coma, tenen una microestructura i una mineralogia força variada. Els micasquistos afectats pels plecs subverticals E-W presenten també una esquistositat de crenulació espaiada però irregularment desenvolupada. Tenen associacions minerals de grau mig dins la fàcies amfibòlica amb moscovita, biotita, cordierita i andalusita, típiques del metamorfisme progressiu regional hercinià en aquesta regió (GUITARD, 1970; CASAS, 1978). Aquests esquistos tenen nombroses vetes centimètriques de quars d'exudació formades durant la progressió del metamorfisme regional (GUITARD, 1970; AUTRAN et al., 1970). El quars que forma aquestes vetes no mostra signes remarcables de poligonització ni de recristal·lització, té fortes extincions ondulants, vores serrades i una mida variable entre 4 i 2 mm. Els únics signes de deformació posterior al metamorfisme regional en aquests materials són: lleugera fracturació dels porfiroblastos d'andalusita, extincions ondulats i plecs en els filosilicats, reactivació dels plans d'esquistositat als voltants dels porfiroblastos i de les vetes de quars, aparició de plans molt espaiats d'esquistositat que travessen aquestes vetes i que estan definits per concentracions de minerals opacs i per petits fragments de moscovita i clorita.

D'altra banda els esquistos situats a la vora vora de les bandes milonítiques subverticals tenen una microestructura típicament filonítica. Presenten una mida de gra molt menor, no es reconeixen porfiroblastos ben definits, i presenten associacions minerals de baix grau



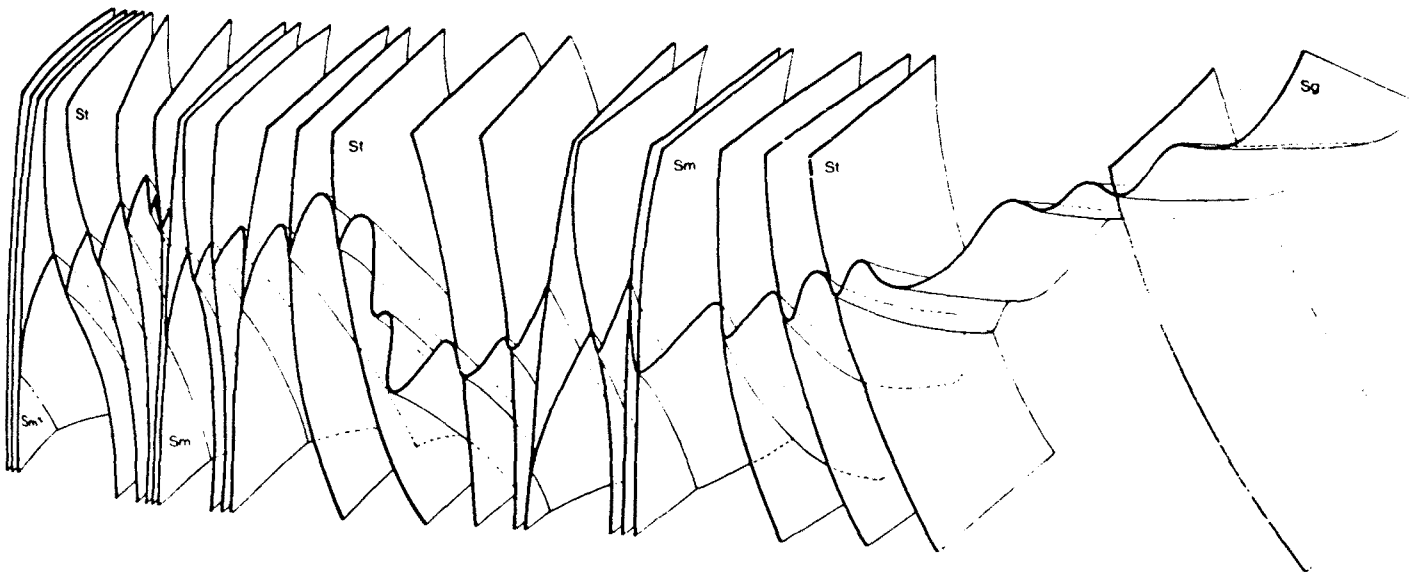
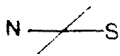
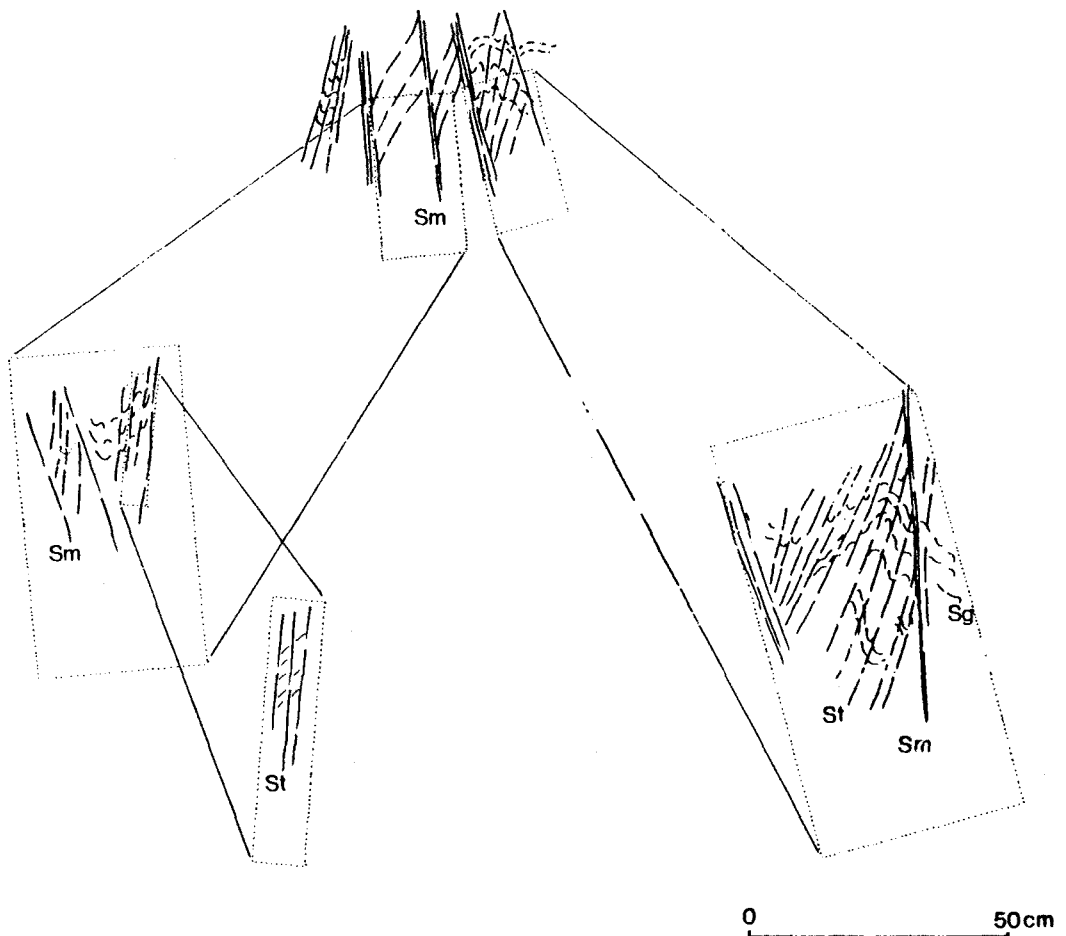
amb moscovita, clorita i miques blanques. No es reconeix la biotita. El quarz presenta processos de recristal·lit·lització en diferent grau de desenvolupament a partir de fenocristalls aïllats, i els grans nous formen bandes irregulars. (Fig. 51C). L'esquistositat, definida bàsicament per concentracions de filosilicats, està afectada per un sistema de shear bands que fa que adopti formes sigmoidals (Fig. 63C i D).

d) Comparació de la microestructura dels gneiss i dels micasquistos

Els micasquistos presenten microestructures força diferents si estan afectats per l'esquistositat de crenulació o bé si han sofert un procés de milonitització. En canvi la microestructura que presenten els gneiss en els dos casos és difícil a vegades de diferenciar si no s'observen restes de la S regional. Els mecanismes de deformació intracristal·lina, típics de deformacions milonítiques i que provoquen una reducció generalitzada de la mida de gra, sembla que operen en els gneiss a partir d'un cert estadi durant l'adquisició de l'esquistositat de crenulació. Les variacions microestructurals observades poden atribuir-se a diferències en la intensitat d'aquests processos.

C) RELACIO ENTRE L'ESQUISTOSITAT MILONITICA I L'ESQUISTOSITAT DE CREMULACIO EN ELS GNEISS DEL LLEC.

L'esquistositat de crenulació i les demás estructures associades tan sols es reconeixen en els sectors on l'esquistositat milonítica no és dominant, és a dir entre les bandes milonítiques o bé al seu interior i en zones en les quals la milonitització està menys desenvolupada. En aquestes situacions, quan és possible identificar ambdues estructures, s'observa que l'esquistositat



B

Fig. 68. A) Relació entre les diverses mesostructures planars en els gneiss del Llec (St, Sm i Sg). L'escala és aproximada, B) Esquema idealitzat de la disposició de la Sg al vessant nord del Canigó, i de les relacions amb la St i Sm. L'escala és lliure.



de crenulació s'inflexiona fins a paral·lelitzar-se amb la S milonítica o bé, poques vegades, és tallada per aquesta. (Figs. 68A ). D'altra banda els plecs associats a la S de crenulació varien de direcció a la vora de les bandes milonítiques i tendeixen a paral·lelitzar-se amb la direcció de la lineació milonítica . Cal notar però que ambdues estructures sovint tenen orientacions i un aspecte sobre el terreny molt semblant, la qual cosa fa difícil a vegades diferenciar-les i establir uns límits clars per a les zones on predomina cadascuna d'elles.

Aquestes consideracions permeten suposar que la formació de l'esquistositat de crenulació, i dels plecs subverticals E-W en aquesta regió, és lleugerament anterior al desenvolupament de les zones milonítiques.

#### 5.1.2.4. Relació amb les mineralitzacions de la Vall del Llec

Els nivells de marbres intercalats en els micasquistos de la vall del Llec tenen mineralitzacions estratiformes de fluorita amb sulfurs (esfalerita i galena) i siderita (Mines del Llec, fig. 55). Aquestes mineralitzacions, com els marbres i els esquistos d'aquesta zona, estan afectades per una deformació de tipus milonític. CAPUS et al., (1981) atribueixen una edat preherciniana a aquestes mineralitzacions i les relacionen amb jaciments sedimentaris cambrians. Aquesta atribució es fonamenta exclusivament en la interpretació de les estructures deformatives que presenten els diversos elements que formen la mineralització. Segons aquests autors la mineralització presenta dos esquistositats : la primera (S1) subvertical E-W està associada a una lineació que cabussa cap a l'oest (Fig.3 de CAPUS et al. 1981), la segona té una orientació N120 i cabussa cap al NE. Segons aquests

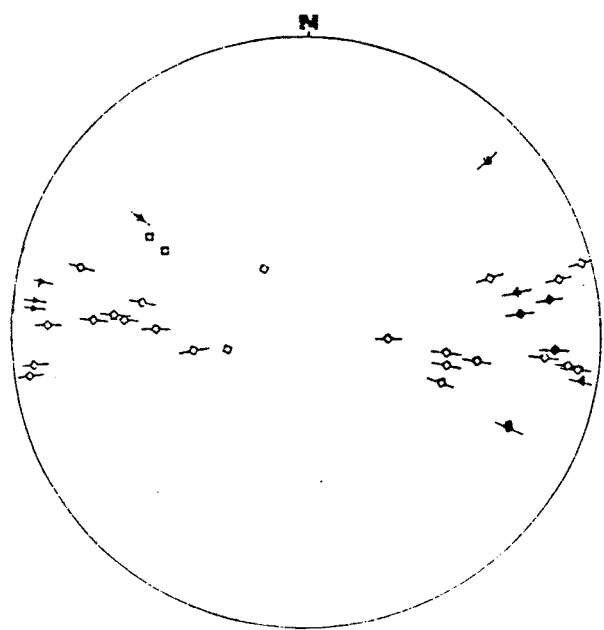
autors la primera correspondria a la S regional i la segona fóra una esquistositat "tardana" local. Les observacions realitzades sobre el terreny permeten refusar aquesta interpretació; en realitat la S1 d'aquests autors correspon a l'esquistositat milonítica E-W subvertical que afecta als gneiss i als micasquistos d'aquesta zona, i que és clarament posterior a la S regional. No he observat als voltants de la mina del Llec la segona esquistositat que descriuen però per les característiques geomètriques i les relacions cronològiques descrites, podria correspondre a l'esquistositat milonítica N120 associada als gneiss de la Coma, que estan situats molt a la vora d'aquest jaciment (Fig. 55). Segons això la formació d'aquestes mineralitzacions caldria situar-la abans del primer episodi de deformació milonítica, però en tot cas no crec que hi hagin arguments en aquest sector per considerar que aquestes mineralitzacions són anteriors a la formació de l'esquistositat regional, i que per tant tinguin una edat "preherciniana".

### 5.1.3. ELS PLECS POSTMILONÍTICS

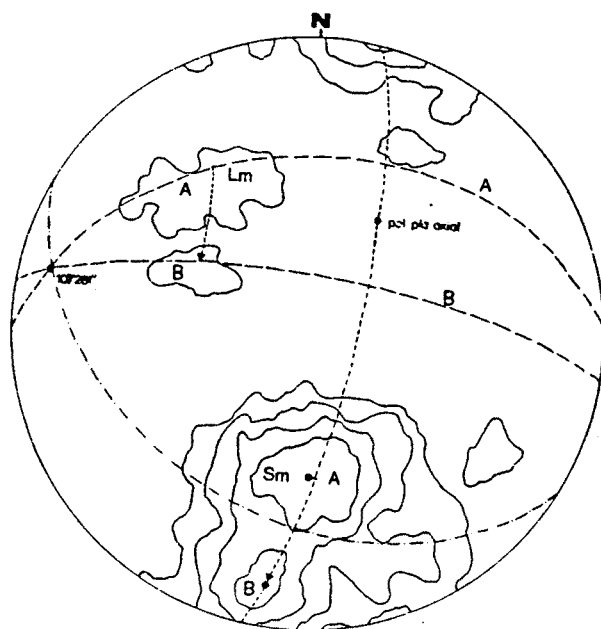
Amb aquesta denominació he agrupat el conjunt de plecs i d'ondulacions d'ordre molt variable, que afecten l'esquistositat milonítica dels materials del vessant nord del massís. Aquestes estructures han estat observades tant en les milonites de Fontpedrosa-Myer com en les milonites de la vall del Llec. S'han observat:

a) Plecs de tipus kink, orientats E-W, d'ordre decimètric i amb un pla axial subhoritzontal o cabussant cap al sud. Estan especialment ben desenvolupats quan la Sm és vertical i es tractaria de kinks "distensius" (pista forestal de la Vall del Llec). Les bandes deformades tenen un gruix de 10 a 20 cm i estan força espaiades, de manera que l'amplada de les zones no deformades és

Fig. 69. A) Orientació dels diversos sistemes de plecs "postmilonítics" en el conjunt de la zona milonítica septentrional (↔ eixos de kinks 21 mesures, ◊ plans axilas de kinks 4 mesures, → eixos d'ondulacions vergents al nord 5 mesures, ← eixos de plecs vergents al sud 6 mesures), B) Dispersió de la Sm i la Lm pels plecs i ondulacions E-W en les milonites de Fontpedrosa-Nyer, C) Kinks "normals" que afecten la Sm en les ultramilonites (geneiss de la collada). Pista forestal de la vall del llec. D) Plecs vergents cap al sud en els gneiss milonititzats. Pista forestal de la vall del Llec.

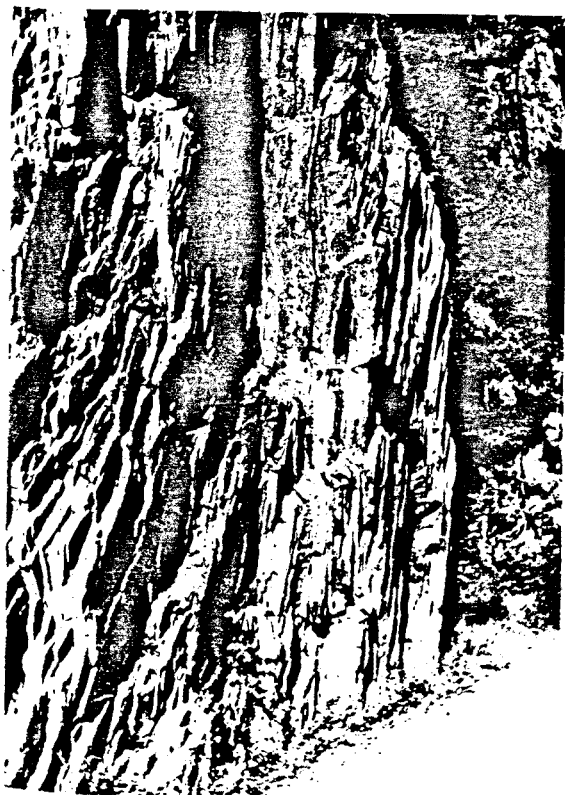


A



B

N-S



C

S-N



D

molt superior a les deformades (Fig.69C). Els eixos presenten cabussaments cap a l'est i cap a l'oest, resultat potser de l'existència de dues famílies de kinks sincròniques.

b) Plecs angulosos d'ordre decimètric a mètric, orientats també E-W, però amb el pla axial que cabussa cap al nord. Són plecs molt asimètrics, amb un flanc nord subvertical i el flanc sud més curt i que cabussa cap al sud o bé és horitzontal (Fig.69D).

c) Ondulacions laxes de pla axial poc definit, subhoritzontal o que cabussa al sud. Tenen una orientació E-W i un lleuger cabussament axial a l'oest. D'escala mètrica a hectomètrica, són responsables sovint de les variacions progressives del cabussament de la Sm (gorges de Nyer, gorges de Toès, vall del Llec) i poden arribar a formar plecs en genoll de granescala vergents al nord.

Aquest conjunt d'estructures es caracteritza per tenir un desenvolupament molt local i per presentar a grans trets una orientació E-W coincident. En conjunt són les responsables de les variacions del cabussament de la Sm, i en alguns casos, ondulacions laxes i plecs en genoll, de la certa dispersió que presenta la Lm en alguns sectors (Fig.69B). Degut a aquestes característiques no ha estat possible establir relacions cronològiques entre aquestes estructures i les he agrupat en un sol bloc.



SW

NE | S

N

Ras del Prat Cabrera  
1739

Mas Mallet  
849

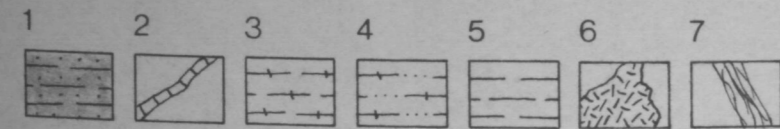
FM-F

G.LI.

G.stE. G.C.

500

500 m



0 1Km

Fig. 70 Tall de la zona milonítica del vessant nord del Canigó, Vall del Llec (situació a la figura 39). Llegenda, 1: esquistos de la cobertora, 2: marbres, 3: gneiss ocellars (G-2), 4: gneiss leptínics, 5: micasquistos de Balaig, 6: leucogranit (Granit Profund del Canigó), 7: esquistositat milonítica i de crenulació, G.LI.: gneiss del Llec, G.St.E.: gneis de Sant Esteve, G.C. gneis de la C.

## 5.2. LES DEFORMACIONS TARDANES FORA DE LES ZONES MILONÍTIQUES.

### 5.2.1. PLECS I CREMULACIONS

#### 5.2.1.1. Lineacions de crenulació

En alguns sectors del vessant sud damunt dels plans d'esquistositat regional els gneiss presenten una lineació de crenulació que forma un angle elevat amb la lineació regional. La direcció d'aquesta lineació és variable entre E-W i N120E segons la direcció de l'esquistositat (Fig. 71) i tan sols és reconeixible quan aquests plans cabussen més de  $35^\circ$  (Coma de l'Orri, Espinabell, Setcases, etc). En els nivells amb una menor mida de gra aquesta lineació apareix com una fina lineació amb el mateix aspecte sobre el terreny que l'esquistositat regional. Quan ambdues estructures no coexisteixen o no són clarament visibles sovint és difícil diferenciar-les. Una confusió entre aquestes dues estructures podria explicar la dispersió que mostren les lineacions dels gneiss del sector Núria-Queralbs quan l'esquistositat té forts cabussaments (SANTANACH, 1972, fig. 64).

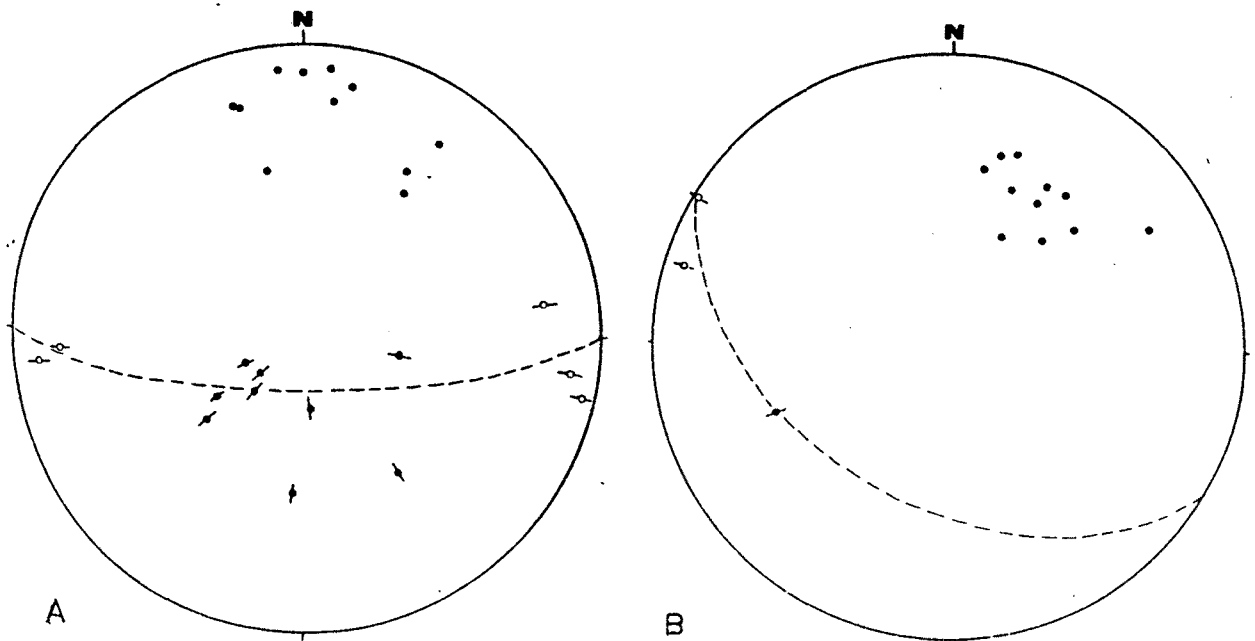


Fig. 71. A) Lineació de crenulació ( $\circ$ -5 mesures) en els gneiss dels voltants d'Espinabell-Setcases al vessant sud del massís quan la Sg presenta cabussaments elevats ( $\bullet$  Sg,  $\blackrightarrow$  Ig), B) id. als voltants de L'estanyol.

### 5.2.1.2. Plecs mètrics

Encara que no són massa freqüents la S regional dels gneiss està afectada per un conjunt de plecs d'ordre mètric. Alguns d'ells tenen un pla axial subvertical o cabussant al nord i una direcció al voltant d'E-W. No solen presentar esquistositat de pla axial i tenen una vergència aparent cap al sud. Afecten a vegades petits cossos de leucogranit emplaçants en els gneiss (voltants de Prats de Balaguer (Fig. 73) ó a petits filons de composició granítica situats en els esquistos prop del contacte amb els gneiss (gorges de Toès). Les relacions geomètriques entre els filons i l'esquistositat regional plegada (Fig. 72) permeten suposar que l'emplaçament d'aquests filons és lleugerament posterior a l'inici del plegament. GUITARD (1960) proposa una relació semblant entre la formació dels plecs "postesquistosos" E-W i l'emplaçament del Granit Profund del Canigó a la zona migmatítica del massís. En conjunt l'emplaçament dels diversos cossos de granitoids intrusius fora anterior i/o sincrònica a la formació d'aquest sistema de plecs. Una situació semblant ha estat descrita a Roses (Cap de Creus) per CARRERAS i LOSANTOS (1982). Segons aquests autors alguns filons de granodiorita estan afectats, conjuntament amb els materials encaixants, per plecs atribuïbles a aquestes fases tardanes.

En els gneiss s'ha reconegut un altre sistema de plecs, orientats també E-W però amb una vergència aparent cap al nord. Són plecs asimètrics, amb el flanc nord subvertical o que cabussa al nord i el sud subhoritzontal o que cabussa cap al sud. Són especialment visibles als voltants de la Pica del Canigó i tampoc presenten esquistositat de crenulació associada.

Tan sols localment els gneiss estan afectats



N-S



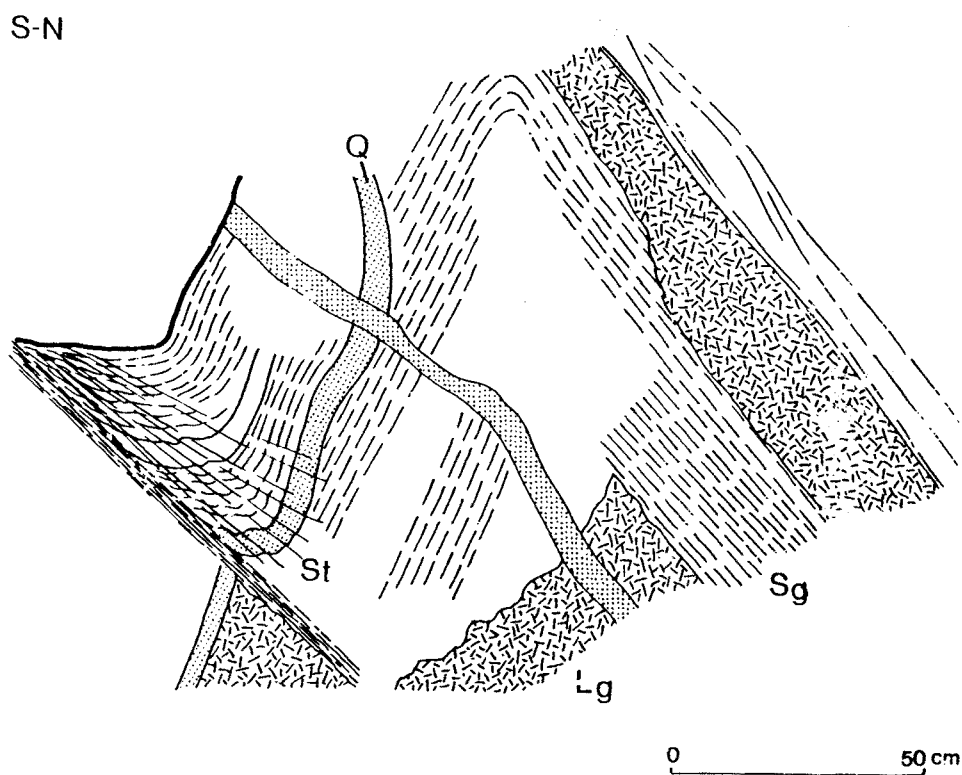
Fig. 72. Filó de composició granítica afectat, juntament amb l'esquistositat regional dels esquistos encaixants, per plecs E-W. Esquistos de les gorges de Toès.

per una esquistositat de crenulació associada a plecs angulosos o subangulosos (Puig-Sec). Aquesta esquistositat té un fort cabussament cap al nord i una orientació comparable a la de l'esquistositat de transposició que afecta localment els flancs d'alguns plecs mètrics E-W (5.2.2.1.).

No ha estat possible establir relacions cronològiques entre aquests diversos sistemes de plecs.

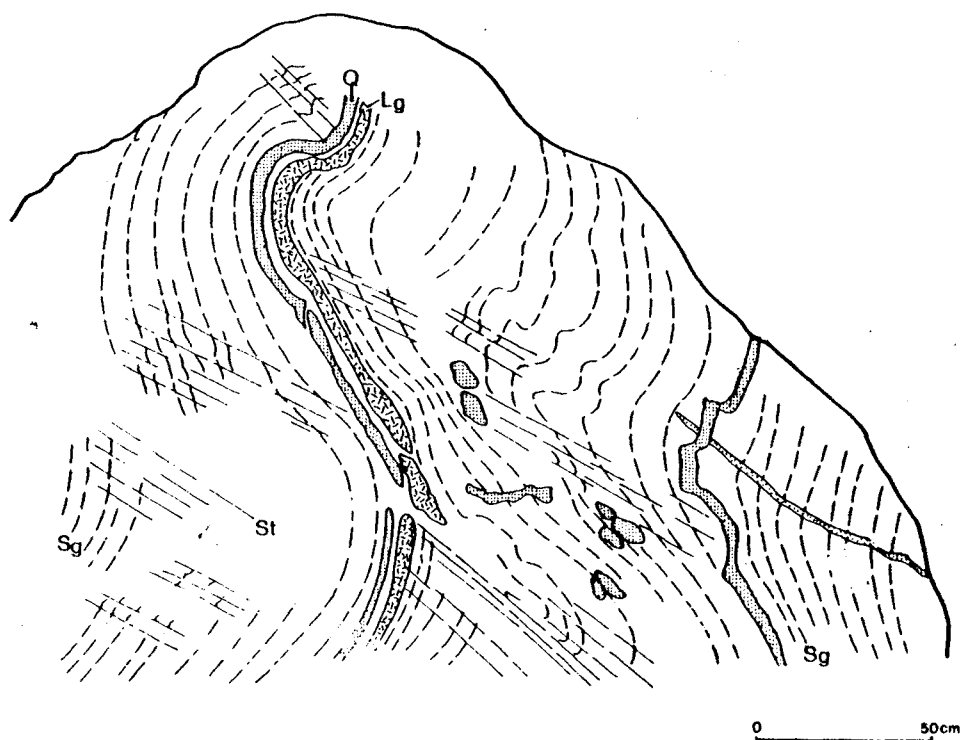
#### 5.2.1.3. Plecs hectomètrics

La S. regional dels gneiss presenta sovint variacions progressives del seu cabussament resultat d'un conjunt de plecs decamètrics a hectomètrics. Són analitzables cartogràficament però difícils de definir geomètricament. Tenen una geometria "en cascada" i sembla



A

S-N



B

Fig. 73. Esquistositat de transposició en flancs de plects E-W que afecten la Sg. voltants de Prats de Balaguer. Pista forestal del Coll Mitjà. Lg: leucogranit, Q: quars.

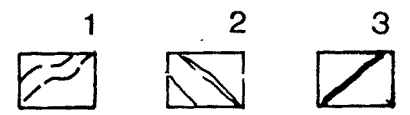
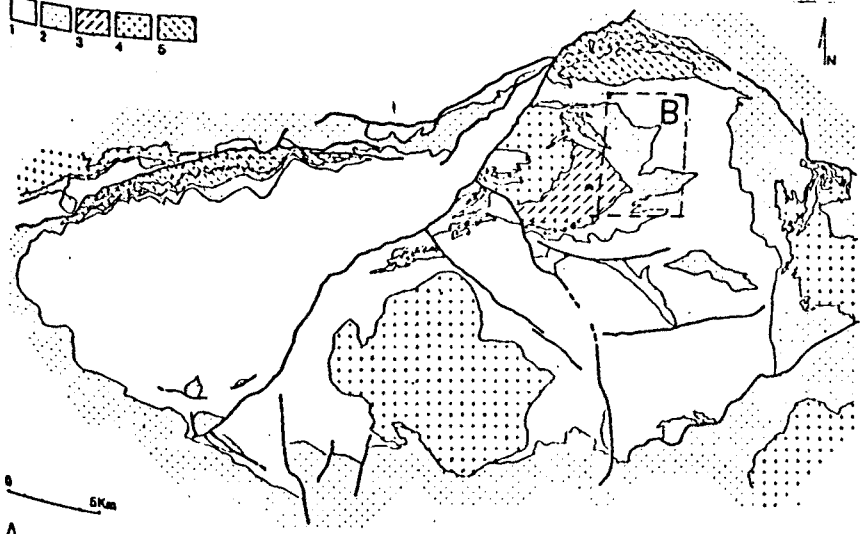
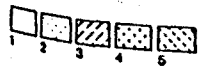
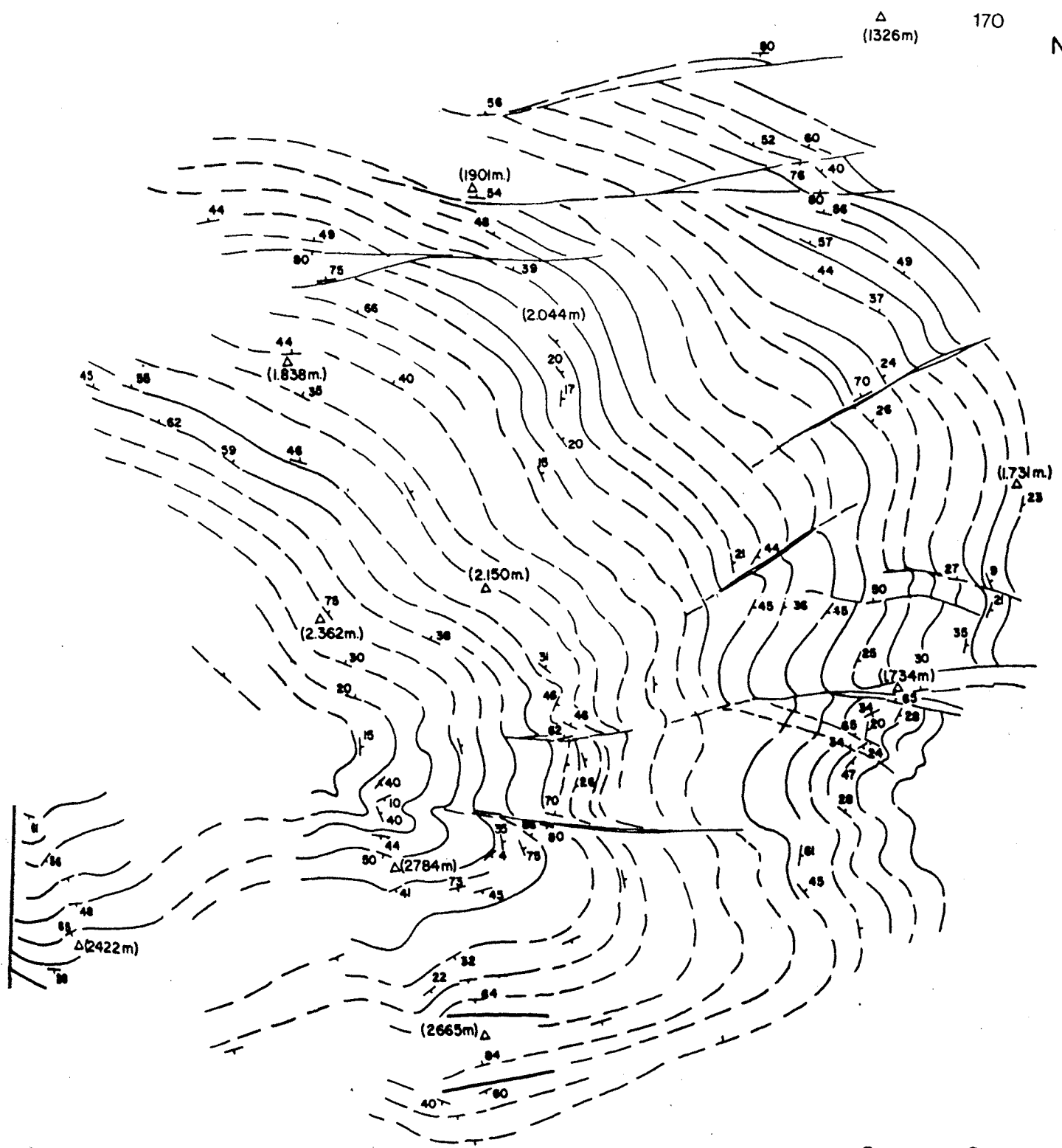
que durant la seva formació els gneiss hagin estat plegats concèntricament, ja que no hi he observat estructures penetrants associades. Aquests plecs, com els d'ordre mètric descrits més amunt, sovint tenen un dels seus flancs afectat per una esquistositat de transposició (5.2.2.). Degut a la dificultat per caracteritzar-los geomètricament, no puc afirmar si aquests plecs són estructures d'una altra escala, però assimilables a algun dels sistemes de plecs descrit anteriorment, o bé si es tracta d'un conjunt de plecs amb característiques pròpies.

#### 5.2.2. LES ZONES DE TRANSPOSICIÓ I LES BANDES MILONÍTIQUES AÏLLADES

Els gneiss sofreixen una deformació de tipus milonític associada a una sèrie de bandes que es troben distribuïdes en tot el massís. Es tracta de zones aïllades d'ordre mètric (difícilment ultrapassen la desena de metres d'amplada) a l'interior de les quals es forma una esquistositat que pot esborrar totalment la S. regional. Estan associades a: a) zones de transposició de flancs de plecs; b) zones de cisalla amb moviment "normal", i c) zones de cisalla amb moviment "invers" o desconegut.

##### 5.2.2.1. Les zones de transposició

En els flancs d'alguns dels plecs mètrics anteriorment descrits (5.2.1.) la S regional dels gneiss es troba afectada per unes zones de "transposició" de dimensions reduïdes. Aquestes zones estan definides per una esquistositat milonítica força penetrant que oblitera la S regional, que cabussa sempre cap al nord i que té una direcció variable entre E-W i NE-SW. Aquestes zones de transposició estan especialment desenvolupades en aquells sectors on la presència de plecs mètrics fa que



B

Fig. 74. A) Situació de la zona representada a la fig. B, B) Disposició de la Sg i orientació de les zones de transposició en el sector central del massís del Canigó. 1:esquistositat regional, 2: zones de transposició, 3: falles.

A

l'esquistositat presenti cabussaments molt variables o bé estigui verticalitzada (voltants de Prats de Balaguer, Ras del Prat Cabrera, etc.). En aquest cas afecta tan sols al flanc sud dels plecs. A diferència de l'esquistositat milonítica formada en zones de cisalla típiques damunt d'aquests plans no he reconegut mai una lineació d'estirament ben definida.

#### 5.2.2.2. Zones de cisalla normals.

Es tracta de zones de cisalla típiques a l'interior de les quals es forma una esquistositat milonítica molt penetrant que té una direcció al voltant d'E-W i un cabussament cap al nord (entre 40 i 90°) i menys penetrant cap al sud (70-80°). Damunt d'aquests plans es reconeix una lineació d'estirament que cabussa entre 30 i 70° cap al WNW (Fig.75C).

Aquestes zones tenen un moviment aparent amb una component de "dip slip" i un sentit de falla "normal" amb enfonsament del bloc nord. Aquestes estructures són freqüents al vessant nord, a l'interior de la zona milonítica de Fontpedrosa - Nyer o de la vall del Llec, i també d'una manera més esporàdica al sector central (Coll Mitjà, Ras del Prat Cabrera).

Quan afecta els gneiss o els micasquistos s'observa la rotació de l'esquistositat regional d'aquests materials fins a paral·lelitzar-se amb la disposició dels marges de les zones de cisalla. Aquestes estructures es desenvolupen també en roques previament isòtropes (granits, leucogranits, etc.); en aquest cas tenen una geometria típica de shear-zone (Fig.75A).(RAMSAY i GRAHAM, 1970). A diferència de les zones de transposició aquestes zones de cisalla tenen una distribució més àmplia i la seva formació no està tan estretament controlada per

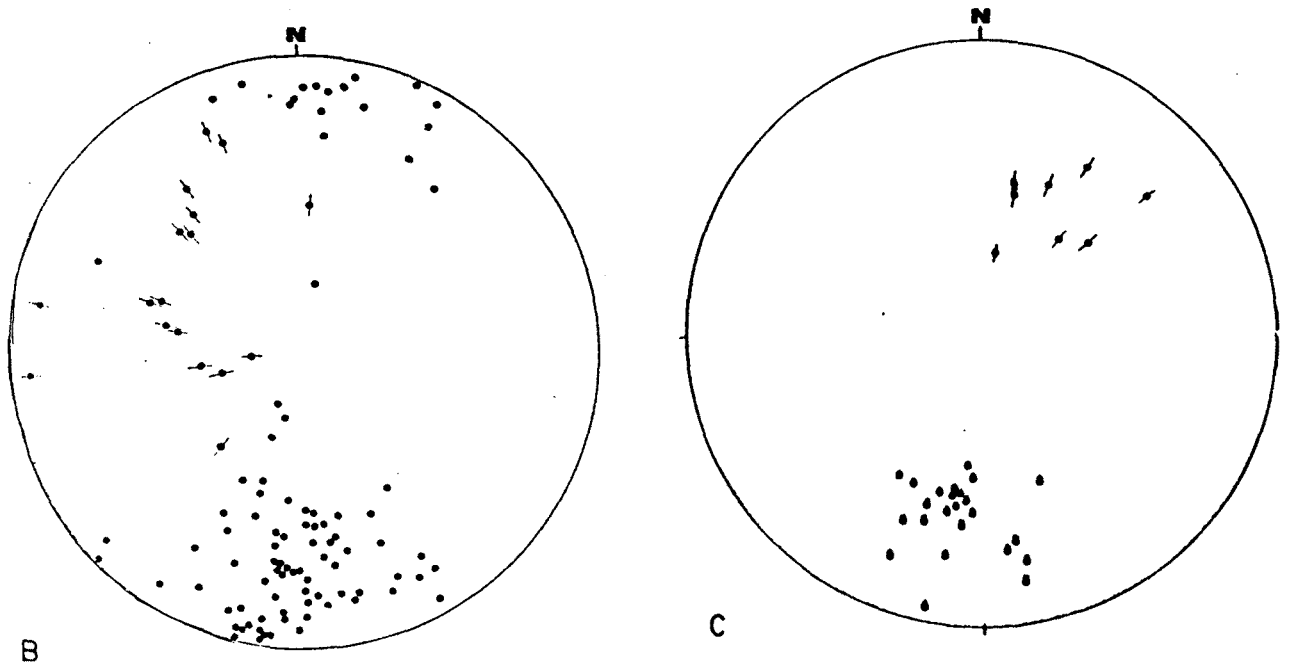
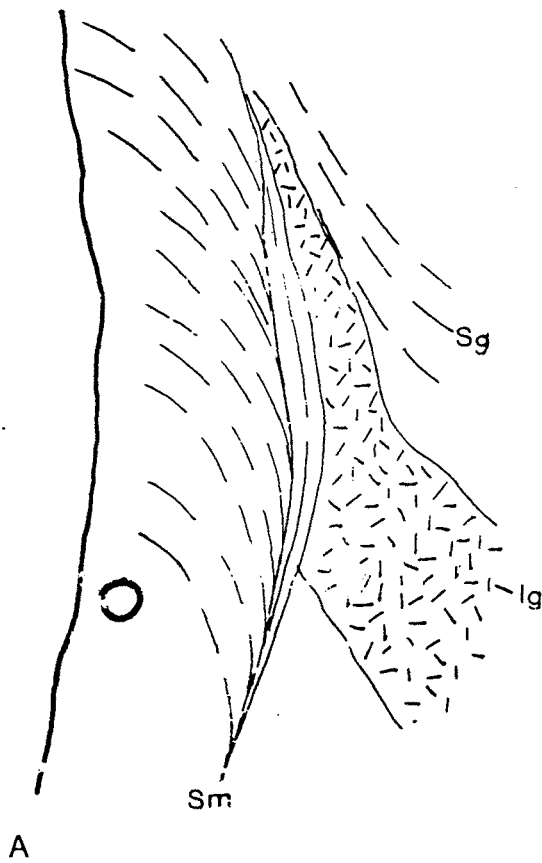


Fig. 75. A) Zona de cisalla normal que afecta els gneiss ocellars i un petit cos de leucogranit. Gorges de Toès, B) Orientació de l'esquistositat ( $\bullet$  90 mesures) i de la lineació milonítiques ( $\rightarrow$  17 mesures) associades a zones de cisalla normals en el conjunt del massís, C) id. ( $\bullet$  Sm, 24 mesures,  $\rightarrow$  8 mesures) en zones de cisalla inverses o amb sentit de moviment desconegut.

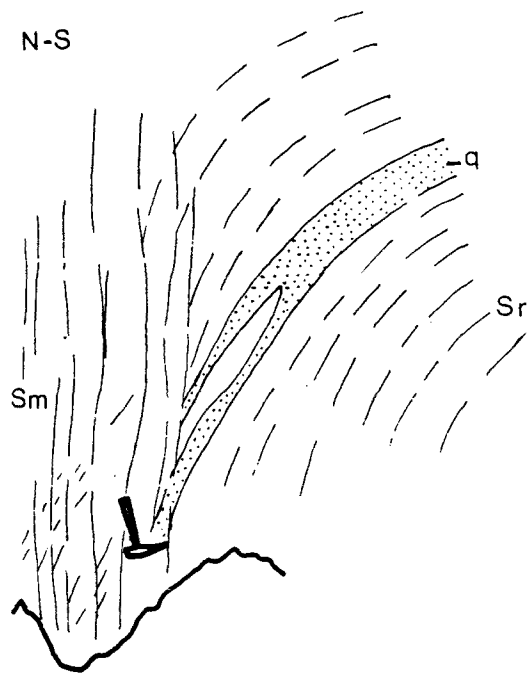


l'existència de plects anteriors, encara que en algun cas aprofitin flancs de plects decamètrics a hectomètrics per desenvolupar-se (voltant del Coll de les Voltes, Coll Mitjà, etc.).

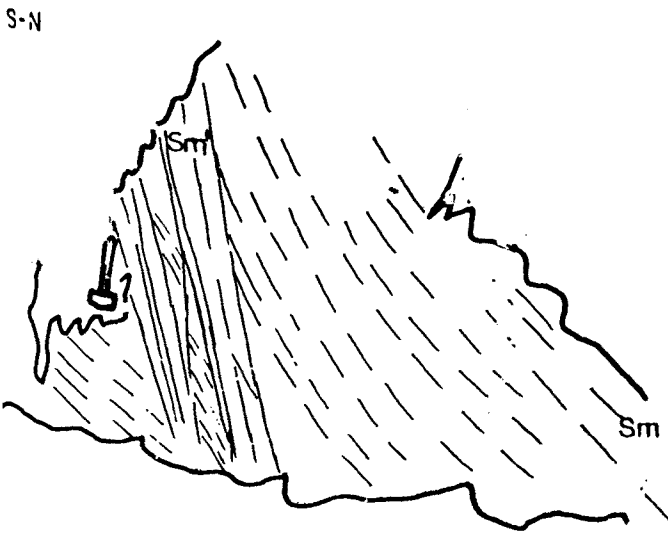
L'esquistositat milonítica localment dominant a l'interior de la banda de Fontpedrosa- Nyer en alguns casos està afectada per aquestes zones de cisalla (Fig. 76Bi79). Es tractaria doncs d'estructures formades posteriorment a les grans faixes milonítiques que voregen el vessant nord i probablement als plects hectomètrics que afecten la S regional a la resta del massís.

#### a) Microestructura de les milonites

A nivell microestructural les milonites formades en aquelles zones de cisalla presenten una gran analogia amb les que formen les grans faixes milonítiques. A nivell microscòpic tenen una textura típica de milonites quars-feldspàtiques, observant-se totes les varietats des de protomilonites fins ultramilonites. L'esquistositat està definida per bandes de filosilicats (moscovita relicte fonamentalment) que alternen amb d'altres riques en quars o bé es disposen envoltant els porfiroclastos feldspàtics fortament fracturats i estirats. En roques de composició inicialment granítica (gneiss i/o granodiorites i granits intrusius) s'observa una disminució en el contingut en biotita (que pràcticament desapareix) i en la mida i proporció dels porfiroclastos feldspàtics a mesura que la roca sofreix una disminució progressiva de la mida de gra (ultramilonita). En les milonites derivades dels gneiss cal notar la presència freqüent de cristalls de calcita de mida variable, en equilibri textural amb la resta dels components. com en el cas de les milonites del vessant nord (5.1.1., 5.1.2.) la seva presència podria relacionar-se amb l'acció d'una fase fluï-



A



B



Fig. 76. Zones de cisalla normals que afecten l'esquistositat regional (A), (voltants de Fontpedrosa) i l'esquistositat milonítica (B), (voltants de la Collada, camí del refugi de Donapa a Toès).

da rica en  $\text{CO}_2$  durant la deformació.

La característica comuna en aquest conjunt de roques és que el quars presenta una forma poligonal o subpoligonal, (Fig. 72) i que els grans són equidimensionals a l'interior d'una mateixa banda o d'un ribbon. En les protomilonites es reconeixen alguns cristalls de mida més gran, amb vores serrades i fortes extincions ondulants envoltants per nous grans de mida més petita. La presència d'aquests grans "vells" disminueix en minvar globalment la mida de gra de la roca en els estadis milonítics. Com és freqüent en aquest tipus de roques (5.1., 5.2.2.3.) presenten també dos sistemes de plans de shear bands aproximadament simètrics que fan que l'esquistositat adopti formes anastomòtiques.

#### b) Orientació cristal·logràfica preferent del quars

Els grans nous de quars presenten en aquestes roques una marcada orientació cristal·logràfica preferent definida per quatre màxims disposats simètricament i que formen un angle elevat respecte l'esquistositat; es tracta de màxims relativament aïllats que no arriben a definir dues garlandes creuades (Fig. 78). Com la microestructura, aquesta distribució és comparable a alguna de les fàbriques que presenten algunes de les milonites septentrionals. Aquest tipus de distribució simètrica ha estat interpretada de diversa manera (vegeu discussió a 3.2.2. i 5.2.2.3.), ja que tant milonites "normals" com "inverses" la presenten. D'altra banda l'elevat grau de recristal·lització del quars en aquestes roques fa difícil pensar en fenòmens de fàbriques sobreimposades o de fàbriques anteriors que controlin la nova orientació dels eixos  $c$ .

Pontser caldria considerar la possibilitat

Fig. 77. A i B) Microestructura del quars en gneiss milonititzats per zones de cisalla normals. Els filosilicats exerceixen un cert control en la forma i la mida de gra del quars, Nícols encreuats (escala 1mm), C) Cristalls de calcita en gneiss milonititzats per zones de cisalla normals. Nícols encreuats (escala 1mm).