

PRECISIONS SUR LE METAMORPHISME DU MASSIF DE MENDERES
LE LONG DE SA BORDURE MERIDIONALE
(SW DE LA TURQUIE)

P. de GRACIANSKY

Ecole Rationale Superieure des Mines, Paris

Le massif de Menderes forme un noyau interne ancien, une sorte de zone axiale allongee SW-NE, autour de laquelle s'orientent les structures du Taurus SW anatolien; c'est un dome de gneiss oeilles, recouvert d'une serie reguliere detritique, puis carbonatec, dessinant des plis legerement deverses vers le massif au Sud de celui-ci et passant a de petits chevauchements le long de sa bordure occidentale, vers la cote egeenne.

En position synclinale dans ces ondulations, de puissantes masses de marbres (1000- 1500 m) sont parcourues d'un niveau d'emersion jalonne par des poches d'une ancienne bauxite maintenant transformee en emeri a corindon et diaspore, excellent horizon repere permettant de raccorder entre elles les formations qui le contiennent et de determiner leurs structures. La serie detritique sous-jacente, puissante de quelque 1000 a 1200 m, est caracterisee par des variations rapides de facies, laterales et verticales; au plus pres des gneiss, ce sont surtout des gres et des pelites se chargeant de calcschistes vers le haut et vers les zones anticlinales plus externes, ou persistent encore gres et conglomérats.

L'ensemble a subi une recristallisation regionale, avec developpement de chlorite et de chloritoïdes (K. Metz & G. van der Kaaden, 1954); en outre, une couronne de metamorphisme se localise au-dessus des gneiss, a la base de leur couverture, sous la forme de micaschistes a biotile et grenats (Fig. 1).

Bien que les marbres contiennent des fantomes de Mollusques et de Brachiopodes encore reconnaissables, les facies sont defavorables a la decouverte de fossiles determinables; il existe cependant sur la bordure S du massif des affleurements fossiliferes etendus (gisements de Göktepe, entre Kavaklıdere et Muğla) ayant livre des Polypiers et des fusulinides du Viseen (T. Öney, 1950) et du Permien (K. Metz, 1954), mais dont la position par rapport aux marbres a emeris n'a jamais ete elucidee encore avec precision; aussi les interpretations des auteurs ayant parcouru la region n'ont-elles encore que la valeur d'hypotheses de travail.

Pour T. Onay (1949), K. Metz et G. v. d. Kaaden (1954), R. D. Schuiling (1962), les calcaires et quartzites fossiliferes de Göktepe, a peine recristallises, terminent la serie du Paleozoique et les autres terrains leur sont anterieurs, car plus metamorphiques; dans cette hypothese, la disposition serait la suivante:

Calcaires Permio-Carbonifere: 200m	Göktepe.	bitumineux, schistes et quartzites de
Devonien (?): 1000 m	Marbres	a emeris, dits de Menteşe.

Silurien (?) : 1200 m micaschistes Schistes a sericite et chlorite;
a biotite et grenat.
Zanablen transition avec les gneiss
plusieurs km.
Precambrien (?) Gneiss oeilles du Menderes.

Pour J. Wipern (1964) au contraire, qui pense avoir trouve des fossiles a facies de Göktepe dans les marbres sous-jacents aux emeris et des fossiles d'age Jurassique au-dessus, les marbres dits de «Menteşe» et les calcaires de Göktepe constitueraient une seule et meme formation, plus ou moins metamorphique selon les endroits, le niveau de bauxite definissant la limite du Primaire et du Secondaire; la succession des etages serait en ordre plus contracte :

Jurassique	Marbres massifs.
Trias 500a1000m	
Niveau d'emersion	Bauxites.
Permo-Carbonifere: 100-200 m	Marbres massifs et calcaires de Göktepe.
Devonien (?)	Micaschistes graphiteux, calcschistes et conglomérats.
(?)	Gneiss oeilles du Menderes.

Quelle que soit le schema propose, Page du materiel constituant les gneiss du Menderes et leur couverture est reporte a la base du Paleozoique; toutefois la difference des interpretations ne permet pas de preciser l'epoque du metamorphisme; s'est-il manifeste avant le depot des formations de Göktepe, ou bien leur est-il posterieur, et alors d'age mesozoique?

Dans la premiere hypothese, le metamorphisme du massif de Menderes se rattacherait au cycle hercynien, suivant l'idee exprimee par M. Tokay et C. Erentöz (1959); dans le cas d'un metamorphisme d'age Jurassique qu'impliquerait la stratigraphie de J. Wipern, le Cretace etant repute exempt de toute transformation dans le SW de la Turquie, ce seraient les premices des plissements tauriques proprement dits, eux memes relies aux cycles dinarique et alpin.

La question est d'importance et meriterait certes l'examen specialement approfondi des regions fossiliferes, qui resoudrait des problemes de la stratigraphie regionale.

Avant de l'aborder, j'ai envisage le probleme de la petrogenese profonde dans le massif de Menderes² par l'etude d'etaillee d'une bande transversale a sa bordure, au N de la petite ville de Milas, dans une contree, interessante en particulier par la variete et l'abondance relatives des enclaves dans les gneiss.

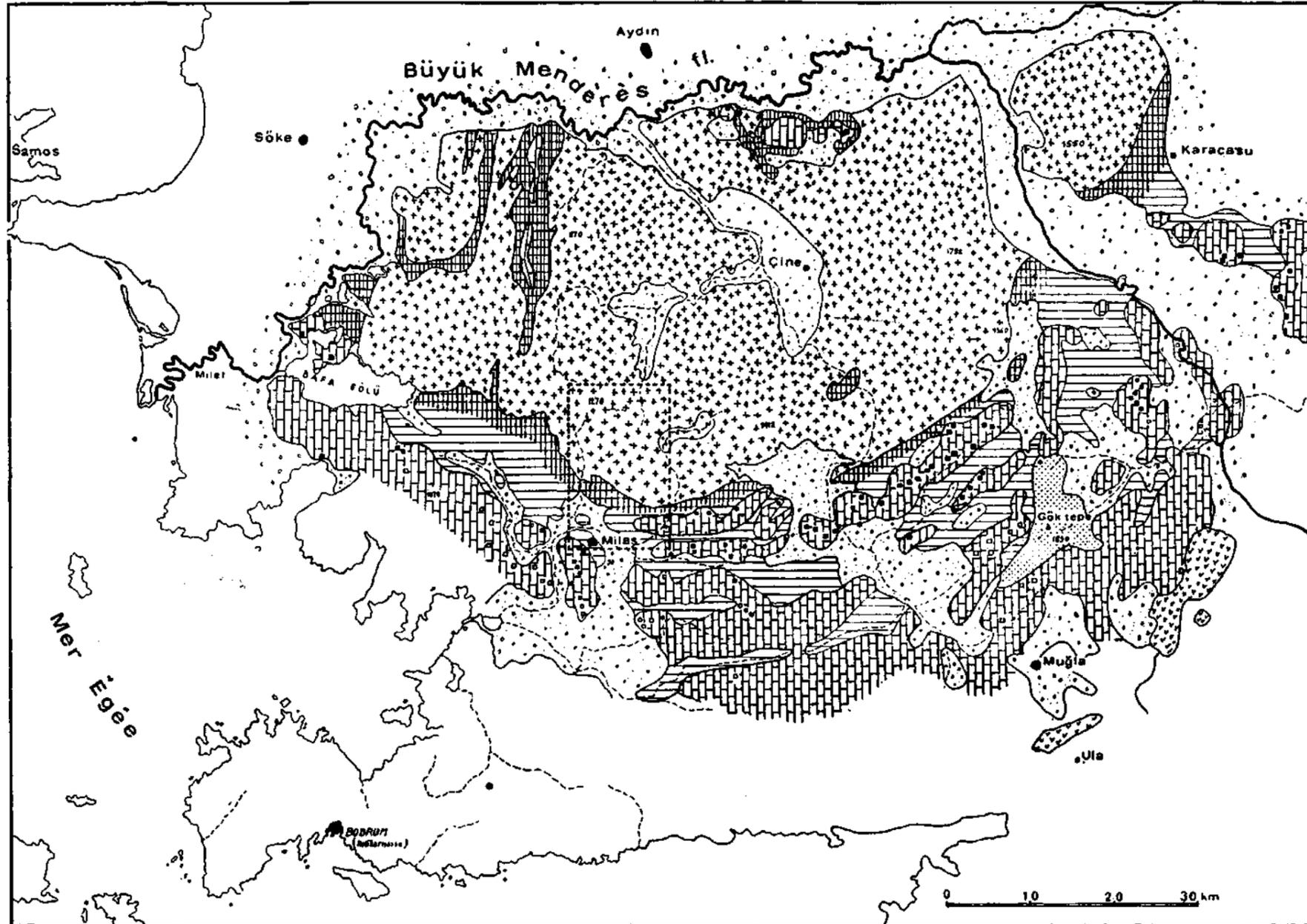
I. LE SCARACTERES DU METAMORPHISME

a. Le metamorphisme dans Penveloppe des gneiss (Fig. 2)

La repartition des mineraux en fonctions de la lithologie est figuree sur la coupe ci-jointe; une zonation apparait nettement et montre l'existence, a partir des gneiss,

¹ Nous ne disposons a ce jour que d'une determination d'age absolu portant sur une pechblende provenant des environs de Milas; elle a fourni la date de -268 MA +60.

² Les grandes lignes structurales en avaient ete reconnues par R. D. Schuiling, lors des travaux d'exploration et de prospection d'uranium entrepris par le M.T.A.



**Le Massif de Menderes
et sa bordure Sud.**

Carte schématique

**Fig.1
légende**

-  Formations récentes
 -  Péridotites
 -  Permio-Carbonifère fossilifère de Gök tepe
 -  Marbres à émeris
 -  gisement d'émeris à diaspore
 -  gisement d'émeris à corindon
 -  faciès peu métamorphiques
micaschistes à biotite et grenat
 -  Gneiss du massif de Menderes
- séries
détritiques



d'après T. ÖNAY, H.D. SCHILLING, ainsi que d'après nos propres levés, et d'après la carte géologique au 500 000ème turque.

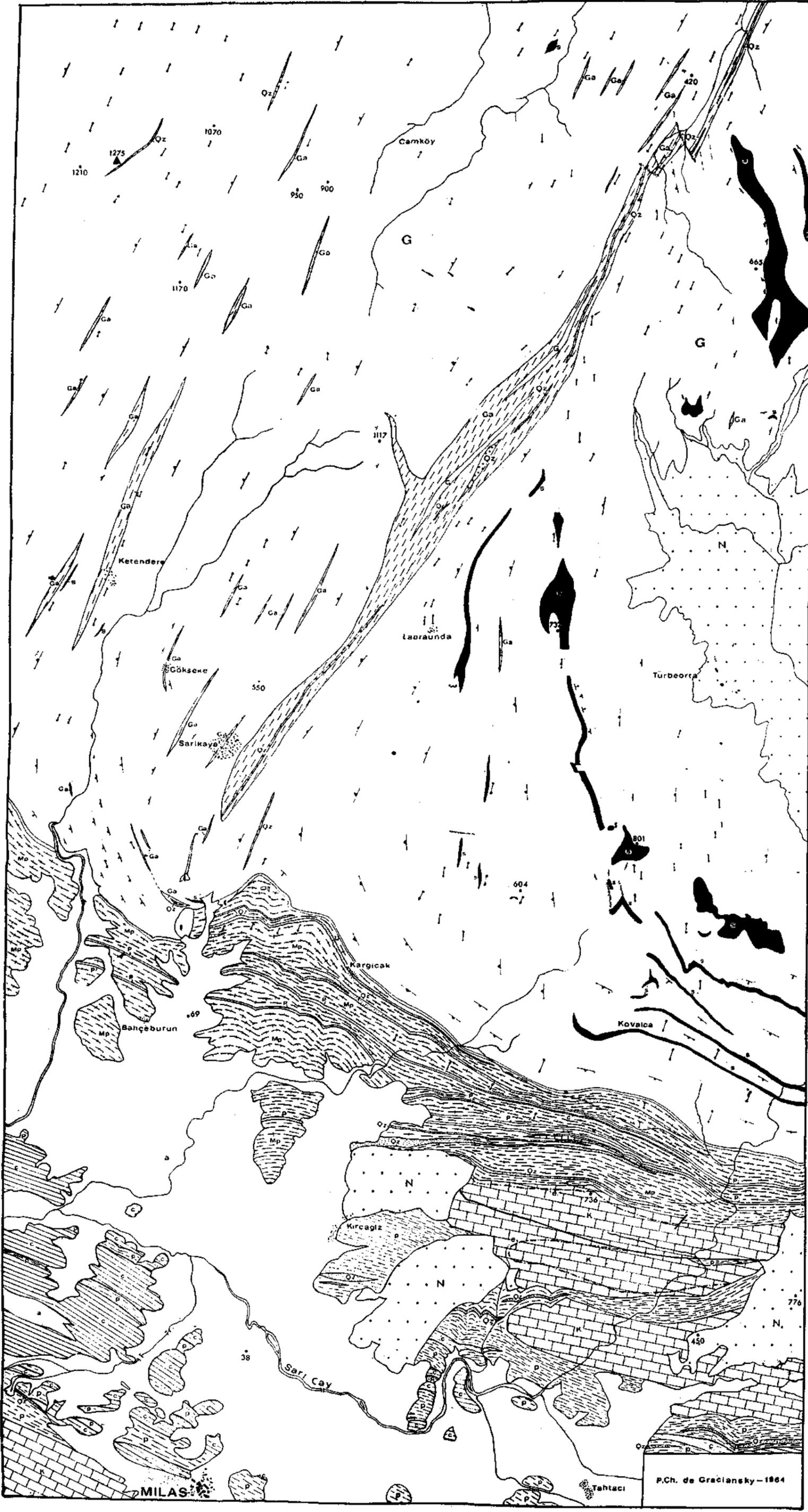


Fig. 4

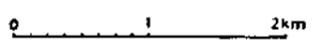
LEGENDE

- Alluvions et formations de pente actuelles et anciennes
 - Sables et Conglomérats d'âge Néogène
 - Marmes à émeris (e)
- | | |
|---|---|
| faciès
nétamorphiques | faciès peu
nétamorphiques |
| C: Marmes
P: Bases pélitiques en relief
Mp: Micaschistes à biotite, grenat.
Qz: Quartzites | c: Marmes, calcoschistes
p: Pélites
Qz: Quartzites, conglomérats. |
- 'Septa' de micaeschistes très riches en biotite
 - Gneiss à muscovite seule, à grain fin, souvent kaoliniques
Qz: Quartzites
 - Quartz hydrothermal
 - Gneiss cellés, à muscovite et, souvent, à biotite
1: schistosité 2: linéation

faciès dans le massif de Karamaz

P. Ch. de Graciansky - 1964

ECHELLE



d'une première couronne, déjà bien connue et continue sur le pourtour du massif, avec une puissance de quelque 600-700 m, où les micaschistes à biotite et mica blanc contiennent souvent une forte densité de grenat almandin;³ la base est marquée par une frange d'une cinquantaine de mètres chargée de petits feldspaths. correspondant peut-être à des niveaux originellement arkosiques ou plus vraisemblablement à la feldspathisation de la roche, annonciatrice des gneiss sous-jacents. Une bande externe est caractérisée par la disparition à peu près simultanée de la biotite et du grenat, par la présence de chlorite, d'épidote, de zoisite, de chloritoïde, qui se rencontrent déjà dans le domaine de la biotite et du grenat.

Plus à l'extérieur encore, des plis font réapparaître en position anticlinale l'équivalent latéral des micaschistes, sous la forme de pelites schisteuses et de calcschistes à sericite.

Les synclinaux comportent des marbres à émeris dont la répartition des paragenèses révèle une liaison géographique étroite entre métamorphisme poussé et proximité du noyau gneissique de Menderes.

Selon une étude des émeris du Taurus SW anatolien due à T. Öney (1950), les gisements des bandes de marbres au plus près des gneiss, sur toute la bordure S,⁴ entre Milas et Denizli, comportent des émeris véritables, avec du corindon, accompagnés de diaspore, de magnetite, de margarite, de grands chloritoïdes. Les suivants, plus éloignés du massif, n'ont pas poussé leur évolution au-delà du diaspore («diasporit» de T. Öney ou samosite de J. de Lapparent, 1937; cf. Fig. 1).

Le massif de Menderes apparaît ainsi comme une sorte de foyer autour duquel s'organisent des zones de métamorphisme concentriques.

Comparons plus précisément les associations minérales rencontrées dans ces micaschistes à celles qui ont été décrites dans les classifications zoneographiques récentes, celle de Fyfe, Turner et Verhoogen (1958) par exemple.

Pour les roches d'origine pelitique, il s'agit des trois subdivisions successives du «greenschist facies», comportant de haut en bas :

- 1) Le sous-fades à quartz, albite, muscovite, chlorite, avec chloritoïde dans les roches à déficit de potassium riches en alumine et probablement aussi à déficit de sodium, puisque l'albite n'est à peu près pas représentée.
- 2) Le sous-fades à quartz, albite, épidote, biotite, avec les assemblages à :
 - Biotite, muscovite, quartz (-albite, -épidote)
 - Muscovite, chloritoïde, quartz (-albite, -épidote)
 - Biotite, muscovite, chlorite, quartz (-albite, -épidote)
- 3) Le sous-fades à quartz, albite, épidote, almandin :
 - Biotite, muscovite, almandin, quartz (-albite, -épidote)
 - Muscovite, chloritoïde, almandin, quartz (-albite, -épidote, -chlorite)
 - Muscovite, chloritoïde, -quartz (-chlorite).

Il faut noter la rareté de l'albite dans la série.

³ La détermination de ces grenats, réalisée au Bureau de Recherches Géologiques et Minières, a été effectuée par analyse chimique pour certains d'entre eux; de plus des mesures d'indice et de paramètre permettent de constater le peu de variations de la composition; à titre d'exemple, l'un de ces échantillons comporte 72 % d'almandin, 14 % de pyrope, 10 % de grossulaire, 3 % d'andradite et 1 % de spessartine.

⁴ Sur la bordure occidentale, au N de Milas, les unités successives sont écaillées, chevauchantes, amenant un épaississement anormal des micaschistes et le contact direct avec les marbres à diaspore; il n'y a plus de place pour reméri vrai.

Selon les memes auteurs, la limite inférieure du «greenschist facies» coincide avec l'apparition des plagioclases ($An = 15-30\%$), donc avec la frontiere des gneiss (zone des gneiss superieurs de M. Roques); plus bas, dans les gneiss et dans les mica-schistes en enclave, R.D. Schuiling (1962) a signale, avec la presence de staurotide, l'association a disthene, almandin et muscovite, subdivision du facies «almandin-amphibolite» de Fyfe, Turner et Verhoogen.

Les parageneses citees correspondent aux associations minerales classiques du metamorphisme general, dont les isogrades externes apparaissent, dans le cas present, relativement contractees autour du noyau gneissique.

Une particularite de ce metamorphisme est l'absence d'orientation d'une fraction importante des biotites, disposees en tous sens au travers du feuilletage; n'etant pas deformees, elles semblent avoir grandi independamment et posterieurement aux efforts generateurs de la schistosite, dans des conditions purement thermiques de reorganisation de la matiere; les grenats sont tardifs egalement; ils ne sont jamais broyes ou etires et cicatrisent la schistosite; le dessin de leurs lignes d'inclusions prolonge la foliation sans manifester de deplacement important.

Ces transformations, liees a la mise en place des gneiss, presentent ainsi les assemblages mineraux classiques du metamorphisme regional, mais une partie de ces mineraux au moins parait avoir cristallise dans les conditions d'un metamorphisme thermique: c'est l'exemple d'une situation intermediaire entre deux types extremes, en d'autres termes si tranches dans la nature.

b. Les gneiss du massif

L'essentiel du massif est constitue de gneiss oeilles a deux micas, parcourus de bandes de mica-schistes et de quartzites ayant echappe a une feldspathisation poussees et recoupees de filons hydrothermaux tardifs, faits de tourmaline et de quartz de basse temperature.

A propos des gneiss, R.D. Schuiling (1962) a parle de migmatites, ces roches definies par J. Sederholm comme resultant d'un «melange» a partir d'une «trame» sedimentaire ancienne et d'un «apport» quartzofeldspathique; selon la terminologie de MM. J. Jung et M. Roques, il s'agirait «d'embrechites oeilles», le stade de l'homogeneisation par anatexis etant rarement et localement atteint.

En depouillant le mot du sens genetique qu'il comporte a l'origine jusque dans son etymologie, la notion de migmatite convient pour decrire les roches du massif de Menderes, qui conservent, malgre leur aspect cristallin, des caracteres de formations sedimentaires, souvenirs d'un etat anterieur a la granitisation et trahissant une origine mixte. Les plus typiques de ces traits sont portes par les enclaves peu feldspathisees, telles que les quartzites avec stratifications entrecroisees; la morphologie des zircons de ces roches serait celle de grains detritiques (Schuiling, 1958); au microscope, la stratification ancienne des quartzites, bien qu'intensement plissotee et recristallisee, est encore soulignee et ponctuee par des nuages de sphenes, de zircons et d'apatites qui en suivent les ondulations. D'autres types de formations paraissent correspondre aux anciens niveaux interstratifies dans la serie: ce sont des bandes de mica-schistes a biotite et grenat, protegees elles aussi d'une transformation plus poussees et qui parcourent les gneiss en conformite avec la foliation.

Entre ces reliquats, les gneiss oeilés ont, si ce n'est leur orientation, beaucoup de la composition mineralogique et chimique d'un granite (cf. infra).

Le fond de la roche est constitue essentiellement de plagioclases (An de 15 a 40 %), souvent deformes (macles tordues) ou meme brises, cimentes par des filonnets de quartz, et de petits feldspaths potassiques en moindre abondance, les uns et les autres moules de plages de quartz resultant sans doute de recristallisations tardives; l'ensemble forme une pate a grain fin qui reunit entre eux les cristaux plus volumineux; ce sont quelquefois de gros plagioclases (An de 20 a 30 %) et surtout de gros porphyroblastes de feldspaths potassiques largement perthitiques (forme monoclinique ou faiblement triclinique) et aux bordures souvent decoupees de belles figures myrmekitiques. Parfois l'albit-

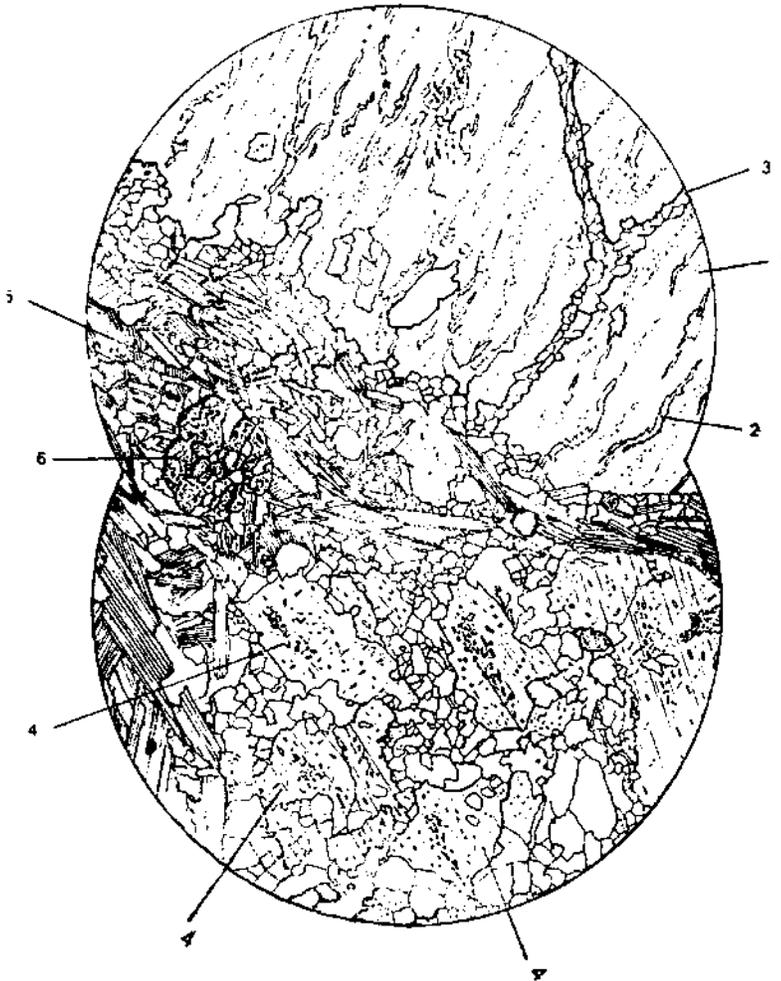


Fig. 3 - Cette vue microscopique donne une image moyenne de l'organisation des minéraux dans les gneiss ocellés.

Volumineux feldspaths potassiques (1), perthitiques (2), parfois un peu brisés et recoupsés de filonnets de quartz (3) sont séparés de gros plagioclases tordus, cassés, ou même dissociés (4), par une pâte fine composée de grains de quartz et de petits feldspaths ou par des files de micas blancs et sombres (5) très rarement déformés et contenant de petits grenats (6).

(Grossissement 40 environ)

sation ultérieure, assez peu fréquente, des espaces compris entre les facules plagioclasiques des perthites, conduit à la pseudomorphose-totale des porphyroblastes.

Outre le quartz et les feldspaths, des amas étirés ou des files de micas blancs dessinent la foliation à l'échelle microscopique; ces files sont parfois retinées entre elles par des anastomoses ondulées qui dessinent des figures en S.

La biotite, généralement brune, peut se trouver dans le plan de foliation, mais aussi en être indépendante; souvent elle paraît avoir poussé tardivement à la manière de porphyroblastes; elle forme parfois, en lame mince, des figures en dentelle dans les indentations desquelles subsistent des enclaves quartzo-feldspathiques.

Contrairement aux feldspaths et comme dans les micaschistes, les micas rarement et faiblement déformés, semblent être postérieurs aux phases de déformations les plus tardives.

La tourmaline, l'apatite, le sphène, le zircon sont les minéraux accessoires (Fig. 3).

La composition chimique des gneiss permet de les rapprocher d'un domaine intermédiaire à celui des granites alcalins et calcoalcalins (Tableau 1) :

Tableau - 1

	N6	295	303	N1
SiO ₂	74,63	76	71	71,59
TiO ₂	0,14	0,092	0,52	0,31
Al ₂ O ₃	13,86	14	15	14,69
Fe ₂ O ₃	0,52	0,5	1,9	0,56
FeO	0,89	0,55	2,8	1,56
MnO	0,04	0,024	0,049	0,07
MgO	0,33	?	?	0,54
CaO	0,57	1,1	1,0	1,28
Na ₂ O	3,05	3,7	2,6	2,97
K ₂ O	5,16	4,7	5,8	5,48
H ₂ O +	0,63 perte au feu	0,3	1,0	HO ₂ + 0,69
P ₂ O ₅	0,18			P ₂ O ₅ 0,26

N6 : Composition moyenne de 17 échantillons de granite alcalin à muscovite et biotite (Nockolds, 1954).

295 : Gneiss à deux micas recueilli à 2 km au dedans du contact avec les micaschistes (N de Kargıcak); analyse inédite communiquée par R. D. Schuiling; dosage par fluorescence X, sauf pour Na₂O, dose par photométrie de flamme (Laboratoire de Géochimie et de Petrographie de l'Université Royale d'Utrecht, Pays-Bas).

303 : Gneiss oeilé à muscovite et biotite, récolte au cœur du massif (Karpuzlu); analyse due à l'obligeance du même analyste; même précède.

N1 : Composition moyenne de 21 échantillons de granite calcosodique à muscovite et biotite (Nockolds, 1954).

N. B. : Les analyses 295 et 303 doivent être considérées avec réserve, étant donnée la trop faible masse de l'échantillon traité vis-à-vis de la dimension des grains, expliquant peut-être la teneur élevée de l'échantillon 303 en K₂O. Elles ont une valeur indicative suffisante, toutefois, pour ne pas être négligées.

Sur les bordures du dôme, les gneiss oeilés passent à des faciès clairs, à grain fin, recoupés de filons aplitiques, pratiquement dépourvus de biotite et pauvres en

porphyroblastes de feldspaths potassiques. La tourmaline forme en abondance avec le quartz et les feldspaths des lentilles de quelques centimetres, aplaties dans la foliation qu'elles ecartent.

La composition chimique d'un type moyen permet de le rapprocher tres etroitement des granites alcalins (Tableau 2).

Tableau - 2

	296	N5
SiO ₂	75	73,84
TiO ₂	0,063	0,16
Al ₂ O ₃	14	14,29
Fe ₂ O ₃	0,6	0,34
FeO	0,4	0,75
MnO	0,011	0,05
MgO	?	0,21
CaO	0,6	0,69
Na ₂ O	3,2	3,61
K ₂ O	5,1	5,21
perte au feu	0,9	H ₂ O+ 0,60 P ₂ O ₅ 0,25

296 : Composition chimique d'un echantillon de gneiss fin a tourmaline et muscovite, recueilli pres du contact des gneiss et des micaschistes (village de Kargıcak); meme analyste et memes techniques.

N5 : Composition chimique moyenne de six echantillons de granite alcalin a muscovite (Nockolds, 1954).

L'existence de ces roches alcalines, riches en muscovite et en tourmaline se traduit en une accumulation des elements «volatils», frequente sur le pourtour des structures en voutes; cette concentration peut aller parfois jusqu'a la formation de veritables banes de «tourmalinites» quartziques.

Les facies gneissiques fins et clairs peuvent former des recurrences et s'insinuer en de petits banes dans la schistosite des micaschistes feldspathiques immediatement sur-incombants; marquee d'un autre cote par la persistance de lentilles de micaschistes a biotite au sein des gneiss, la transition se fait en une centaines de metres.

II. STRUCTURES AU SEIN DES GNEISS ET RELATIONS AVEC L'ENVELOPPE DE MICASCHISTES

Outre l'existence de roches alcalines sur le pourtour du massif, differenciations liees a la montee du dome, les gneiss comportent des enclaves de fades particulier, pleines d'interet pour les renseignements qu'elles fournissent sur les structures anterieures a la migmatization.

a. Nature et disposition des enclaves dans les gneiss

La region representee sur la carte donnee en Figure 4 est partagee en deux par une bande complexe ou alternent des gneiss tres clairs et un banc de quartzites intensesment plissotes; ces quartzites forment une bande pratiquement continue, orientee NNE-SSW et s'effilant vers le S, a 1 km avant la limite superieure des gneiss oeilles;

ils sont constamment accompagnés de gneiss à grain fin, tendant vers des leptynites, constitués essentiellement de quartz, de petits feldspaths potassiques et d'albite; la muscovite y est d'abondance variable et la biotite plus rare et plus dispersée, l'apatite, le sphène, le zircon sont fréquents, parfois en grande densité.

Les mêmes gneiss clairs dont les feldspaths sont souvent fortement kaolinisés, réapparaissent à l'Est et surtout à l'Ouest de la zone médiane; ce sont de longues bandes allongées dans la même direction NNE-SSW.

À l'Est du banc de quartzites, des micaschistes sombres riches en biotite, avec mica blanc et almandin forment des enclaves longues et étroites qui portent les traces d'un plissement intense d'axe NNE-SSW, à l'échelle centimétrique ou métrique.

Ces faciès, bien différents des gneiss oeilés, correspondent à des niveaux d'une série ancienne plissée, certainement sédimentaires pour certains, soulignant un litage palimpseste.

À l'W de la bande de quartzites, la schistosité dans les gneiss affecte l'allure d'un monoclin d'inclinaison variable vers l'WNW, donnant l'impression d'un plissement resserré d'axe NNE, parallèle à la lineation visible, en conformité avec l'allongement des enclaves.

À l'E, les mêmes éléments réapparaissent, mais se superposent à d'autres plus anciens; ils donnent l'image de la situation un peu plus complexe de deux régimes de plissement superposés. La surface de contact entre «septa» surbiotitiques et roches encaissantes est parfois fort contournée et peut devenir nettement oblique par rapport à la direction générale de la schistosité; en carte, le dessin de la lithologie évoque, au S, un grand pli d'axe NS et plus au Nord, des replis de moindre importance mais dont l'axe est tordu vers le NW; dans cette même région, les bancs de gneiss oeilés suivent le mouvement et l'ensemble paraît faire un angle avec la direction ENE du banc de quartzites, bien que le raccord se fasse sans angle vif par une inflexion progressive des couches, due peut-être à la reorganisation de la matière liée au métamorphisme.

Cette dualité entre le comportement de deux domaines peut être interprétée en imaginant que l'un d'eux, comprenant en particulier des niveaux riches en fer et en aluminium, maintenant surbiotitiques et épargnés par la feldspathisation, aurait pu connaître une histoire plus longue que l'autre, avec une phase de plissement suivie d'une

⁵ L'analyse chimique de l'une de ces roches, réalisée au laboratoire de chimie du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (H. Grillot et ses collaborateurs), a fourni:

SiO₂ 70,20; Al₂O₃ 15,80; Fe₂O₃ 0,80; FeO 0,60; TiO₂ 0,20; MnO 0,03; CaO 0,75; MgO 0,90; K₂O 5,80; Na₂O 3,40; P₂O₅ 0,20; H₂O+ 0,85.

Les minéraux constituants, sont le quartz, l'albite, le feldspath potassique, la muscovite, avec la biotite, de petits grenats et quelques apatites. La composition de cet échantillon moyen pourrait évoquer celle d'anciens arkoses ou des quartzites pelitiques, peut-être feldspathisés lors du métamorphisme; certains faciès sont plus quartziques et moins micacés; d'autres, plus feldspathiques.

⁶ Sans doute y a-t-il une part de présomption à vouloir étendre des observations localisées sur une dorsale de km à tout un massif dont la traversée en comporte une cinquantaine; cette façon de voir les choses ne peut être présentée que comme une hypothèse de travail destinée à comprendre les structures de la série ancienne, antérieures à la migmatisation. Sur la carte d'ensemble du massif donnée par R. D. Schuiling (1962), la nature et la répartition des enclaves permettraient presque, par généralisation de cette hypothèse, de trouver une séparation en deux domaines: l'un, oriental, où les gneiss sont riches en micaschistes biotitiques, l'autre, occidental, abondant en quartzites et en leptynites.

transgression, déposant en discordance des roches riches en silice et en minéraux lourds et particulièrement pauvres en constituants mafiques.

b. Disharmonie de structure entre gneiss et micaschistes

Vers le Sud, les foliations dans les gneiss et dans les micaschistes sont à peu près parallèles entre elles et à leur surface de contact; mais plus ou moins rapidement suivant les endroits, la foliation des gneiss subit une torsion progressive jusqu'à devenir pratiquement perpendiculaire à sa direction primitive.

En plan, une différence apparaît nettement entre les directions des grandes structures des micaschistes, orientées E-W, et des gneiss, dont les axes des plis et les directions des couches sont allongés NNE-SSW; comment comprendre une variation aussi rapide, sinon aussi brusque, des directions structurales sans l'idée d'une disharmonie entre un noyau gneissique ancien et d'une enveloppe plus récente?

Une preuve en serait, par exemple, l'interruption vers le Sud du banc de quartzites qui, sans manifester de tendance à se recourber et à amorcer un repli, disparaît non loin de la limite avec les micaschistes, laquelle est presque orthogonale à son prolongement.

Une telle disharmonie peut être interprétée de diverses façons; la plus simple serait d'imaginer qu'elle correspondit à la limite de transgression entre une série détritique, maintenant transformée en micaschistes, et discordante sur un socle plus ancien, déjà plissé et induré.

Sans doute est-il difficile de trouver en terrain cristallophyllien des preuves définitives et irrefutables ou au contraire des arguments permettant d'infirmer avec certitude l'interprétation d'événements antérieurs à une phase de migmatisation; d'autant qu'à la feldspathisation, au développement des «yeux» potassiques, s'ajoutent au sommet des gneiss l'accumulation de minéraux des pegmatites et le redressement des surfaces de schistosité du au gonflement régional lors de la montée du dôme, constamment marqués sur la périphérie du massif.

Outre la lithologie, les relations des différents faciès entre eux, la disposition de la schistosité, l'étude de la répartition des lineations font ressortir cette dissemblance entre les caractères des gneiss et ceux des micaschistes.

c. Dispositions des lineations

Les gneiss et les micaschistes sont caractérisés par l'existence d'une lineation commune, constamment orientée NNE-SSW, mais ne dépassant pas la première zone de marbres à abrasifs, au-delà de laquelle elle est remplacée par une autre, fruste, diffuse, allongée E-W parallèlement aux grandes structures.

Dans les gneiss, cette lineation est subhorizontale et dans les micaschistes entourant le dôme d'enveloppes successives emboîtées, elle est fortement redressée et se confond pratiquement avec le pendage de la schistosité, dirige radialement vers l'extérieur des structures.

En partant de l'hypothèse vraisemblable de l'horizontalité primitive de la *lineation*, il semble qu'elle ait été déformée par la montée du dôme et donc qu'elle lui soit antérieure.

Une information plus précise peut être trouvée dans l'examen des relations entre lineation et croissance des «yeux» de feldspaths potassiques, dernier épisode de la feldspathisation accompagnant migmatisation et montée du dôme.

Il existe dans les gneiss des taches diffuses d'allure granitoïde, sans déformation orientée apparente; les feldspaths potassiques ou même calcosodiques peuvent être de grande taille, sans arrangement particulier; dans d'autres régions, la lineation est développée au point que la roche présente une allure «en crayons», qu'il serait possible d'isoler si ce n'était leur fragilité due à leur hétérogénéité cristalline; les yeux ne sont pas toujours reconnaissables et sont étirés comme l'est le reste de la roche; entre ces deux cas extrêmes de déformations maximum et minimum, une gamme de situations intermédiaires montre une foliation et une lineation plus ou moins marquées; les plagioclases sont tordus, les quartz présentent parfois au microscope l'aspect «en losanges» allongés dans la foliation et caractéristique de conditions proches de la rupture, certains des feldspaths potassiques sont un peu étirés dans la lineation et couchés dans le feuilletage; d'autres, au contraire, dans le même échantillon, peuvent être totalement indépendants et être presque automorphes.

Il semble donc que croissance des «yeux» de feldspaths potassiques et déformation de la roche, se traduisant par l'acquisition de la lineation et du feuilletage, aient été à peu près simultanées.

C'est ce que confirme l'examen des relations entre feldspaths potassiques peu déformés et files de micas, cristallisés tardivement.

Les alignements micaces, soulignant la schistosité, sont interrompus au centre des yeux et ondulés, comme écartés, à leur périphérie: le cœur des «yeux» paraît donc avoir préexisté à la formation des biotites, guidée par la schistosité et leur croissance ultérieure avoir déformé, repoussé des lignes de micas: c'est là un mode de croissance réputé *syntectonique*; d'ailleurs, les files de biotites peuvent être simplement ondulées sans être interrompues au niveau des yeux.

L'on peut donc admettre que la croissance des feldspaths potassiques soit à peu près contemporaine de l'acquisition des déformations, que le développement de la lineation, basculée sur les bords par le gonflement régional en dôme, lui soit un peu postérieur, le gonflement étant lui-même accompagné d'apports et de reorganisations cristallines. Les diverses manifestations du métamorphisme (migmatisation dans les gneiss, recristallisations dans les micaschistes, déformations selon des lignes ou des surfaces, montée du dôme) paraissent être à peu près contemporaines, ou au moins se suivre de peu dans le temps.

L'examen de la nature de la lineation dans les gneiss et les micaschistes montre toutefois qu'elle n'y a pas la même signification; dans les gneiss, elle se situe dans les lignes de niveau de la schistosité; elle correspond à des alignements de paillettes micacées et à l'étirement de feldspaths; elle souligne les axes de petits plis, quand ils sont visibles⁷ à l'échelle du mètre ou du décimètre.

Au sein des micaschistes de la couverture (Fig. 5), elle est parallèle au pendage de la schistosité (elle-même à peu près confondue avec la stratification); et se traduit par des alignements micaces et par des froissements intimes de la matière, visibles sur

⁷ Parfois reconnaissables dans les gneiss oeilés, ils le sont surtout dans leur «septa» de micaschistes.

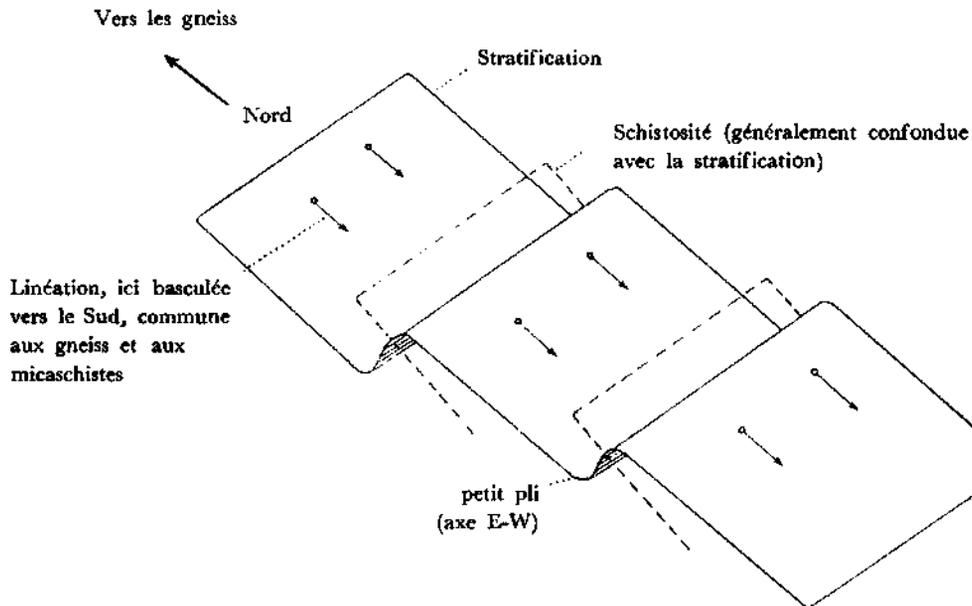


Fig. 5 - Disposition de la stratification, de la schistosité, des linéations dans les micaschistes de la couverture du massif de Menderes.

les surfaces de litage; de plus, les couches comportent en certains endroits de petits plis orientés E-W, donc d'axes perpendiculaires à cette linéation commune et parallèles aux grandes structures plissées qui affectent la couverture du dôme jusqu'aux marbres à abrasifs; ces petits plis se retrouvent dans les zones plus externes; l'examen des charnières n'a pas permis, toutefois, de reconnaître l'âge relatif de ces deux linéations. En deux points situés près des bordures et au dedans du dôme, une disposition comparable a été observée, avec de petits plis d'axes E-W donnant une allure sigmoïde aux feldspaths.

En résumé, la linéation dans les gneiss est parallèle aux lignes de niveau de la schistosité et aux petits plis encore visibles; dans les micaschistes, elle correspond essentiellement à un froissement intime de la matière, elle est parallèle au pendage de la schistosité et perpendiculaire à un système de petits plis différent, lui-même lié aux grandes déformations de la couverture seule.

Cette dissemblance des caractères de la linéation principale d'axe NNE-SSW dans les deux domaines accentue la différence du comportement des gneiss et de leur enveloppe de micaschistes.

III. CONCLUSIONS ET HYPOTHESES

Le phénomène le plus marqué, le plus visible, est le gonflement régional en dôme du massif de gneiss, accompagnant sa migmatisation, et le développement de minéraux de métamorphisme, essentiellement biotites et grenats, dans les micaschistes. Sans doute ces modifications rendent-elles difficile la reconstitution des événements qui leur sont antérieurs, mais leurs particularités mêmes permettent de les interpréter à la lumière des résultats acquis dans le domaine de la pétrogenèse profonde en Finlande, aux U.S.A., en France sur des sujets comparables [(P. Eskola (1948), Skehan (1961), P. Collomb, F. Ellenberger & Y. Fuchs (1962), G. Guitard & M. Fontelles (1964)].

Afin de pouvoir discuter les bases d'une éventuelle analogie avec des structures déjà décrites, je me reporterai au contenu d'un article de P. Eskola (1948) où sont envisagées des hypothèses relatives à l'évolution des 'domes de gneiss. Selon les arguments d'Eskola, les «mantled gneiss domes» de l'Est de la Finlande, sur les bords du lac Ladoga (région de Pitkaranta), sont d'anciens granites ou granodiorites érodés, recouverts d'une série sédimentaire discordante, puis migmatisés par l'injection d'un nouveau magma, granitique et transformés en gneiss, par les déformations accompagnant le «doming»; des intrusions de granites tardocinématiques terminent l'histoire du massif.

Si l'on admet que puisse être généralisé un tel enchaînement de phénomènes, comme le fait Eskola aux «mantled gneiss domes» des Appalaches, dans le Maryland (Cloos & Broedel, 1940) et le New Hampshire (U.S.A.), les structures du massif de Menderes doivent permettre d'y suspecter la superposition de deux orogénèses successives.

Selon Eskola, les gneiss des portions du vieux socle remobilisés lors de l'orogénèse des Svecofennides étaient auparavant des granites intrusifs syncinématiques : C'est là, indiscutablement, la situation des domes des régions au centre des anciennes chaînes de montagnes; mais dans une étude récente Skehan (1961) décrit des domes dans l'état de Vermont (U.S.A.) au centre desquels l'intercalation de lits de quartzites et de schistes fins dans les gneiss, témoigne de leur origine sédimentaire (ou volcanique); aussi l'auteur peut-il inclure dans le concept d'Eskola les noyaux gneissiques dont le matériel dérive aussi de séries stratifiées.

C'est le cas du Menderes dont les gneiss—nous l'avons vu—comportent assurément les caractères d'anciennes stratifications, sous la forme de micaschistes fins à biotite, insérés conformément à la foliation et de quartzites à stratifications entrecroisées. Ces gneiss tirent leur origine de roches litées, mais certainement pas de granites dans la totalité; toutefois l'idée d'intrusions anciennes de granites dans le massif ne saurait être exclue a priori.

C'est ainsi qu'il existe, au sein des gneiss, des taches d'allure granitoïde, caractérisées par la présence de feldspaths mixtes, formes d'une enveloppe d'oligoclase, (An=20%), autour d'un noyau potassique.

Cette disposition est généralement désignée sous le nom de Rapakiwi⁸ par les géologues anglo-saxons; mais au même terme correspond, auprès des Scandinaves, un sens un peu différent, à la fois chronologique et pétrographique; il s'agit d'un ensemble de roches appartenant à un groupe bien défini datant du Précambrien tardif, plus récent que les mouvements orogéniques qui ont affecté les autres granites finlandais (cf. J. Sederholm, 1928, par exemple).

Indépendamment de l'aspect géologique, les rapakiwis baltiques ont en commun un certain nombre de caractères pétrographiques; outre l'existence des ovoïdes potassiques et calcosodiques composites, ce sont: le grain moyen à grossier, la couleur rouge brun (présence d'oxydes de fer), la rareté des aplites et des pegmatites, l'absence d'orientation, l'automorphisme des quartz (forme bipyramidée), la présence fréquente de fluorine et de zircons accessoires, enfin leur mystérieuse faculté de désagrégation (rapakiwi signifie «roche en voie de désagrégation»).

⁸ Les indications sur le sujet des Rapakiwi m'ont été communiquées grâce à l'extrême obligeance de M.E. Raguin.

Ces roches sont apparentées entre elles à travers tout le bouclier Scandinave jusqu'au Groenland par cette cohorte de caractères qui les fait reconnaître sans hésitation sous le nom de Rapakiwi par les géologues de ces régions septentrionales, même en l'absence de la structure caractéristique des feldspaths (voir par exemple Harry & Pulvertaft, 1963).

Pour les auteurs anglo-saxons au contraire, seule l'existence des ovoïdes feldspathiques composites définit le faciès Rapakiwi. Quelles que soient les hypothèses justifiant de ces structures singulières, le mode de gisement des Rapakiwis fait évoquer, dans les gneiss lorsqu'elle y est représentée, l'existence d'intrusions granitiques anciennes ultérieurement métamorphosées: c'est en particulier l'un des arguments de G. Guitard (1963) pour déterminer comme d'origine «ortho» certains des gneiss du Canigou.

Le plus apparent des caractères des affleurements gneissiques que je voulais évoquer correspond à l'existence, en divers points du massif de Menderes, d'orthoses cortiques d'oligoclase; si leur formation résulte de conditions de cristallisations magmatiques comme l'admet en particulier D. Stewart (1956), peut-être ces pointements correspondent-ils à l'héritage de zones auparavant granitisées, mais en tout cas étroitement localisées?

S'il paraît ainsi difficile d'admettre l'idée d'une granitisation généralisée sur tout le massif de Menderes antérieurement à la migmatisation, le problème peut encore se présenter d'une autre façon: la phase orogénique ancienne dont nous soupçonnons l'existence dans le massif de Menderes a-t-elle été accompagnée de recristallisations qui reporteraient loin dans le passé cet état purement sédimentaire qui a laissé d'indiscutables traces.

Les déformations, au sein des gneiss, paraissent beaucoup plus poussées que dans la couverture; les quartzites des enclaves, en particulier sont fortement recristallisées, paraissant avoir «fondu» par endroits, entre lesquels la stratification, intensément froissée est encore reconnaissable. Dans l'enveloppe au contraire, les quartzites ne sont jamais plissés et leur recristallisation est peu poussée; s'il est loisible d'admettre que les degrés de métamorphisme sont comparables au cours d'une même phase dans les enclaves et les roches encaissantes, peut-être y-a-t-il là l'indice d'une discontinuité dans l'intensité des transformations? À part ces indications, il semble qu'il n'y ait aucun argument décisif pour ou contre l'idée d'un matériel déjà cristallin avant migmatisation.

La contrepartie en est la persistance, à travers le métamorphisme des vieilles structures plissées dans les gneiss, dont on ne pouvait évidemment disposer s'il s'agissait de granites.

Comme je l'ai déjà indiqué plus haut, des niveaux repères peu ou pas feldspathiques dessinent dans le noyau, gneissique de grandes structures, d'axe NNE-SSW en gros, accompagnés de petits plis de même orientation, définissant une lineation visible également dans les gneiss oeillets; dans l'enveloppe, les directions des couches ainsi que les grands et les petits plis sont orientés E-W, en gros contrairement aux précédents; ils comportent également en surimpression une lineation de froissement parallèle à la direction NNE-SSW.

Mise à part une accordance secondaire due au gonflement en dôme, et marquée sur toute sa périphérie, l'angle presque droit entre les directions structurales des deux domaines se traduit en une disharmonie qui paraît nécessiter, pour en justifier, la superposition de deux orogènes; la plus ancienne d'entre elles séparerait une première série, elle-même complexe, d'une nouvelle, détritifique et discordante sur la précédente, ultérieurement transformée en micaschistes lors du métamorphisme accompagnant la seconde.

Afin de tenter de localiser la surface de discontinuité, Eskola., dans son étude des nombreux domes de Finlande compara, entre elles les lithologies des formations transgressives, d'une remarquable continuité dans chaque exemple particulier.

A Joensuu, où la migmatisation a été assez peu poussée, la couverture comporte à sa base un niveau de galets des granites sous-jacents, puis des quartzites et des mica-schistes; à Kuopio, la migmatisation est plus marquée et la série commence par des quartzites suivis de schistes graphiteux et de dolomie; à la localité type, enfin, à Pitkaranta, la couverture débute par des dolomies parfois injectées d'apophyses venues de plus bas.

La conclusion en est que la palingénèse du granite ancien s'accompagne, suivant les cas, d'une impregnation plus ou moins poussée de la couverture à sa base dont les trois exemples ci-dessus donnent trois stades d'évolution progressive; on comprendra facilement que certains domes puissent avoir été confondus avec des intrusions récentes. Il devient dès lors clair que l'adjonction au noyau ancien de la base de sa couverture à l'heure de la remobilisation donne toutes les apparences d'une concordance parfaite, ce qui rend parfaitement inutile la recherche d'une surface de discordance, s'il y en a une, au niveau du front de migmatisation.

Cela semble être le cas sur les bordures du massif de Menderes, où la légère obliquité de la limite supérieure des gneiss par rapport aux bancs repères de leur enveloppe (Fig. 1) montre des irrégularités dans le niveau auquel est monté le front de migmatisation, absorbant et dépassant la surface de discordance, elle-même peut-être jalonnée par l'extrémité S du banc de quartzites inclus dans les gneiss.

S'il est maintenant permis de rassembler les faits observés pour donner une image de l'enchaînement des différents événements qui ont laissé leurs traces, le plus récent et le plus marquant de ceux-ci, le bombement régional du massif de Menderes semble résulter de la rheomorphose,⁹ de l'augmentation de volume sous l'influence de la granitisation d'un vieux socle peut-être déjà cristallin, induré et dont la migmatisation rend infiniment moins évidentes les structures plissées antérieures. Simultanément, l'annexion au socle et la granitisation de la base de sa couverture transgressive auraient effacé les traces locales de discordance, donnant au contraire toutes les apparences d'une parfaite concordance.

Cette palingénèse, cette vie nouvelle conférée au vieux socle focalise autour de lui la repartition d'isogrades relativement resserrées; dès la fin des phases de déformation génératrices de schistosité, son influence se fait sentir à distance par la croissance tardive des minéraux du métamorphisme, dans des conditions essentiellement thermiques de reorganisation de la matière.

⁹ Cf. H. Backlund (1937), cité par E. Raguin (1957) p. 5.

Manuscript received March 19, 1965

B I B L I O G R A P H I E

- BACKLUND, H.G. (1938) : Zur Granitisationstheorie. *Geol. Foreningens Stockholm*, Bd. 60, H. 2, S. 177-200.
- GOLLOMB, P., ELLENBERGER, F. & FUGHS, Y. (1962) : Sur l'âge et la nature du métamorphisme hercynien dans la région de Lamalou-les-Bains (zone axiale de la Montagne Noire). *C. R. Somm. Soc. Géol. France*, no. 3, p. 70.

METAMORPHISME DU MASSIF DE MENDERES 23

- DURAND, G.L. (1962) : Determination de Page d'une pechblende turque Dikmen (province de Mug-la). *M.T.A. Enst. Bull.*, no. 58, p. 145.
- ESK.OLA, P. (1948) : The problem of mantled gneiss domes. *Quart. Journ. of the Geol. Soc. of London*, vol. CIV, I, p. 461 a 476.
- FONTEILLES, M. & GUITARD, G. (1964) : «L'effet de socle» dans le metamorphisme hercynien de l'enveloppe paleozique des gneiss des Pyrenees. *C. R. Ac. Sc. Paris*, t. 258, 9, 4299.
- FYFE, W. S., TURNER, F. J. & VERHOOGEN, J. (1958) : Metamorphic reaction and metamorphic facies. *Geol. Soc. America Mem.*, 72, pp. 201-202.
- GUITARD, G. (1963) : Sur la presence de feldspaths a structure «rapakiwi» et a inclusions en zone dans les gneiss oeilles du massif de Canigou - Caranca (Pyrenees - Orientales). *C. R. Somm. Geol. France*, 3, p. 82.
- HARRY, W. T. & PULVERTAFT, T. C. R. (1963) : The Nunurosuit intrusive complex, South Greenland. *Meddelsen om Grönland*, Bd. 169. no. 1, p. 131.
- KAADEN, G. v.d. & METZ, K. (1954) : Beitrage zur Geologie des Raumes zwischen Datça - Muğla - Dalaman (Çay (SW-Anatolien). *Bull. Soc. Geol. Turk.*, Vol. V, no. 1-2, p. 71.
- LAPPARENT, J. de (1937) : L'emer de Samos. *Miner. Petrogr. Mitteil. (Tschermaks)*, vol. 49, pp. 1 -30.
- NOGKOLDS, S. R. (1954) : Average chemical compositions of some igneous rocks. *Bull. Geol. Soc. of Am.*, vol. 65, pp. 1007- 1032.
- ÖNAY, T. S. (1950) : Über die Schmirgelsteine Sudwest Anatoliens. *Schweiz. Min. Petr. Mitt.*, Bd. XXIX, Heft 2, p. 357 a 492.
- RAGUIN, E. (1957) : Geologie du granite. *Masson Ed.*, Paris.
- SCHUILING, R. D. (1958) : A zircon-study of an augen-gneiss in the Menderes-massive. *M.T.A. Enst. Bull.*, no. 51, p. 35.
- (1962) : On petrology, age and structure of the Menderes migmatite complex (SW-Turkey). *M.T.A. Enst. Bull.*, no. 58, pp. 71-84.
- SEDERHOLM, J. J. (1928) : On Orbicular granites, spotted and nodular granites and on the rapakiwi texture. *Bull. Comm. Giol. de Finlande*, no. 83, pp. 1-105.
- STEWART, D. B. (1956) : Rapakiwi granite from Eastern Penobscot Bay, Maine. *XXe Congrts Geol. International*, Mexico Reports, Section XI, A, pp. 293 - 320.
- TOKAY, M. & ERENTÖZ, C. (1959) : Uranium and thorium possibilities in Turkey. *M.T.A. Enst. Bull.*, no. 52, p. 80.
- WIPPERN, J. (1964) : Die Stellung des Menderes Massivs in der alpidischen Gebirgsbildung. *M.T.A. Enst. Bull.*, no. 62, pp. 74-82.