Contribution à l'étude structurale du dôme de Barrot : microtectonique, anisotropie de susceptibilité magnétique et palomagnétisme

Bernard Henry

▶ **To cite this version:**

Bernard Henry. Contribution à l'étude structurale du dôme de Barrot : microtectonique, anisotropie de susceptibilité magnétique et palomagnétisme. Tectonique. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 1971. Français. NNT : . tel-00878414

HAL Id: tel-00878414

https://theses.hal.science/tel-00878414

Submitted on 30 Oct 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

GEOLOGIE GRENOBLE UJF
D 050 032368 0

HENRY (B)

THESE

présentée à

LA FACULTE DES SCIENCES DE PARIS

pour l'obtention

du DOCTORAT 3° CYCLE

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GEOSCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53
F. 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
Mail : ptalour@ujf-grenoble.fr
19 AOUT 2003

Spécialité: Géologie dynamique

Mention: Tectonophysique

par M. Bernard HENRY

Sujet de la thèse:

CONTRIBUTION A L'ETUDE STRUCTURALE DU DOME DE BARROT:

MICROTECTONIQUE, ANISOTROPIE DE SUSCEPTIBILITE MAGNETIQUE et PALEOMAGNETISME.

Soutenue le 1971 devant la

commission composée de:

Président: E.THELLIER

Examinateurs: L.GLANGEAUD

L.DALY

A.GUILLAUME

Université PARIS VI

Thèse de 3° cycle de TECTONOPHYSIQUE

Sujet :

CONTRIBUTION A L'ETUDE STRUCTURALE DU DOME DE BARROT : MICROTECTONIQUE, ANISOTROPIE DE SUSCEPTIBILITE MAGNETIQUE ET PALEOMAGNETISME

par Bernard HENRY

10148628

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GEOSCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53
F. 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
Mail : plalour@ujf-grenoble.fr

19 AOUT 2003

AVANT-PROPOS

Avant de faire le point de mes recherches sur le Dôme de Barrot, je tiens à remercier tous ceux qui m'ont aidé , par leurs conseils, leurs encouragements, et leur appui dans tous les domaines.

Monsieur le Professeur Louis GLANGEAUD, dans le Laboratoire duquel j'ai étudié trois ans avant de commencer ma thèse de troisième cycle. Son enseignement m'a montré tout le parti qu'il est possible de tirer des résultats apportés par les méthodes nouvelles.

Monsieur le Professeur Emile THELLIER m'a libéralement accueilli au Laboratoire de Géomagnétisme de Saint-Maur où j'ai pu effectuer toutes les mesures d'aimantation rémanente et d'anisotropie de susceptibilité magnétique.

Monsieur Lucien DALY, a mis à ma disposition tous ses appareils de mesure et m'a aidé pour le travail de mesure et d'interprétation; je tiens à l'en remercier tout particulièrement ainsi que les techniciens de Saint-Maur qui nous ont apporté leur sympathique soutien.

Monsieur GREBER a bien voulu étudier des traces de végétaux provenant des niveaux Léouvé du dôme de Barrot.

Monsieur Y. ROSE, a effectué des calculs de décomposition en série de Fourier pour l'interprétation des mesures d'anisotropie.

Enfin, Monsieur André GUILLAUME m'a suggéré cette étude et a constamment suivi mon travail au sein du groupe de tectonophysique, tant sur le terrain qu'au Laboratoire.

RESUME

CONTRIBUTION A L'ETUDE STRUCTURALE DU DOME DE BARROT : MICROTECTONIQUE, ANISOTROPIE DE SUSCEPTIBILITE MAGNETIQUE ET PALEOMAGNETISME -

1/ Etablissement d'une carte structurale, basée sur des levés de terrain et complétée par l'étude systématique des photographies aériennes.

2/ Mise en évidence de plusieurs phases tectoniques dans la partie nord-orientale du Dôme de Barrot. La dernière phase (extension en surface due au soulèvement) était déjà connue (cf. travaux de P. Bordet, R.D. Schuilling et J. Vernet). La phase qui l'a précédée est une phase de compression qui a fait naître une schistosité générale et une micro-fissuration dans la partie nord-orientale du massif. Cette phase de compression est très vraisemblablement alpine. Elle a de plus affecté des failles anciennes. Ces derniers accidents sont postérieurs aux dépôts attribués au Werfenien; ils peuvent être classés en trois catégories suivant leur direction:

- groupe A : direction WSW-ENE
- groupe B : direction NNE-SSW. Ces accidents sont postérieurs à ceux du groupe A.
- groupe C : direction NW-SE. Datation relative jusqu'ici impossible.

L'observation de ces accidents dans les secteurs où ils affectent le Werfenien montre que, suivant leur orientation, ils ont joué en faille pli (groupe C) ou en décrochement (groupe A principalement) pendant la phase de compression.

Quelques failles peuvent être d'âge permien terminal et être nées lors de la phase palatine s.l. . Les conglomérats "permo-triasiques" associés au Werfenien inférieur sont de plus légèrement discordants sur le Permien.

3/ L'analyse des caractères de l'aimantation des pélites permiennes a permis de compléter l'étude structurale et de montrer que l'ensemble du "dôme" a été affecté par la phase de compression. L'étude de l'anisotropie de susceptibilité magnétique montre, en effet, que la contrainte principale maximum était dirigée NE-SW dans la partie nord-orientale du dôme et

NNE-SSW dans la partie sud. Si la première de ces directions correspond à la direction générale des compressions qui ont fait naître la schistosité, la deuxième pourrait être liée au jeu d'un accident profond dirigé sensiblement E-W et passant au sud du dôme.

L'étude des propriétés magnétiques particulières de certains échantillons a été complétée par un filtrage (méthode des séries de Fourier) réalisé en ordinateur.

4/ On sait que certains auteurs prennent le dôme de Barrot comme région de référence pour la détermination du pôle géomagnétique permien. Les roches du Barrot ayant été déformées, il n'est pas certain que les directions d'aimantation soient en rapport avec le champ magnétique du Permien. Ces directions correspondent, peut-être par simple coïncidence, à celles des compressions majeures alpines.

INTRODUCTION

Sommaire

a) Situation du dôme de Barrot 7

I° / Cadre général 7

2° / Réseau hydrographique 7

3° / Morphologie 7

b) Résumé des précédentes études structurales et magnétiques effectuées dans le dôme de Barrot 9

I° / Etudes structurales 9

2° / Etudes magnétiques IO

c) But de cette étude, méthodes utilisées IO

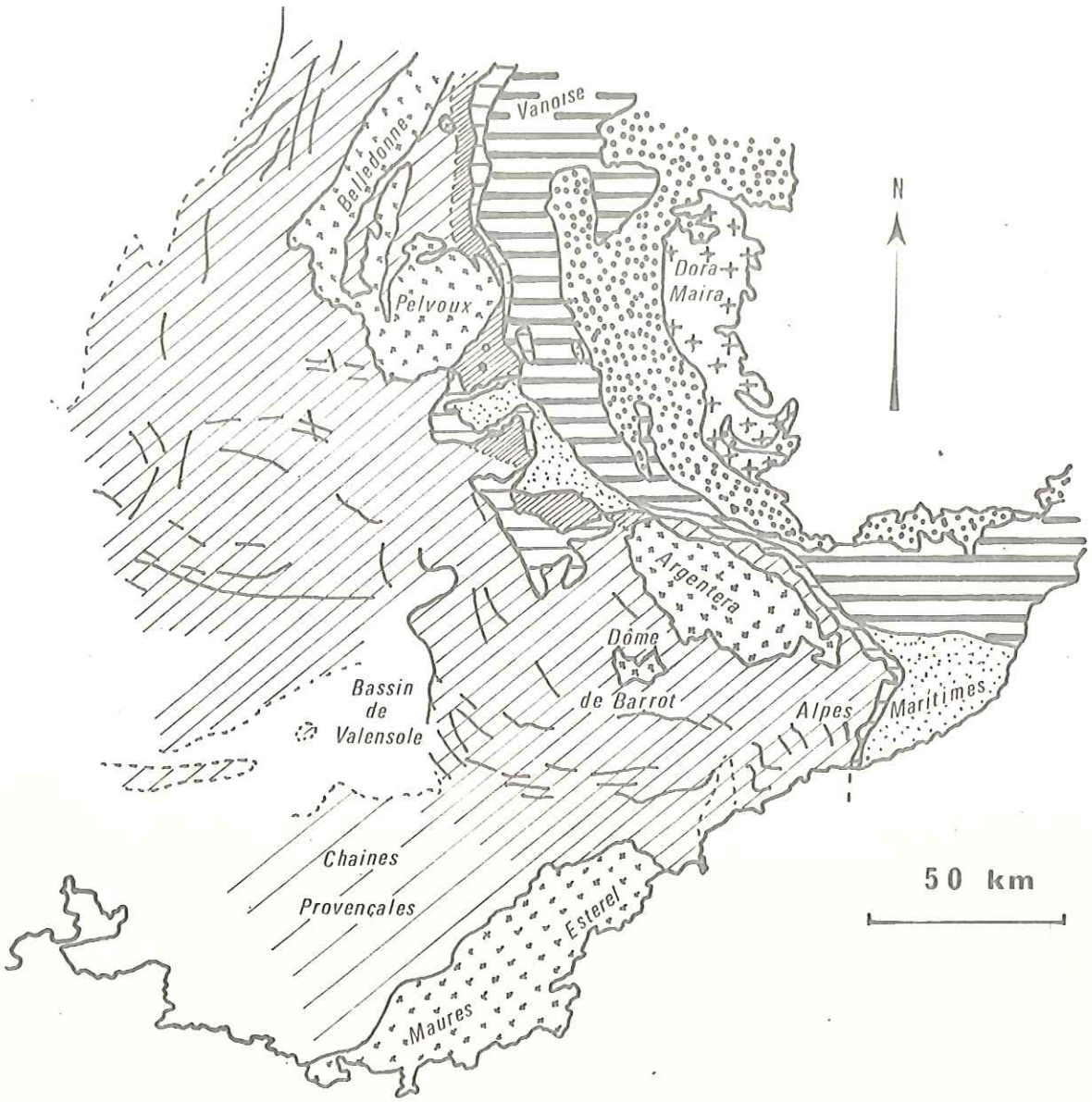
I° / Problèmes fondamentaux IO

Etude structurale IO

Propriétés magnétiques II

2° / Travaux réalisés - Méthodes utilisées I2

d) Plan général de l'ouvrage I2



1 2 3 4 5 6 7 8 9

Fig. 1 Situation du Dôme de Barrot dans la chaine alpine (d'après J. Debelmas et M. Lemoine 1964).

Domaine externe: 1-Chaines Provençales 2-Zone dauphinoise
3-Zone ultra-dauphinoise 4-Massifs cristallins externes

Domaine pennique: 5-Zone subbriançonnaise 6-Zone briançonnaise s.l.
7-Massifs cristallins internes 8-Schistes lustrés
9-Nappes de flyschs à helminthoïdes.

a) Situation du Dôme de Barrot

1°/ Cadre général

Le massif du Barrot est situé dans le Nord du Département des Alpes Maritimes, à 50 km environ de la côte méditerranéenne .

Il culmine à 2137 m, au Dôme de Barrot. Le point le plus bas se trouve dans les gorges du Cians, vers Pra d'Astier (environ 550 m). L'altitude moyenne dans tout le massif est proche de 1500 m.

Au point de vue géologique (figure 1), le Dôme de Barrot occupe dans l'arc alpin une région où la torsion est très accentuée. Il appartient à l'ensemble des massifs primaires externes et apparaît comme une remontée du substratum des terrains de la zone dauphinoise. Au Nord-est, cinq kilomètres seulement des terrains mésozoïques et tertiaires de cette zone le séparent, à l'affleurement, du massif cristallin de l'Argentera.

2°/ Réseau hydrographique

Il comprend (figure 2) trois bassins hydrographiques différents :

- à l'ouest et au nord-ouest, le bassin du Var (gorges de Daluis) qui reçoit les rivières de Roua et d'Amen qui viennent de l'intérieur du massif.

- au sud-ouest, la Roudoule et ses nombreux affluents: le Garnier, la Louvière.....

- dans toute la partie est, le Cians et ses affluents : torrents de Ciavanette, du Raton, de Challandre et de Roubi

3°/ Morphologie

Sa morphologie très particulière en fait une région dont les caractères sont uniques dans toutes les Alpes occidentales.

En remontant la vallée du Var, trois kilomètres après le village de Daluis, nous entrons dans une gorge très pittoresque, tant par la couleur rouge sombre des roches, que par la hauteur de ses parois verticales (elles peuvent atteindre 400 m). Les diaclases, nombreuses et souvent très ouvertes expliquent cette verticalité impressionnante.

Au fond de ces gorges, la pente du Var qui serpente entre les parois est relativement faible (2 % en moyenne).

La vallée du Cians se distingue de celle du Var par l'étroitesse du lit du torrent, dont la pente est plus forte (9 % en moyenne). Les parois subverticales y sont nombreuses aussi. Le profil en "V" de la vallée est caractéristique.

Si, au contraire, nous pénétrons dans le massif par le chemin allant de Beuil à Valberg et passant par Illion et le col du Raton, le paysage apparaît très différent: les pentes prennent un aspect de marche d'escalier, dû à une alternance de bancs friables et de bancs durs. A la surface de ces derniers, des craquelures de dessication (mud-cracks), très bien conservées, datent du dépôt de ces niveaux. A la teinte rouge sombre observée dans les précédentes vallées, s'ajoutent quelques niveaux vert clair dus à une réduction locale de la roche.

La végétation se réduit à des plantes xérophytes (buis, thym, buissons épineux....)

b) Résumé des précédentes études structurales et magnétiques effectuées dans le Dôme de Barrot

1°/ Etudes structurales

Les travaux précédents effectués sur le Dôme de Barrot montrent que son aspect actuel est dû à un soulèvement assez récent, lié en surface à une extension. Il se présente sous la forme d'un bombement à grand rayon de courbure. En apparence, il est relativement peu tectonisé.

La stratification est souvent très visible et les roches ne portent généralement aucune trace de déformations à faible rayon de courbure.

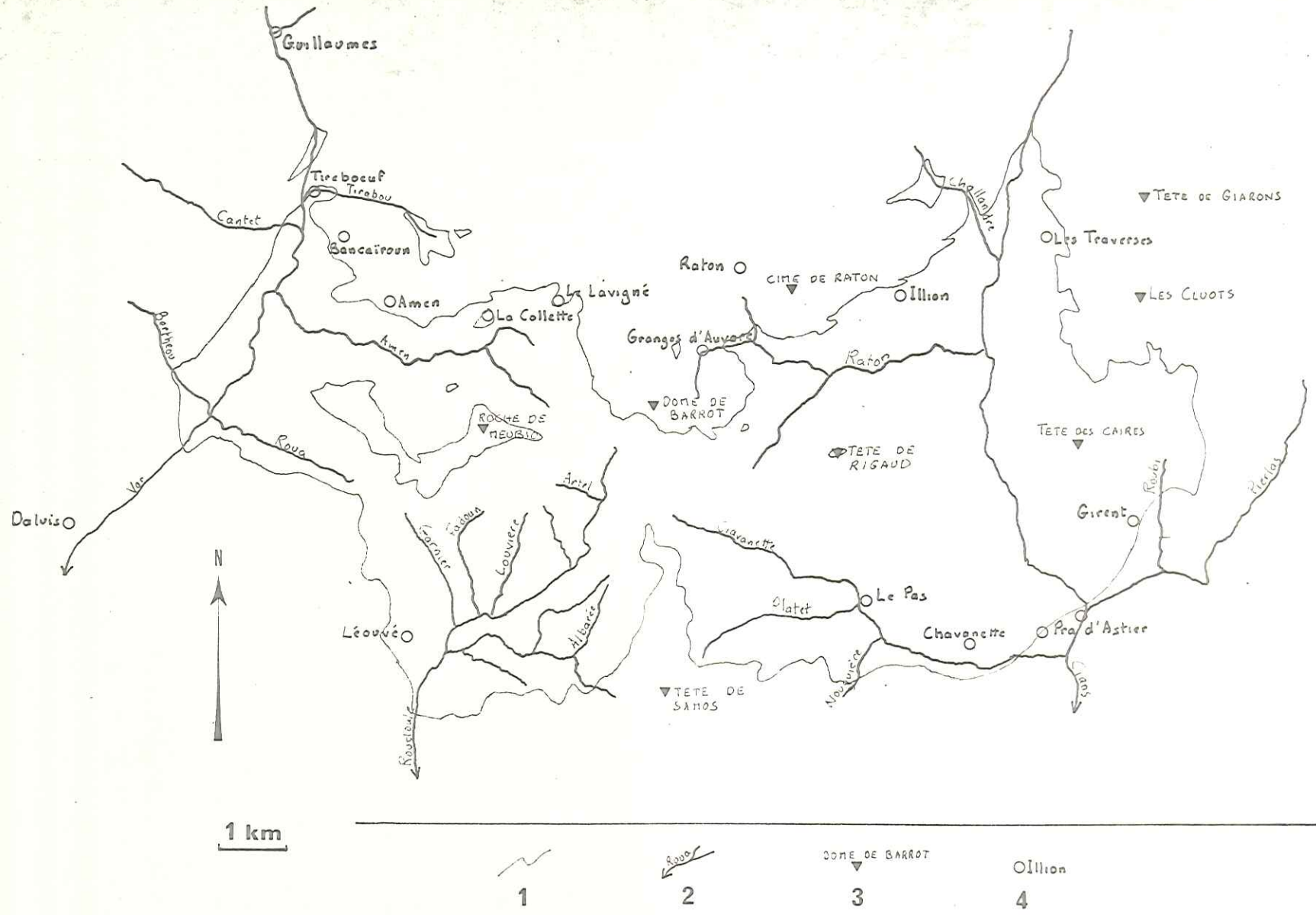


Fig. 2 CARTE DU DOME DE BARROT: 1-Limite des affleurements Permiens 2-Rivières 3-Sommet 4-Hameau habité ou abandonné.

R.D. Schuilling (1956), après une étude statistique des diaclases, pense que ni le Dôme, ni ses diaclases ne sont dus à des compressions. "Une force verticale" serait à l'origine de la naissance du Dôme.

J. Vernet (1958) estime que la tectonique d'extension superficielle est liée à des compressions en profondeur. Il n'a observé aucune trace de compression dans le Dôme de Barrot (schistosité, direction préférentielle d'allongement des mud-cracks....). Il revient donc sur les observations de P. Bordet (1950) qui avait signalé de la schistosité dans le secteur d'Illion.

2°/ Etude magnétique

Plusieurs chercheurs hollandais ont étudié les propriétés magnétiques des roches du Barrot. Dans la dernière publication, C. Van Den Ende (1970) a recherché les variations du pôle géomagnétique virtuel au cours du Permien, en mesurant l'aimantation rémanente sur des échantillons prélevés à des niveaux différents dans les gorges de Daluis. Son étude about à montrer que ces variations sont très limitées et que la direction d'aimantation fournie par les roches du Barrot correspond à la direction mesurée dans le bloc européen pour cette période. Les mesures de cet auteur confirment donc les résultats apportés précédemment par les chercheurs hollandais : le dôme peut rester une région type pour la détermination du pôle permien.

c) But de cette étude, méthodes utilisées

1°/ Problèmes fondamentaux

Etude structurale

Il n'existe pas de carte structurale complète du massif. Les bordures seules ont été cartographiées (P. Bordet 1950; J. Vernet 1958). Il semblait donc utile de commencer mes recherches en essayant de compléter cette carte.

Considérant la proximité du Dôme de Barrot et de l'Argentera, et la similitude de leurs séries permiennes, il paraissait intéressant d'étudier les relations existantes entre ces deux massifs.

La teinte de la roche, nettement rouge dans le Dôme de Barrot, vire au violet, probablement à la suite de modifications minéralogiques, dans le massif de l'Argentera.

Apparemment, le Dôme de Barrot ne présente pas de schistosité, d'après les travaux les plus récents (J. Vernet 1958). Quant aux niveaux permiens rouges du massif de l'Argentera, ils sont affectés par une schistosité très franche. Celle-ci se retrouve également dans la vallée de la Roya, située au sud-est du même massif, où a été démontrée l'origine alpine de cette schistosité (A. Guillaume et J.F. Toussaint 1965). Là, des phengites (minéral du métamorphisme alpin) ont cristallisé dans les plans de schistosité.

Les compressions qui ont déterminé cette schistosité semblent également avoir atteint les niveaux post-werfeniens du Barrot. En effet, ceux-ci sont souvent décollés de leur substratum et présentent localement des séries de replis très accentués et parfois déversés.

Tenant compte de toutes ces observations, une question se posait alors: Le socle permo-werfenien du Dôme de Barrot a-t-il lui-même été affecté par des compressions? Pour répondre à cette question, il était nécessaire de rechercher des témoins de ces contraintes: traces directement visibles ou pouvant être mises en évidence par des méthodes d'analyse magnétique.

Si de telles traces étaient mises en évidence, la mesure de leurs directions pouvait apporter des renseignements utiles sur le mode de formation des Alpes Maritimes.

Propriétés magnétiques

D'un point de vue général, des recherches détaillées sur les propriétés magnétiques des roches étaient nécessaires, le Dôme de Barrot étant pris comme référence par plusieurs auteurs pour la détermination du pôle permien européen.

Dans le même ordre d'idées (A. Guillaume - communication orale), un problème crucial est posé par les directions d'aimantation rémanente presque identiques

des roches permiennes des zones internes des Alpes, appartenant à des unités pourtant complètement différentes. Sauf coïncidences particulièrement heureuses, le seul point commun de toutes ces unités est de s'être trouvées dans un même champ global de contraintes. Il semble donc que les résultats du paléomagnétisme doivent être utilisés là avec circonspection. Nous rejoignons ainsi les préoccupations des chercheurs de Saint-Maur sur les relations entre les contraintes et les propriétés magnétiques des Roches, mais dépassons le cadre de notre travail actuel.

2°/ Travaux réalisés - Méthodes utilisées

En premier lieu, nous avons tenté d'établir une carte structurale du massif, nous servant des observations sur le terrain complétées par une étude détaillée des photographies aériennes.

Des levés détaillés effectués dans les endroits cruciaux de la région devaient nous apporter ensuite des données permettant de préciser la structure et l'évolution du massif.

Ces recherches ont été complétées par l'analyse des propriétés magnétiques d'un échantillonnage représentatif des roches permo-werfeniennes. Pour cela, 102 échantillons, orientés par repèrage du plan horizontal et du Nord magnétique ont été prélevés. Ils ont été préparés en vue des mesures d'aimantation rémanente et d'anisotropie de susceptibilité magnétique. Tableaux et diagrammes résument ces résultats qu'il restait à interpréter pour essayer de fournir des réponses aux questions précédemment posées.

d) Plan général de l'ouvrage

La première partie résume les principales données stratigraphiques, maintenant connues sur le Permo-Werfenien du Barrot et de la Tinée.

La deuxième partie (carte structurale) traite des éléments structuraux observés à des échelles de l'ordre du kilomètre à l'ordre du décamètre (failles, diaclases..)

La troisième partie décrit les structures observées de l'échelle du mètre à l'échelle du millimètre (schistosité, microplissement, structures sédimentaires déformées....).

La quatrième partie comprend l'analyse de l'aimantation rémanente et de l'anisotropie de susceptibilité magnétique des échantillons prélevés sur le terrain.

Dans la dernière partie sera tentée une reconstitution de l'évolution tectonique de cette région et de ses rapports avec les régions voisines (essentiellement l'Argentera).

STRATIGRAPHIE : RAPPEL ET DONNEES NOUVELLES

Sommaire

A/ Le Permien du dôme de Barrot 16

I - Généralités 16

II - Série de Daluis 17

III - Série de type Illion-Léouvé 18

a) Faciès d'Illion 18

b) Faciès de Léouvé 19

B/ Le Permien de la vallée de la Tinée 20

C/ Le "Werfenien" du Barrot et de la Tinée 22

I - "Werfenien" inférieur 22

II - "Werfenien" supérieur 22

D/ Conclusions 22

I - Comparaison des deux séries permiennes 22

II - Age réel de ces séries 23

A l'étude des séries du Dôme de Barrot est jointe celle des niveaux permo-werfeniens de la Tinée (bordure sud-ouest du massif de l'Argentera) dont les niveaux supérieurs présentent de nombreux caractères analogues à ceux du Barrot. Les séries de la Tinée, étant plus complètes, apportent des éléments de connaissance supplémentaires sur l'âge des niveaux rouges de cette région. En effet, à la base de ces séries existe un niveau d'âge Autunien certain, car daté par une flore caractéristique (P. Corsin et A. Arévian 1956).

A/ Le Permien du Dôme de Barrot

I - Généralités

La grande majorité des terrains du Barrot est constituée de pélites rouges: ces dépôts continenteux seraient des roches sédimentaires à grain très fin, formées presque essentiellement par des minéraux phylliteux, et résultant principalement de l'évolution de cendres volcaniques (P. Bordet).

Les terrains rouges du Barrot sont classiquement supposés d'âge Permien (fin de l'ère primaire, 260 à 225 millions d'années).

Bien qu'elles coupent les pélites sur 800 m d'épaisseur, les vallées n'entaillent pas assez profondément celles-ci pour faire ressortir leur socle.

Dans la partie affleurante, trois niveaux à faciès différents peuvent être distingués, de bas en haut. Ce sont :

- la série à faciès de Daluis (série type: vallée du Var) ,
- la série à faciès d'Illion (série type: vallée de Raton)
- la série à faciès de Léouvé (série type localisée dans la région de Léouvé).

Le passage de l'une à l'autre de ces séries est progressif, des limites franches n'existant pas. Cependant, le faciès Léouvé fait exception à cette règle dans les endroits où il apparaît brusquement au-dessus du faciès d'Illion, sans

qu'aucune transition ne soit ménagée entre les deux séries. Au contraire, un creusement des niveaux inférieurs a précédé le dépôt du Léouvé, parfois dans des chenaux.

Tous les niveaux (Léouvé excepté) présentent des mud-cracks, accompagnés parfois de ripple marks, des traces de gouttes de pluies et de trous de vers. Certains mud-cracks sont très poreux, les pores étant parfois remplis de quartz ou de calcite.

Il semble donc que ces terrains se soient tous déposés dans les mêmes conditions: il y avait apport de sédiments, probablement d'origine volcanique (P. Bordet 1950) dans une vaste plaine subsidente temporairement inondée. Les limites de cette zone subsidente correspondaient au nord-est à l'actuelle bordure du massif de l'Argentera. Ailleurs, il est impossible de les préciser. La tranche d'eau devait être là peu épaisse et pouvait même disparaître complétement. De nombreux épisodes de sécheresse ont en effet laissé des traces: craquelures de déssication et concentration de sels minéraux dans les niveaux de surface. La dissolution ultérieure de ces sels a laissé des pores qui accompagnent les mud-cracks.

II - Série de Daluis

La série type se trouve dans la vallée du Var, où apparaissent les traits les plus caractéristiques de ce faciès. Mais ce faciès de "Daluis" existe aussi dans les vallées de Raton, de Ciavanette et Cians (sur une épaisseur d'au moins 800 m).

Cette série basale est constituée par des pélites rouges, massives, à cassure conchoïdale, parfois un peu gréseuses. D'une grande homogénéité, la roche est très résistante à l'érosion.

Les mud-cracks y sont peu nets et intéressent en général des niveaux assez distants les uns des autres (plusieurs mètres en moyenne). Ces faits suggèrent que les épisodes de sécheresse ont été peu nombreux et n'ont pas duré très longtemps. De plus, un apport important de sédiments

relativement grossiers s'est produit, formant souvent des bancs massifs et épais. Ces deux observations laissent supposer que la vitesse de subsidence a été relativement grande.

III - Série de type Illion Léouvé

La partie supérieure du Permien du Barrot est formée de deux faciès différents: faciès d'Illion et faciès de Léouvé. Le passage de l'un à l'autre se fait suivant les endroits verticalement ou latéralement.

a) Faciès d'Illion

Près du hameau d'Illion, l'alternance de bancs durs et de bancs tendres crée une morphologie particulière en marche d'escalier. Cependant, ce faciès se retrouve dans tout le Dôme de Barrot et peut atteindre une épaisseur de 200 m.

La roche est constituée par des pélites rouges à grains extrêmement fins. Elle contient localement des inclusions noduleuses où apparaissent quelquefois des éléments plus grossiers. P. Bordet (1945) y a décrit aussi des niveaux de tufs volcaniques.

Des mud-cracks, souvent poreux, sont observables à la surface des bancs durs, où ils forment de grandes plaques "cuivrées", dénudées de toute végétation. Ils peuvent déformer la couche sur plus de 5 cm d'épaisseur. Le plus souvent, ils sont absents dans les niveaux friables.

Les épaisseurs de ces deux types de bancs varient ordinairement entre 30 cm et 1 m.

L'observation détaillée montre que de fines strates (inférieures à 1 cm; laminites ?) à stratification parfois entrecroisée sont associées pour donner les bancs principaux.

J. Vernet a trouvé, près du village de Léouvé, une aile d'insecte "Arctotypus verneti" (Fr. Laurentiaux-Vieira et D. Laurentiaux 1963) dans la partie supérieure de la série d'Illion. Il s'agit d'un genre jusqu'alors inconnu, donc d'âge imprécis.

Le grand nombre et les effets importants des périodes de sécheresse, la finesse des dépôts et la faible épaisseur des couches permettent de supposer que la vitesse de subsidence était nettement plus faible que celle qui accompagne la formation du faciès de Daluis.

Enfin, l'alternance régulière de bancs de type différent semble indiquer, soit que la subsidence s'est faite par saccades, soit que les apports se sont produits de façon rythmique durant cette période.

b) Faciès de Léouvé (P. Bordet 1950)

Le type de ce faciès a été choisi dans la partie sud-ouest du Barrot, dans la vallée de la Roudoule, où il atteint sa puissance maximale (200 m). Il est également représenté dans toute la région centrale, mais sur des épaisseurs beaucoup plus faibles.

Les formations de type Léouvé sont des dépôts conglomératiques, constitués par des éléments remaniés de pélites, de rhyolites, de grès grossiers, de gneiss... Contrairement aux faciès précédents uniformément rouges, le Léouvé présente en certains endroits une roche de teinte gris clair. Quelques niveaux fins, sombres et charbonneux, contiennent des débris végétaux, difficilement déterminables.

Ce faciès apparaît fréquemment sous forme de lentilles qui semblent parfois avoir rempli des chenaux creusés dans les niveaux d'Illion.

L'origine des niveaux de type Léouvé est vraisemblablement liée à des mouvements tectoniques dans les régions voisines, auxquels aurait succédé une érosion intense (Erosion d'une couverture ignimbritique formée par des rhyolites du type R3 de l'Estérel ou (et) du Marguareis - Vecchio du Briançonnais ligure.

B/ Le Permien de la vallée de la Tinée

L'étude des séries de cette région sud occidentale de l'Argentera nous apporte des indications sur le substratum possible des pélites du Dôme de Barrot et sur leur datation.

Les niveaux de la vallée de la Tinée comprennent (J. Vernet 1963) de bas en haut (Fig. 3) :

- les schistes noirs, datés d'âge Autunien par la découverte d'une fibre caractéristique dans la vallée de Roya,
- les conglomérats et schistes verts des séries des Merveilles et de l'Enfer, qui apparaissent au sud est de la vallée de la Tinée,
- la série gréseuse du Bego.

Fig. 3 : Comparaison des séries de la Tinée et du Barrot (épaisseurs approximatives).

A : Séries du Barrot B : Séries de la Tinée

1 : Schistes noirs Autuniens (datés).

2 : Schistes et conglomérats des Merveilles et de l'Enfer

3 : Série de Bego

4 : Série de Capeirotto

5 : Faciès Notre Dame de Laghé

6 : Série des pélites de Saint-Sauveur

7 : Série des pélites de Daluis

8 : Faciès des pélites d'Illion

9 : Faciès de Léouvé

10 : "Werfenien" inférieur

11 : "Werfenien" supérieur

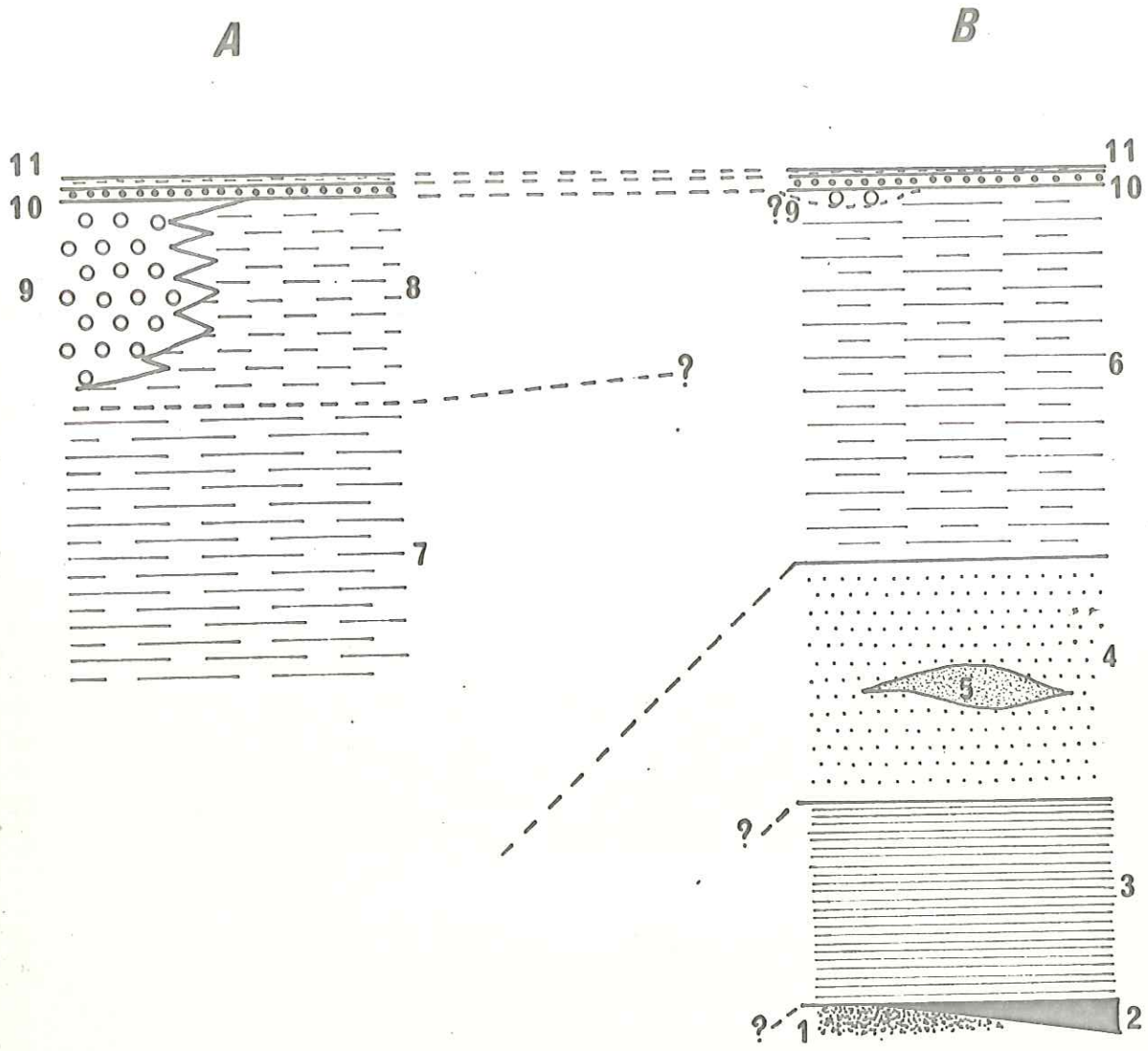


Fig. 3

- la série rouge et grossière de Capeirotto, avec localement des inclusions importantes de matériel fin (faciès Notre Dame de Laghé).

- les pélites rouges et fines de Saint-Sauveur, affectées par un schistosité importante qui rend difficile l'étude de leurs conditions de dépôt.

C/ Le "Werfenien" du Barrot et de la Tinée

Les niveaux werfeniens se prolongent sans modifications apparentes sur toute la région et fournissent un repère stratigraphique indiscutable pour comparer les séries du Barrot et de la Tinée.

I - "Werfenien inférieur"

C'est une arkose blanche, conglomératique, à galets de quartz, à mouchetures de limonite et qui présente des stratifications entrecroisées. Ce niveau légèrement discordant sur le Permien, contient localement des blocs de pélites remaniées ou des niveaux lenticulaires de roche ressemblant à celle du faciès Léouvé. Son épaisseur varie de 10 à 20 m .

II - "Werfenien supérieur"

Il est formé de pélites rouges ou verdâtres, micacées et à grain plus grossier que les pélites permiennes. Il atteint une dizaine de mètres d'épaisseur.

D/ Conclusions

I - Comparaison des deux séries permiennes (Fig. 3)

Il semble très probable que les séries pélitiques rouges du Barrot correspondent à celles de Saint-Sauveur. En effet, ces terrains de faciès très analogues existent sous le même niveau werfenien.

La présence d'une schistosité, qui a modifié les caractères de la série de Saint-Sauveur, empêche d'établir des corrélations précises entre celle-ci et les niveaux de Daluis et d'Illion.

Il est possible que certains niveaux de la Tinée se prolongent sous les pélites du Dôme de Barrot. Mais, là, le manque d'affleurements et de sondages importants ne permettent que des suppositions.

Ayant observé dans la série de la Tinée, au contact des pélites de Saint-Sauveur des niveaux conglomératiques contenant des éléments de pélites rouges remaniées, je me suis posé la question de leurs relations avec les niveaux grossiers du faciès Léouvé. Celui-ci n'existant plus sur la bordure nord orientale du Dôme de Barrot, une équivalence entre les deux niveaux semble peu probable. Mais il reste alors à expliquer la présence d'éléments pélitiques fins et rouges dans ces niveaux conglomératiques de la Tinée.

II - Age réel des séries étudiées

Le seul élément certain de datation est la présence d'un Autunien fossilifère à la base de la série de la Tinée (P. Corsin et A. Arévian 1956).

P. Bordet (1950) a montré que les séries du Barrot et du Permien de l'Estérel présentent une grande analogie de faciès et de composition chimique, et en a déduit un âge permien probable pour le Barrot.

L'aile d'Arctotypus verneti découverte par J. Vernet n'apporte qu'une confirmation relative.

Les débris végétaux, mal conservés, que j'ai récoltés dans certains niveaux fins du Léouvé n'apportent pour le moment aucun élément de datation.

Les travaux de J. Ricour et A. Guillaume ont montré par ailleurs que l'âge des niveaux considérés comme werfeniens n'est pas connu avec certitude.

Tous les éléments de datation du Permo-Werfenien du Dôme de Barrot ne reposent finalement que sur une suite d'arguments convergents..

CARTE STRUCTURALE DU DOME DE BARROT

Sommaire

A/ Introduction 27

B/ Cartographie 28

I° / Travaux antérieurs 28

2° / Travaux personnels 28

C/ Etude des photographies aériennes 33

D/ Interprétation de la carte structurale 34

I° / Les principaux réseaux de faille 34

a) Description 34

b) Origine de ces failles 35

a) Age de ces accidents 36

E/ Remarque concernant la morphologie 36

A/ Introduction

Le Dôme se présente sous la forme d'un brachy-anticlinal, dont l'axe est dirigé sensiblement est-ouest, affecté par un très grand nombre de cassures.

Il demeure très difficile d'en dresser une carte structurale complète pour les raisons suivantes :

Une quantité importante de cassures, très ouvertes et de taille variable (du cm à l'hm), découpent ces terrains. Dans beaucoup de cas, la grande uniformité des faciès permiens et l'absence de bancs repères ne permettent pas de distinguer une diaclase d'une faille.

De plus, la friabilité de certains niveaux (en particulier dans le faciès d'Illion) surtout à proximité des zones de cassures, aboutit à la formation d'éboulis fins qui voilent les affleurements sur de grandes surfaces.

La direction d'axe du brachy-anticlinal est très difficile à préciser sur une carte pour les raisons précédemment citées; de plus le pendage de la majorité des couches est faible.

J. Vernet (1958) et R.D. Schuilling (1956) ont dressé une carte des altitudes du toit des niveaux permiens qui permet de constater que l'axe anticlinal, orienté grossièrement Est-Ouest, se trouve au Nord du Collet de Vigude (Coord. Lambert 967 - 202).

La cartographie détaillée des différents réseaux de faille a été complétée par l'étude systématique des photographies aériennes.

B/ Cartographie

1°/ Travaux antérieurs

P. Bordet (carte géologique de Puget Théniers au 1/50 000e, 1957) a souligné l'existence de plusieurs accidents importants dans la basse vallée du Cians, vers Léouvé, et dans les gorges de Daluis.

Sans avoir étudié le détail de toutes les failles internes du Dôme de Barrot, il signale l'existence de deux réseaux majeurs :

- réseau C : NW-SE
- réseau D : NE-SW

J. Vernet (1958) a étudié en particulier les accidents qui coupent le contact permo-werfenien. Grâce à cet excellent repère, il est possible d'apprécier l'importance du rejet vertical des failles.

R.D. Schuilling (1956) dans son étude détaillée des diaclases donne une idée assez complète sur les directions de ces structures.

Aux réseaux de failles (C : NW-SE; D : NE-SW) signalés par P. Bordet, s'ajoutent deux autres systèmes de failles moins importants N-S et E-W.

2°/ Travaux personnels

Les levés que j'ai effectués sur le terrain, ont généralement porté, comme ceux de J. Vernet, essentiellement sur les bordures du massif, la partie intérieure étant très difficile à étudier par observation directe.

Confirmant, dans la majorité des cas, le travail de J. Vernet, mes recherches ont abouti cependant à

dessiner des tracés, nettement différents de ceux figurés par cet auteur, des accidents situés dans le Nord des vallées du Cians et du Var.

J. Vernet estime, en effet, que dans le Nord des gorges du Cians (carte au 1/20 000 n° 2 - Puget Théniers) un seul et même accident passe à l'ouest du Moulin de Beuil (Coord. Lambert 972, 2 - 207, 0) et sur l'arête séparant les vallées de Challandre et du Cians (Coord Lambert 971, 7 - 205, 9).

J'ai pu observer qu'il existe deux séries d'accidents de directions bien différentes :

- le premier réseau est dirigé NNE-SSW; il comprend une première faille qui suit le fond de la vallée et passe à l'ouest du Moulin de Beuil, et un second accident, situé au-dessus du premier, sur la rive droite du Cians (Coord. Lambert 971, 9 - 206, 4)

- le deuxième réseau est dirigé ENE-WSW; il est constitué par une première faille passant au Sud du Moulin de Beuil (Coord. Lambert 972, 2 - 206, 7) et une seconde sur l'arête entre les vallées de Challandre et du Cians.

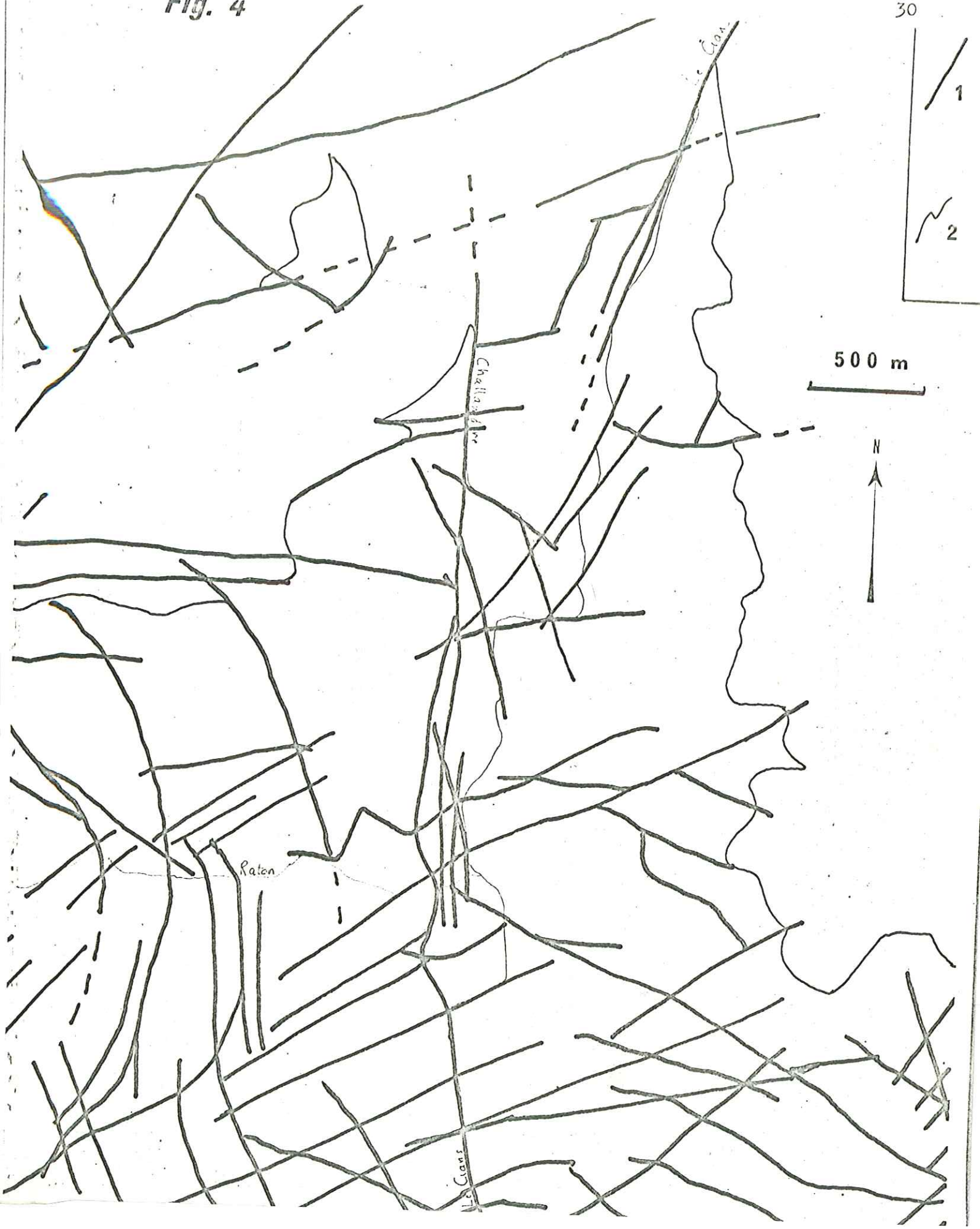
De plus, les roches situées en face du Moulin de Beuil et marquant l'entrée Nord des gorges du Cians, sur le bord de la route départementale D 28, sont affectées par une série de cassures secondaires qui montrent ces deux orientations; ceci confirme l'existence de deux systèmes différents d'accidents.

J. Vernet a d'autre part montré que dans les gorges de Daluis (Carte 1/20 000 - Puget Théniers n° 1), une

---

Fig. 4 : Carte structurale de la partie nord-est du Dôme de Barrot.
1 : Failles 2 : Limite des affleurements permiens

fig. 4



faille limite à l'ouest les affleurements de Permien, sur plus de 3 km. Mes propres observations complètent celles de J. Vernet : il existe là deux réseaux différents.

- le premier est dirigé NNE-SSW; il comprend en particulier une faille passant auprès de la ferme de Cantet (Coord. Lambert 961,5 - 205,55); un autre accident passe d'autre part au Pont des Roberts (Coord. Lambert 961,95 - 207,25).

- le deuxième réseau est dirigé NE-SW, il comprend la majorité des failles parallèles au cours du Var. L'une d'entre elles, limite à l'Ouest les affleurements de Permien (du point 961,5 - 205,55 au point 960,3 - 203,9 Coord. Lambert)

Il faut souligner la très grande complexité des systèmes de failles affectant le Dôme de Barrot. Un grand nombre de cassures, de faible rejet semble-t-il, peut être observé au voisinage des failles principales, mais en l'absence de bancs repères, il est impossible d'apprécier l'importance du jeu de ces accidents.

Il est donc extrêmement difficile de cartographier des structures n'affectant que les terrains rouges permiens.

Toutefois, certains éléments structuraux ont pu être discernés (je citerai par exemple la faille du vallon d'Escoulière, affluent du Cians, soulignée par une zone broyée importante).

Fig. 5 : Carte structurale des gorges de Daluis

1 : Failles 2 : Limites des affleurements permiens.

Fig. 5

1
2
1 km
N
Ravin de Tirabou
Ravin de Cantet
Ravin de Berthieou
Ravin d'Amen
Ravin de Roya
Var

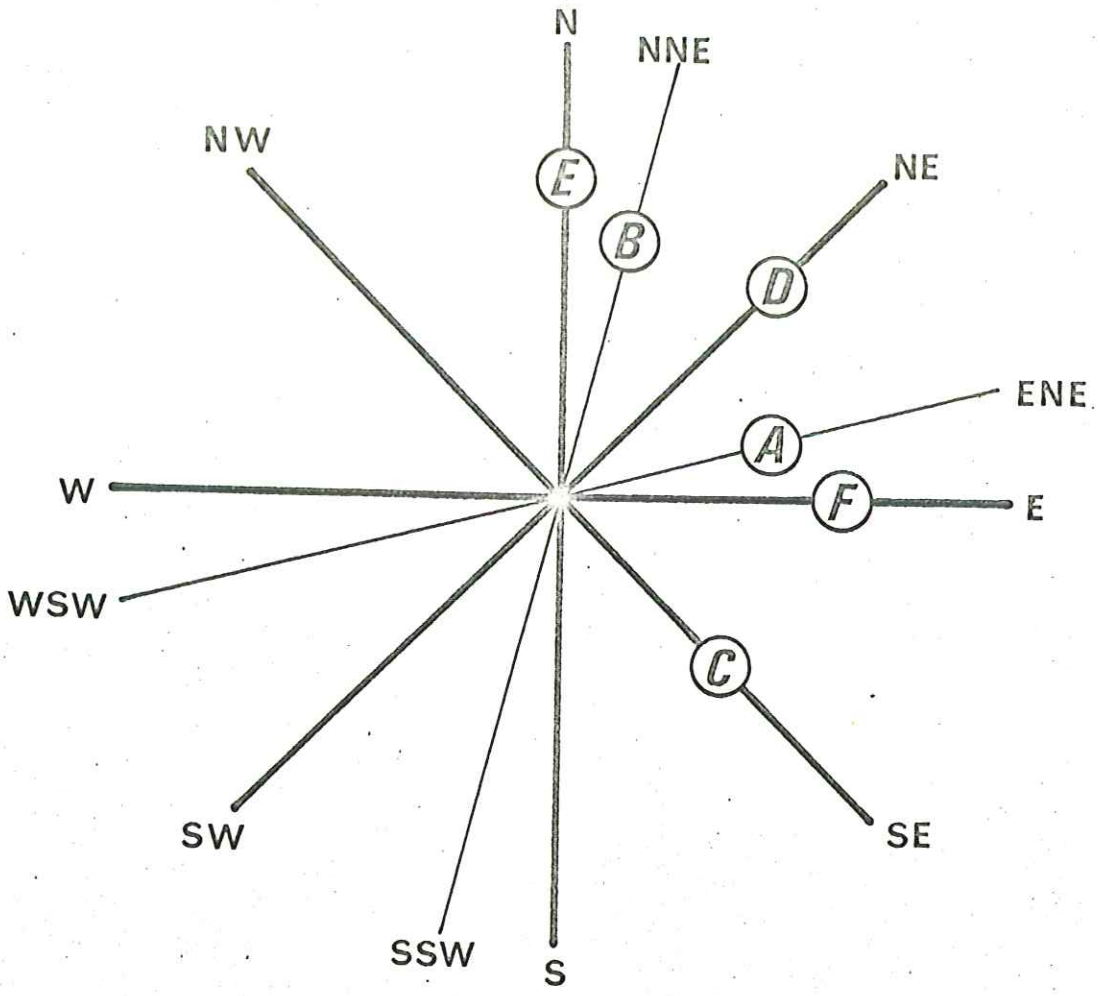
C/ Etude des photographies aériennes

L'étude détaillée des photographies aériennes est riche en enseignements dans cette région de faible couverture végétale.

A cette échelle, les cassures mineures ne sont plus visibles et il devient plus facile d'analyser la structure générale.

Il est alors possible d'effectuer une cartographie assez détaillée de l'intérieur du massif.

La majorité des structures figurant sur la carte générale (voir Carte structurale générale, en annexe) a été d'abord mise en évidence par photographies aériennes, les contrôles nécessaires ayant été ensuite effectués sur le terrain.



D/ Interprétation de la carte structurale

1°/ Les principaux réseaux de failles :

a) Description (fig. 4, 5, 6 et carte structurale générale)

Il existe dans le Dôme deux réseaux de cassures majeures :

C : NW-SE et D: NE-SW

et deux réseaux secondaires, moins nets :

E : N-S et F: E-W

La majorité de ces failles est verticale, mais certains accidents ont des pendages approchant 60° surtout dans la vallée de Raton.

Enfin, quelques failles verticales, possèdent une orientation différente de celle des quatre réseaux principaux :

A : ENE - WSW et B : NNE-SSW, surtout dans la partie Nord du massif.

Les diaclases étudiées par R.D. Schuilling sont associées principalement aux réseaux C et D

b) Origine de ces failles

Les travaux antérieurs qui traitent de la formation du Dôme suggèrent que le brachy-anticlinal est apparu d'une phase de soulèvement avec extension en surface. Cette phase est postérieure à la tectonique paroxysmale.

Les directions de failles des réseaux C et D paraissent symétriques par rapport à l'axe de l'anticlinal. Il semblerait donc, d'après ces seules données, que ce sont des réseaux conjugués qui ont pris naissance lors du soulèvement.

Les directions des réseaux A et B se rapprochent de celles des réseaux E et F, mais ces failles se trouvent au Nord du massif, à une assez grande distance de l'axe anticlinal. Il est donc difficile d'établir une relation entre les origines de ces quatre réseaux.

Les orientations des réseaux E et F tendent à prouver que ces accidents résultent de phénomènes différents de ceux qui ont donné naissance aux réseaux C et D.

c) Age de ces accidents

Certaines des failles appartenant aux six réseaux décrits plus haut, se prolongent sans déviation dans les terrains post-werfeniens. Il est donc certain que ces six réseaux ont joué ou rejoué postérieurement au décollement des terrains post-werféniens formant la couverture du Dôme.

Nous allons essayer de préciser les ages relatifs de ces différents réseaux.

Les travaux de Bordet et Vernet ont montré que le soulèvement général du Dôme de Barrot s'est fait après la phase alpine paroxysmale. Ce soulèvement ayant pu se faire en un ou deux temps, trois hypothèses peuvent être envisagées :

a - Une phase de soulèvement provoque d'abord la formation de deux réseaux conjugués, puis de deux autres réseaux.

b - Une phase tectonique antérieure a donné naissance aux accidents de réseaux E et F (A et B également ?). Ceux-ci ont rejoué lors du soulèvement, tandis qu'apparaissent les failles des réseaux C et D.

c - Tous les accidents sont anciens et n'ont fait que rejouer pendant le soulèvement.

Les chapitres suivants montreront que l'étude microstructurale systématique apporte des précisions importantes.

E/ Remarque concernant la morphologie

La photographie aérienne met en évidence l'influence des structures sur l'orientation du réseau hydrographique.

Le Var (Fig. 5) coule essentiellement dans une zone de cassures; l'un de ces accidents se prolonge vers le Sud-Ouest, donnant son tracé rectiligne à la vallée. La Roudoule (Fig. 6) et ses affluents ont des parcours souvent parallèles liés aux réseaux de failles. Les vallées du Cians et de Challandre (Fig. 4) sont elles-mêmes placées sur une série de fractures importantes.

Fig. 6 : Carte structurale du secteur de Léouvé
1 : Failles 2 : Limite des affleurements permiens.

Fig. 6

MICROTECTONIQUE

Sommaire

A/ Introduction 4I

B/ Témoins d'une phase de compression majeure 44

I - Existence d'une schistosité générale 44

II - Microfissuration et direction préférentielle d'allongement des mud-cracks 69

III - Rejeu ou déformation d'accidents antérieurs à la phase de compression majeure 7I

IV - Accidents apparus lors de la phase de compression majeure 82

V - Conclusions au chapître "Microtectonique" 84

C/ Tectonique antérieure à la phase de compression 86

I - Introduction 86

II - Accidents dirigés WSW-ENE (Groupe A) 89

III - Accidents dirigés NNE-SSW (Groupe B) 90

IV - Accidents dirigés NW-SE (Groupe C) 9I

V - Remarque sur l'évolution de la fissuration liée aux accidents de type A, B et C 92

VI - Chronologie des phases A, B et C 93

VII - Existence possible de structures anté-werfeniennes 94

A/ Introduction

Le chapitre précédent ayant montré que six réseaux d'accidents affectent le Dôme, il était nécessaire de réaliser une étude microstructurale détaillée pour étudier les relations entre les divers accidents. Cette étude a, de plus, révélé l'existence de structures jusqu'ici inconnues, en particulier dans la partie nord-orientale du Dôme (schistosité générale). L'analyse de ces structures nous a permis de préciser l'histoire tectonique de ce secteur, et de montrer que celui-ci avait subit les effets des compressions alpines. Les principaux résultats de mes recherches sont donnés dans le présent chapitre. Nous avons commencé notre analyse des structures par l'étude des traces de compressions les plus récentes, qui sont également les plus nettes.

1°/ Plan de ce chapitre

Après une introduction méthodologique , les structures qui nous paraissent devoir être attribuées à une ou des compressions seront décrites.

Dans une seconde partie seront analysées des structures mettant en évidence une tectonique antérieure aux compressions alpines.

2°/ Méthodes utilisées

Nous avons effectué des relevés précis des différentes microstructures.

- Les plans des failles portant parfois des stries , permettent d'étudier le jeu des accidents. Ils fournissent donc, ainsi que les diaclases, des indications intéressantes.

- Les plans de schistosité sont perpendiculaires à la direction principale maximum des contraintes, qu'elles permettent donc de déterminer.

  Dans une roche dont le seuil de plasticité est bas, la schistosité n'apparaît qu'à partir de valeurs assez importantes de la pression et de la température ("front supérieur de schistosité"). Ces conditions de pression et de température se trouvent réunies dans deux principaux cas différents :

  (1) Un massif entier subit des contraintes et des températures suffisantes pour entraîner la formation de structures planaires d'origine tectonique: c'est la schistosité générale ou encore schistosité régionale. Dans ce cas, les directions de compression sont pratiquement identiques dans tout le secteur affecté et la direction de la schistosité varie peu à l'intérieur du massif.

  (2) Lors du jeu d'une faille, peuvent apparaître localement, au voisinage immédiat du contact anormal, des contraintes et températures suffisantes pour entraîner la formation d'une schistosité.

  Dans ce dernier cas, les plans de schistosité, dont l'orientation est en relation étroite avec le sens du déplacement, sont pratiquement tangents au contact.

- Certaines microfissures sont les traces laissées, par des compressions plus faibles que celles ayant donné la schistosité. Il s'agit pratiquement de la première ébauche de la foliation tectonique. Elles sont associées à la schistosité de fracture et donnent donc des indications sur l'orientation générale des compressions.

- Les mud-cracks , ont en moyenne une forme polygonale régulière. Dans certains cas, ils présentent tous un allongement selon la même direction, signe

de déformations postérieures à leur origine. La direction préférentielle d'allongement est perpendiculaire à la contrainte principale maximum.

- Les structures planaires (failles, diaclases, schistosité, stratification) et les structures linéaires (microfissures, direction préférentielle d'allongement des mud-cracks...) ont parfois été déformées soit au cours de leur formation, soit postérieurement. Il est intéressant de relever les orientations des axes de déformation car ils peuvent fournir également des indications sur la direction des contraintes.

- Enfin, les intersections entre ces divers types de structures, permettent d'établir une chronologie relative.

3°/ Remarque

Nous ne décrivons pas les diaclases récentes liées au soulèvement dont une étude très complète a été faite par R.D. Schuilling (1956).

B/ Témoins d'une phase de compression majeure.

Nous avons constaté que les traces de compressions importantes qui ont donné naissance à la schistosité de la vallée de la Tinée existent également dans le Dôme de Barrot (schistosité de flux, microfissures, fracturation).

I - Existence d'une schistosité générale

Remarque préliminaire :

Dans tous les cas, les plans de schistosité observés dans le Dôme de Barrot, sont recoupés par les diaclases apparues lors de la phase de soulèvement du Dôme. Cette phase de soulèvement est donc postérieure à celle qui a donné naissance à la schistosité (phase de compression majeure).

1°/ Les gorges du Cians

a/ Série de Daluis

+ Données générales :

Une schistosité nette affecte toute la série, sauf dans la zone située à l'extrême Sud. Elle n'est accompagnée d'aucun plissement et la surface de stratification ne porte aucune trace de déformation, même à petite échelle. Sauf très localement, il n'y a pas eu de modification minéralogique dans le plan de schistosité. Cette schistosité est d'un type situé à la limite entre schistosité de flux et de fracture. La roche se délite d'ailleurs selon son plan de stratification, et beaucoup plus difficilement selon son plan de schistosité.

Les pendages de la schistosité varient de 30° à 60° en inclinaison (Fig. 7)

Aucune relation n'a pu être établie entre les failles et cette schistosité.

+ Phénomènes locaux

Près de certaines failles, les plans de schistosité sont soulignés par l'apparition de minéraux phylliteux qui leur donne un aspect luisant. Ces failles pourraient avoir joué (ou rejoué) lors de la phase de serrage ayant donné naissance à la schistosité. Il faut cependant noter qu'aucune trace de ce jeu (ou rejeu) n'est observable.

L'orientation et le pendage de la schistosité subissent des variations significatives. La direction qui est en moyenne de 40 ° NE dans les six km nord des gorges, passe à 30° NE dans le secteur méridional (Fig. 7) Les compressions, dirigées sensiblement NE-SW dans la partie septentrionale des gorges étaient plutôt NNE-SSW vers le vallon d'Escoulières et Pra d'Astier.

L'inclinaison moyenne des plans de schistosité est donc de 40°, mais des variations locales très nettes, sont aussi très fréquentes. Les changements de pendage de la stratification ne permettent pas d'expliquer

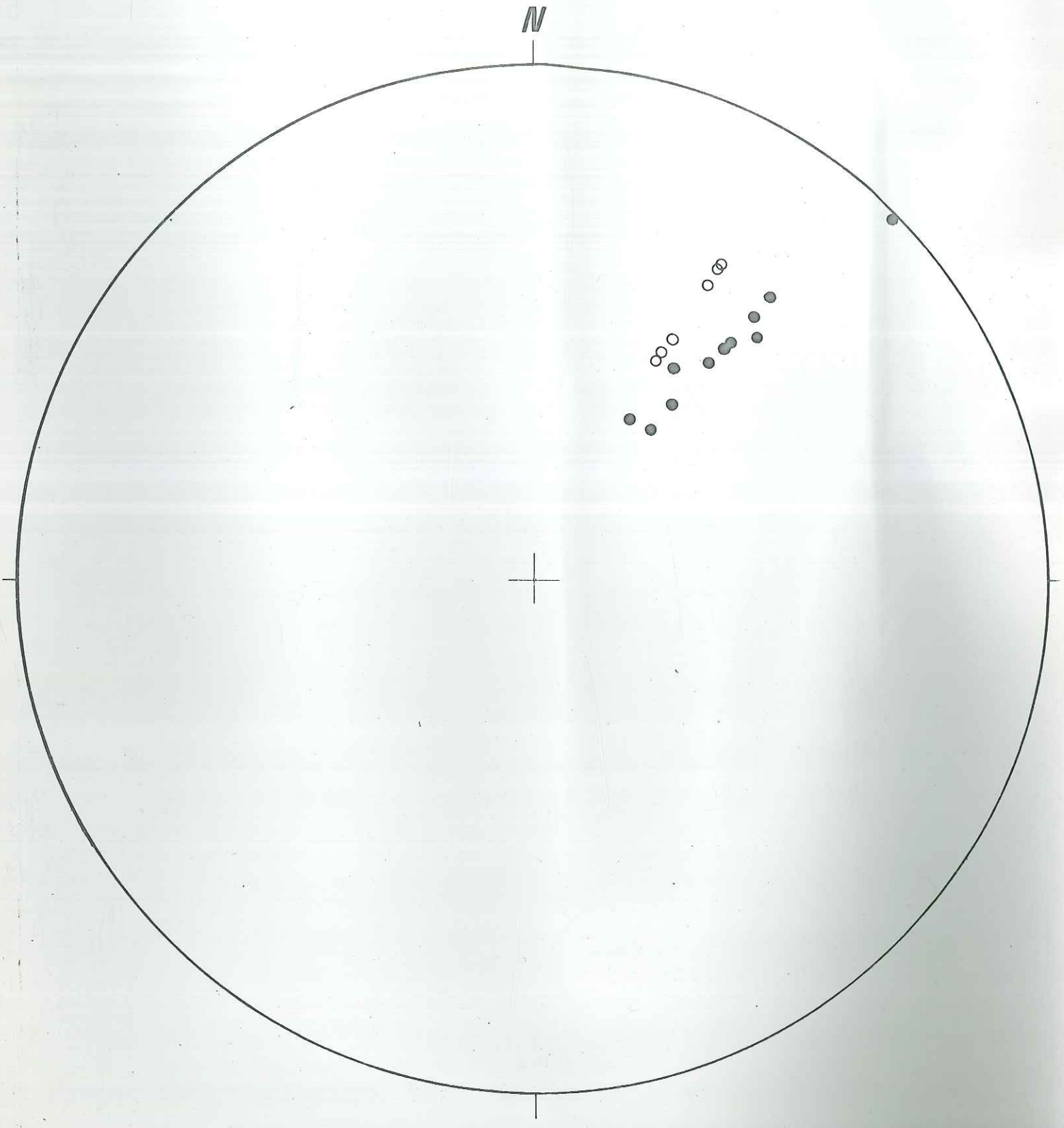
---

Fig. 7 : Normales aux plans de schistosité dans Permien de la série de Daluis, dans les gorges du Cians. (projection stéréographique des directions dans la demi-sphère supérieure).

1/ Dans les parties nord et centrale des gorges

2/ Dans la partie sud des gorges.

Fig. 7



ces variations. Elles sont sans doute liées à des accidents anciens, aucune preuve de l'existence de ces failles anciennes n'a pu être relevée.

b/ Faciès d'Illion

+ Rive gauche du Cians (carte Puget Théniers n° 2 au 1/20 000).

Dans cette région la schistosité est observable au niveau de trois accidents :

- à environ 1 km au nord de la Tête des Caires (Coord. Lambert 971,8 - 203,6) existe un accident subhorizontal (direction 55° NE, inclinaison 12°), près duquel est visible une schistosité dirigée 45° NE et dont le pendage est voisin de 80°. Cette schistosité recoupe nettement un repli, de la stratification en forme de crochon, situé le long du contact anormal (voir fig. 8). L'accident est donc antérieur à la schistosité. Celle-ci affecte les deux compartiments de la faille, mais ne traverse pas le contact en continuité; il apparaît donc que la faille a rejoué pendant ou après la formation de la schistosité.

  Les diaclases liées au soulèvement du Dôme tranchent accident et schistosité; la faille n'a pas rejoué lors du soulèvement.

- au Sud des Cluots (1 km) deux failles parallèles dirigées 40° NE limitent un panneau de Permien qui a été soulevé (Coord. Lambert 974,1 - 203,8). Toutes les pélites de cette zone sont affectées par une franche schistosité. La stratification, n'est pratiquement plus visible

Fig. 8 : Coupe de l'accident sub-horizontal affectant le Permien 1 km au Nord de la Tête des Caires (Coord. Lambert 972,8 - 203,6).

1 : Banc tendre du faciès d'Illion (avec schistosité)

2 : Banc dur du faciès d'Illion (avec schistosité près du contact).

3 : Contact anormal (Direction 55° ; inclinaison 12°) avec stries (Direction 55° - inclinaison 12°).

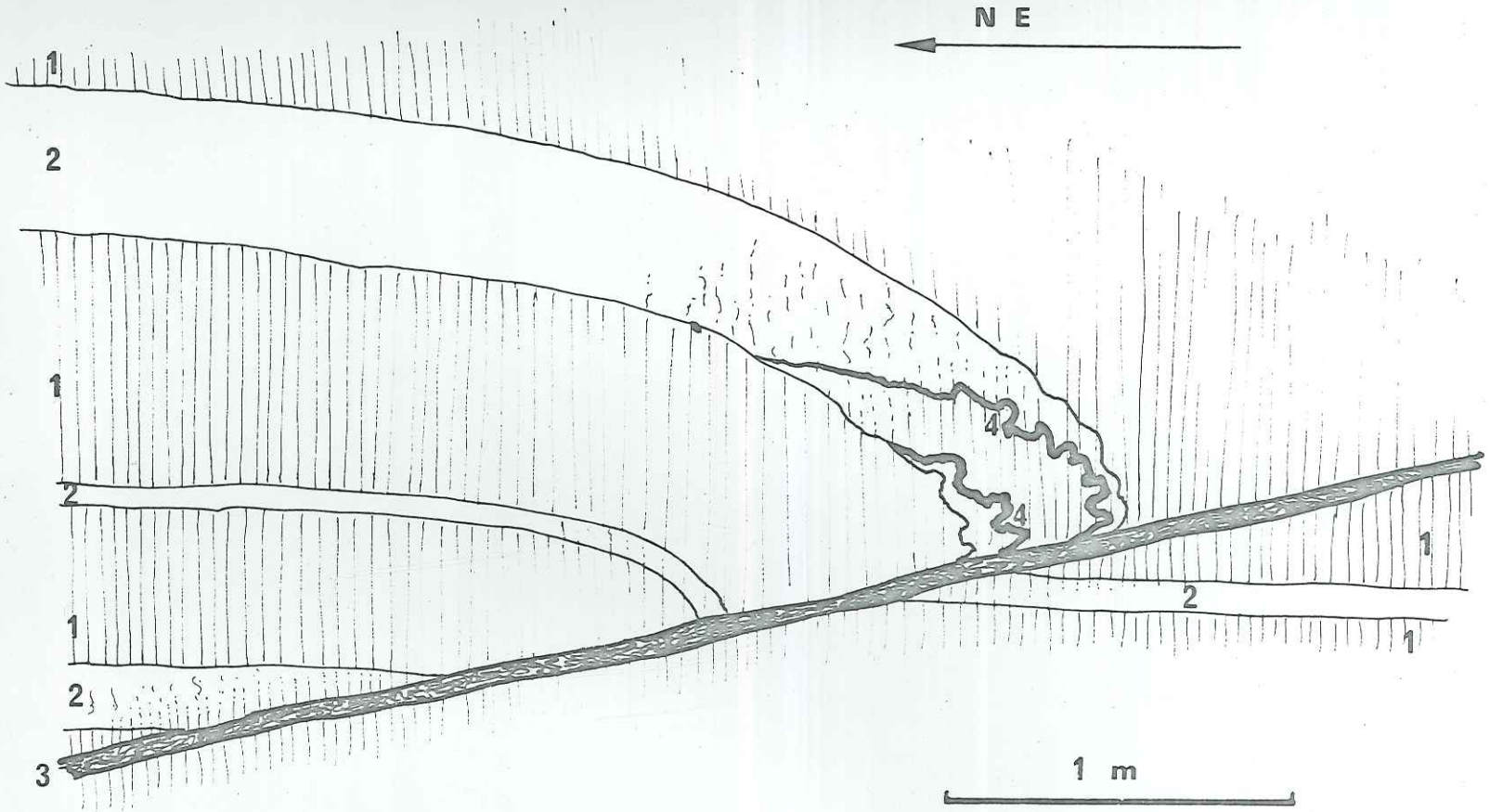
4 : Diaclases plissées.

Cet accident, du groupe C, est antérieur à la compression majeure : le crochon de faille est recoupé par la schistosité ; celle-ci n'est pas une schistosité de plan axial pour ce pli. De plus, la schistosité n'est pas du tout affectée par les micro-plissements des diaclases 4.

Il est constitué par une série de cassures parallèles (3 et 4) dont une seule (3) a joué en chevauchement pendant que les autres étaient plissées (4).

La schistosité, apparemment interrompue dans la brèche de faille, n'est pas déviée près de l'accident. Les stries de faille (inclinaison 12° NE) pourraient être en rapport avec un rejeu de l'accident sous les compressions alpines (dirigées NE-SW).

Fig. 8



et le Permien présente (probablement à la suite de modifications minéralogiques) la même teinte plus violacée, que les pélites de St-Sauveur dans la vallée de la Tinée.

Cette schistosité verticale a une direction moyenne de 30° NE. Cependant, l'orientation générale de la schistosité est légèrement modifiée au voisinage de contacts anormaux. Les plans de schistosité sont pratiquement tangents aux plans de failles d'orientation 40° NE.

Des fissures affectant le Werfenien sont injectées de Permien; la schistosité, intacte, affecte aussi le Permien injecté.

Ces observations montrent que les accidents limitant le panneau de Permien sont anciens et qu'ils n'ont pas joué la formation de la schistosité pendant ou après. Il semble probable que les bancs de Werfenien inférieur, rigides, placés en contact des pélites par les failles anciennes ont transmis la compression aux niveaux permiens.

Les accidents (40° NE) étant légèrement obliques par rapport aux compressions générales (30 ° NE), une composante de cisaillement a pu apparaître le long des contacts de failles et modifier localement la direction des contraintes.

+ Rive droite du Cians (Feuille Puget Théniers n° 2 1/20 000)

Sur l'arête séparant les vallées de Cians et de Challandre (Coord. Lambert 971,7 - 205,9) existe également une

schistosité bien visible dans les pélites permiennes. Elle affecte tous les niveaux sauf les bancs à mud cracks qui sont très massifs à cet endroit.

De direction 50° NE, elle est inclinée de 40° environ. Au nord-est et à l'est de cette région existe une zone qui la sépare du massif de l'Argentera et qui est dépourvue de schistosité. La présence d'une schistosité de faible inclinaison observable seulement dans une zone isolée pose donc un problème dont une solution peut être la suivante :

Comme dans le secteur d'Illion (voir plus loin), le Werfenien s'est décollé du Permien. Des contraintes supplémentaires sont nées près du contact. Le déplacement étant sub-horizontal, les contraintes maximales de cisaillement présentaient une faible inclinaison; d'où la naissance d'une schistosité peu inclinée.

c/ Autres niveaux

Les terrains werfeniens de plus grande compétence ne sont pas chistosés dans ce secteur. Le faciès Léouvé y est pratiquement inexistant.

2°/ Vallée du Raton

a/ Données générales

C'est dans le secteur d'Illion, que l'étude microtectonique détaillée apporte les résultats les plus significatifs. La schistosité affecte toutes les roches du faciès d'Illion, depuis l'arête séparant les vallées du Challandre et du Raton, jusqu'aux derniers affleurements de Permien, 300 m à l'Est des granges

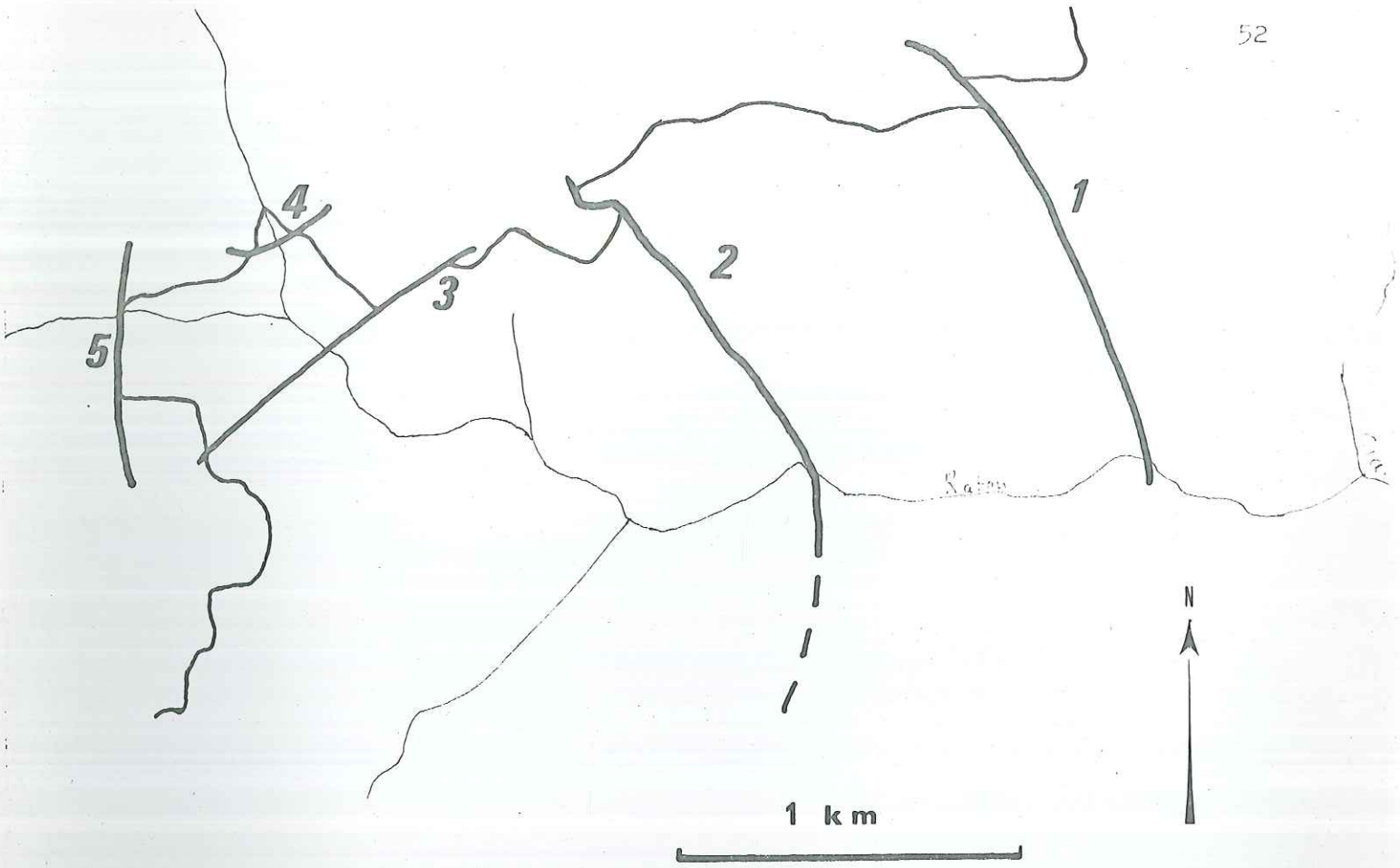


Fig. 9

CARTE DES 5 ACCIDENTS MAJEURS DU SECTEUR D'ILLION, ANTERIEURS A LA PHASE DE COMPRESSION MAJEURE. (Feuille de PUGET-THENIERS N° 2 au 1/20 000.)

d'Auvare (Coord. Lambert 968,0 - 204,0). Elle est rarement nette dans les niveaux à faciès Léouvé et le Werfenien supérieur.

Toute cette zone présente un grand nombre de cassures, dont il est possible d'apprécier le rejet vertical, car elles recoupent le Werfenien (ce n'était pas le cas, dans les gorges du Cians). Cinq cassures majeures se distinguent dans ce secteur (voir fig. 9).

b/ Orientation des plans de schistosité

En dehors des zones de cassures, la direction des plans de schistosité varie de 40° vers l'Ouest à 50° vers l'Est. En général verticale, la schistosité a une inclinaison de 70° sur l'arête séparant les deux vallées (de Raton et de Challandre); elle est variable dans les zones de cassures.

Des levés détaillés effectués le long de l'accident 2 d'Illion (fig. 10) indiquent l'orientation de la schistosité. Dans les niveaux d'Illion, cette schistosité épouse le plus souvent la forme de l'extrémité de la barre werfienienne.

Le même phénomène, bien que moins accentué, existe également pour l'accident 1.

Au niveau des accidents 3 et 4, les plans de schistosité deviennent pratiquement tangents au contact anormal.

Enfin, 400 m au sud de la cime de Raton (Coord. Lambert 968,6 - 204,15) la schistosité est presque tangente au contact entre Permien et Werfenien (voir fig. 11) A cet endroit, le Werfenien chevauche légèrement les niveaux permiens.

Fig. 10 : Carte de l'accident 2 d'Illion.

1 : Pendage de la schistosité (avec valeur de l'inclinaison en degrés).

2 : Faciès d'Illion (I)

3 : Faciès Léouvé (L)

4 : Werfenien inférieur (Wi)

5 : Werfenien supérieur (Ws).

Cet accident vertical, du groupe C, est antérieur aux compressions alpines: il a évolué en faille-pli sous ces contraintes alpines, devenant localement chevauchant à la base du faciès de Léouvé.

Les structures représentées sur les figures 16 et 17 se situent le long de cet accident dans le Permien :

- la structure de la figure 16, au-dessus du contact chevauchant entre le Werfenien supérieur et le Permien de Léouvé.

- celle de la figure 17, près de la faille verticale séparant les pélites d'Illion du Werfenien supérieur.

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GEOSCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53
F. 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
Mail : ptalour@ujf grenoble.fr

19 AOUT 2003

Fig. 10

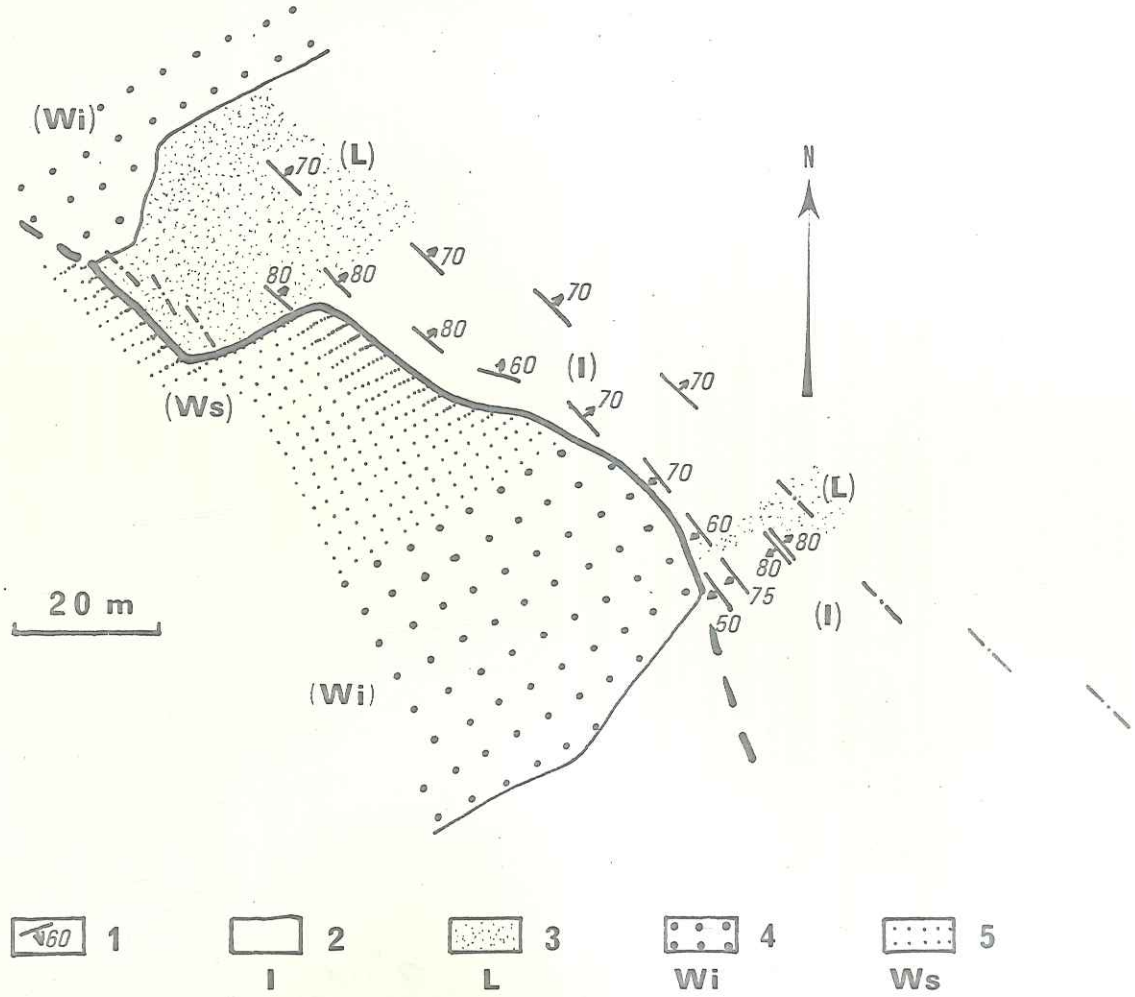

(Wi)
(L)
70
80
80
70
70
80
60
(I)
70
70
(Ws)
70
(L)
60
80
80
75
50
(I)
N
20 m
(Wi)
60
1
2
I
3
L
4
Wi
5
Ws

Fig. 11 : Détail d'un affleurement situé dans la falaise entre les accidents 3 et 4 d'Illion (Coord. Lambert 968, 6 - 204, 15)

1 : Werfenien inférieur

2 : Léouvé.

Les pélites d'Illion ont été entraînées par le Werfenien quand celui-ci a joué en chevauchement. La schistosité se suit en continuité, sans aucun écrasement, dans cette cassure. Elle est pratiquement tangente au contact chevauchant. Cet accident a donc joué sous les compressions alpines, pendant la formation de la schistosité.

Il existe localement des stries de faille inclinées vers le Nord-Est dans la faille.

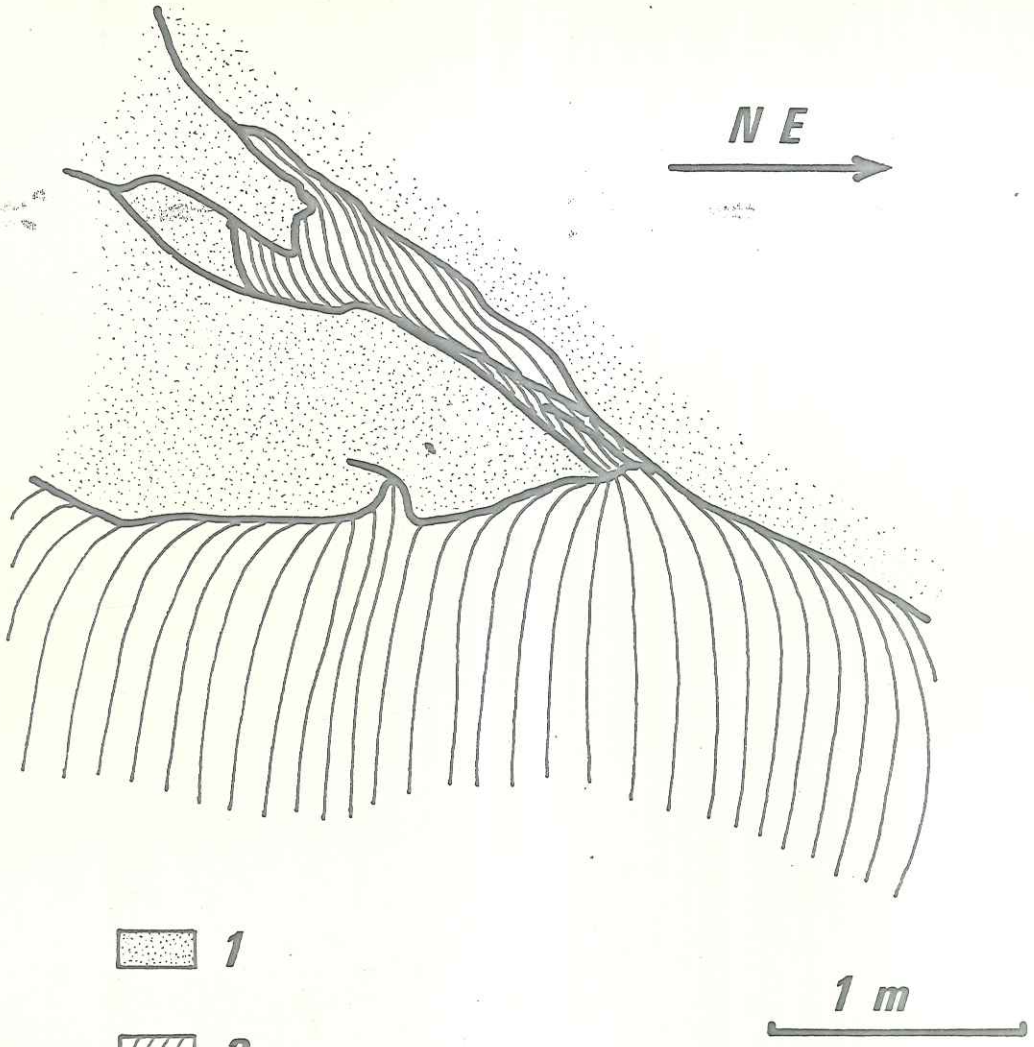


Fig. 11

c/ Interprétation des changements d'orientation de la schistosité dans la vallée du Raton

Accidents 1 et 2 d'Illion

La schistosité traverse sans interruption les contacts des failles intéressant le Permien. Ces accidents sont donc anciens. Ils avaient mis en contact des terrains aux propriétés mécaniques différentes.

- le faciès d'Illion se déformant assez facilement (seuil de plasticité assez bas).
- le faciès de Léouvé plus rigide mais comportant de nombreuses fissures apparues lors de la formation de ces accidents anciens.
- le Werfenien inférieur rigide et massif.
- le Werfenien supérieur pouvant se déformer assez difficilement (seuil de plasticité plus élevé que celui du faciès d'Illion).

Sous l'effet des compressions, les niveaux rigides ont pénétré dans les terrains relativement plus déformables. Dans le cas de l'accident 2 d'Illion par exemple, le Werfenien inférieur et les niveaux Léouvé ont pénétré dans le Werfenien supérieur et le faciès d'Illion. Celui-ci, écrasé, présente une schistosité, nette, "moulée" sur l'extrêmité de la barre werfenienne.

Ce type d'évolution correspond à l'évolution classique d'une faille-pli (L. Glangeaud 1945, 1947, 1949).

Accidents 3 et 4 d'Illion

Ces accidents ont des miroirs de failles avec stries subhorizontales très nettes. Les

cassures secondaires associées aux accidents principaux et parallèles à ceux-ci ne tranchent pas les plans de schistosité des roches permiennes; ceci montre l'ancienneté relative de ces ensembles de failles. La schistosité, en général orientée NW-SE devient pratiquement tangente à la surface des cassures majeures (orientée ENE-WSW) et sa flexure est perpendiculaire à la direction des stries visibles sur les miroirs de faille. Cette schistosité traverse la brèche de faille (pélites rouges broyées). Il est donc net que les accidents 3 et 4 ont rejoué en décrochement pendant la formation de la schistosité. Celle-ci est née à la suite de la composition des compressions majeures et des contraintes liées au rejeu de l'accident.

Accident de type chevauchant

Dans ce cas également, la schistosité a sa flexure perpendiculaire aux stries de faille visibles dans le contact. Le même phénomène de composition de différentes contraintes explique les variations de pendage de cette foliation d'origine tectonique.

3°/ Sur les flancs du Dôme de Barrot

a) Le Permien d'Illion et de Léouvé réapparaît grâce à un jeu de faille 200 m à l'Ouest des Grandes d'Auvare (Coord. Lambert 967,3 - 203,95). Une schistosité verticale, de direction 45° Nord-Est peut être observée . Elle présente des variations importantes de pendage au voisinage d'une série d'accidents assez complexes (voir figure 12) qui seront étudiés plus loin. Elle traverse d'ailleurs sans interruption la majorité de ces contacts: ceux-ci sont donc antérieurs ou liés à la phase de compression majeure.

Fig. 12 : Détail de la série d'accidents situés 200 m à l'Est des Granges d'Auvare (Coord. Lambert 967, 3 - 203, 95).

1, 2, 3, 4 et 5 : Accidents du groupe A

6, 7 : Accidents du groupe B (la structure n° 7 a rejoué après la formation de la schistosité).

8 : Accident du groupe C (?)

9 : Structure du groupe A (?)

10 : Cassure secondaire sub-horizontale

11 : Diaclases plissées (avec quartz)

12 : Faciès d'Illion

13 : Faciès de Léouvé.

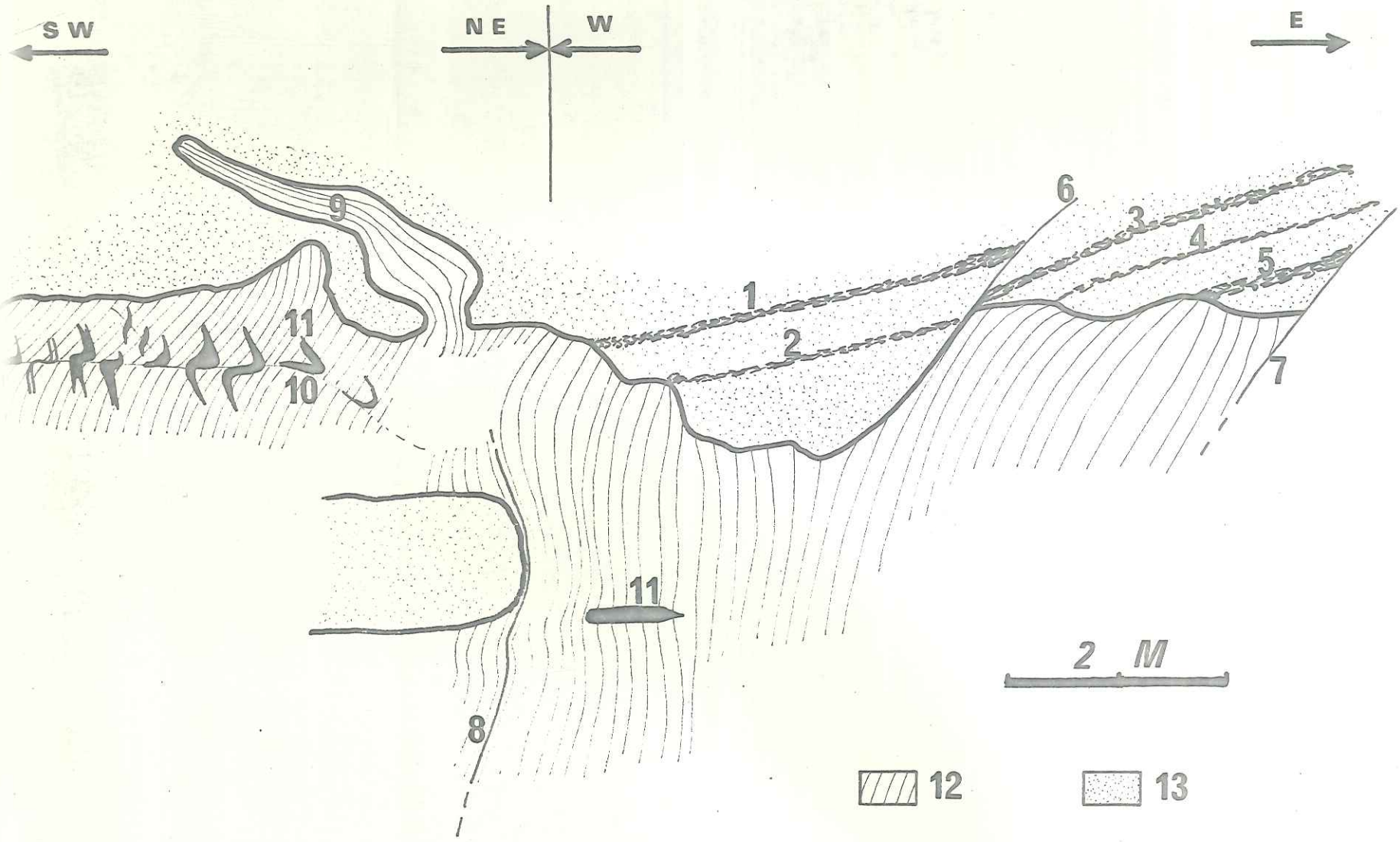


Fig. 12

La schistosité a parfois épousé la forme de certains blocs durs du faciès de Léouvé (structures n° 8 et 9 sur la figure 12). Cette schistosité ne porte pas traces d'écrasement ou de cassures. Les changements de pendage de cette schistosité ne semblent donc pas être dus à des déformations postérieures à la phase de compression majeure.

b) Au Sud-Est du sommet, au versant Sud du point côté 1971 (Coord. Lambert 967,5 - 202,8), existe une schistosité de direction 40° Nord-Est et d'inclinaison 80°. Elle est parallèle au contact d'une faille de même orientation qui est antérieure à la phase de compression majeure.

c) Enfin, 1500 m à l'Est du Dôme de Barrot, en face de la Tête de Régaud, la schistosité est localisée dans le faciès d'Illion, près du contact stratigraphique Permien-Werfenien.

- 200 m au Sud-Est du point 1899, (Coord. Lambert 968,4 - 203,25), sa direction est 230° et son inclinaison varie de 60° à 90°. Elle paraît liée à une faille verticale de direction 230°.

- 100 m plus au Sud, (Coord. Lambert 968,5 203,2) un autre accident présente les mêmes caractéristiques que l'accident 3 d'Illion; en particulier, la schistosité, nette, devient tangente au miroir de faille (voir figure 13). Sa flexure est perpendiculaire aux stries de faille. La schistosité existe sans montrer aucune trace d'écrasement, dans des pélites injectées dans le contact anormal. L'accident a rejoué en décrochement pendant la formation de cette schistosité.

Fig. 13 : Bloc diagramme de l'accident situé 1600 m à l'Est du sommet du Dôme de Barrot (Coord. Lambert 968, 5 - 203, 2).

1 : Faciès d'Illion (avec schistosité)

2 : Werfenien inférieur

3 : Miroir de faille (direction 160°; inclinaison 80°) avec stries (inclinaison 2° ENE) indiquant un déplacement du compartiment nord vers l'ouest.

Cet accident de type A a probablement joué en faille normale avant les compressions alpines.

La schistosité se suit sans écrasement dans la faille. Elle est tangente à l'accident. La flexure de cette schistosité est verticale (perpendiculaire aux stries de faille): cet accident a joué en décrochement pendant les compressions alpines.

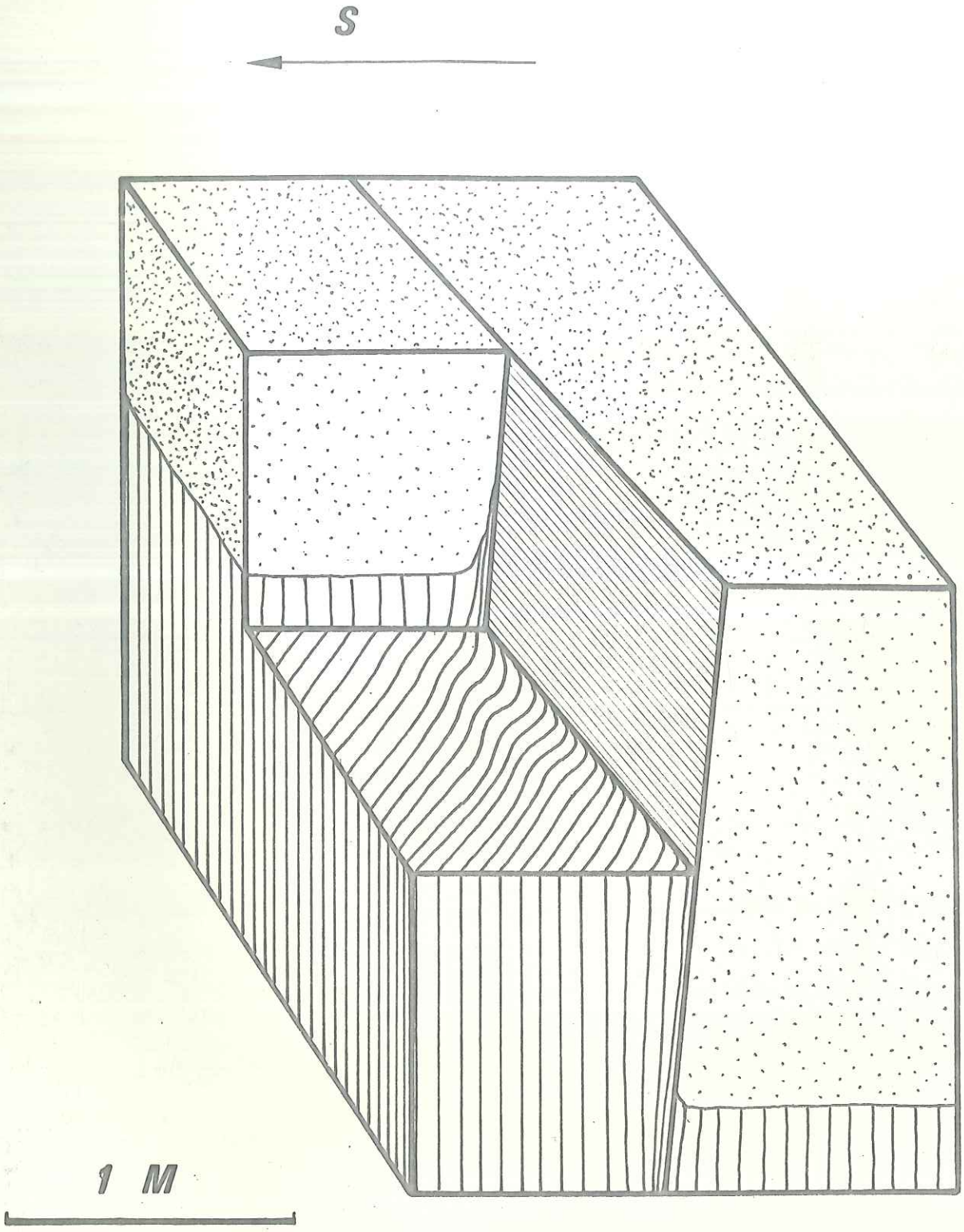


Fig. 13

4°/ Conclusion

a) Présence d'une schistosité générale

Les roches situées dans la partie nord-orientale du dôme sont schistosées. La schistosité a une orientation presque constante NW-SE; elle est plus nette à l'approche des zones de faille, et parfois accompagnée de recristallisation dans les bancs incompétents (schistosité de flux très nette); le pendage de la schistosité a été influencé par la présence d'accidents anciens qui ont rejoué pendant la phase de compression qui donne naissance à la schistosité. Il n'est pas possible d'expliquer l'orientation générale de la schistosité par l'existence de ces seuls accidents de directions d'ailleurs variées. La schistosité, qu'elle soit de flux ou de fracture est une schistosité régionale.

Son orientation est celle de la schistosité des vallées de la Tinée et de la Roya. Dans ce dernier secteur, la schistosité régionale est postérieure à des niveaux d'âge crétacé supérieur supérieur et très vraisemblablement postérieure à des niveaux priaboniens. Dans les zones plus internes (haute vallée de la Roya et au-delà), elle est postérieure à des niveaux priaboniens et antérieure à la transgression de l'oligocène ligure (A. Guillaume 1967). Il est donc vraisemblable que la schistosité visible dans le dôme du Barrot est née lors de la phase majeure de compression alpine à l'Eocène terminal - Oligocène inférieur.

Rappelons enfin que les plans de schistosité sont recoupés dans le Dôme de Barrot par les diaclases tardives (soulèvement final du Dôme).

b) Orientation des plans de schistosité

+ Déclinaison

En dehors des zones de cassures, la grande majorité des directions mesurées est proche de 40° à 45° Nord-Est: la direction des contraintes maximales pendant la phase de compression majeure était donc NE-SW.

Dans la partie méridionale des gorges du Cians, la direction de la schistosité passe à 30° (fig. 7), montrant une orientation NNE-SSW pour les compressions ayant formé cette schistosité.

+ Inclinaison

En dehors des zones très proches d'accidents anciens, les plans de schistosité sont inclinés vers le Nord-Est, avec un pendage moyen de 50° (les pendages sont parfois plus faibles - 30°) ou plus rarement verticaux (dans la série d'Illion).

Pour expliquer la disposition générale de la schistosité , plusieurs hypothèses peuvent être proposées :

- un ensemble d'accidents anciens (non observés sur le terrain), inclinés vers le Nord-Est, serait lié à la formation de la schistosité.

- plusieurs niveaux de décollement, dans la série permo-werfenienne seraient apparus lors de la phase de compression majeure : ces glissements auraient créé localement des contraintes de cisaillement subverticales.

Seuls des décollements très locaux, à la

base de bancs très massifs (Werfenien inférieur, Léouvé ou bancs rigides du faciès d'Illion) ont cependant été observés.

- des cisaillements se seraient produits lors du décollement général des niveaux post-werfeniens.

- l'ensemble du massif aurait basculé après la phase de serrage alpin, pendant l'individualisation définitive du dôme.

- un glissement du Permien du Dôme du Barrot sur son socle expliquerait très bien la disposition de la schistosité, inclinée dans la série de Daluis et plutôt verticale dans la série d'Illion.

c) Localisation

La schistosité est localisée dans la partie Nord-orientale du Dôme de Barrot. Toutefois, le Permien de l'extrême nord (ravin de Cabane Vieille - Coord. Lambert 970,7 - 206,2 et extrême nord des gorges du Cians). est peu affecté par la schistosité. Cette zone, située entre le Permien schistosé de la vallée de Raton, et les schistes de la vallée de la Tinée, semble avoir été plus ou moins "protégée" des compressions. Ce phénomène peut être dû à l'existence de failles antérieures à la compression (?).

d) Réaction à la compression selon les niveaux

La série de Daluis présente une schistosité de direction assez constante dans les gorges du Cians; cette schistosité est généralement une schistosité de flux, sauf dans quelques bancs compétents où la déformation a été souvent plus discontinue (schistosité de fracture).

Dans la série d'Illion, la schistosité apparaît essentiellement près des failles anciennes. Cependant, sa direction est restée sensiblement NW-SE, sauf aux abords immédiats de ces accidents, qui, rappelons-le, sont nés avant la fin de la phase de compression majeure.

Cette différence peut être due aux valeurs différentes des seuils de plasticité des roches composant ces séries, ou simplement au fait que les pélites de Daluis, en position plus profonde, supportent des pressions légèrement plus élevées. Le dôme se trouvant placé au "front supérieur de schistosité", il peut suffir d'une faible différence pour avoir apparition de la schistosité dans les roches.

Enfin, si un glissement du Permien du Barrot sur son socle s'est produit, les contraintes ont été sensiblement plus importantes dans la série inférieure (Daluis) que dans la série d'Illion-Léouvé.

La série de Léouvé et le Werfenien supérieur ne présentent en général aucune foliation d'origine tectonique. Cependant, une schistosité de fracture, très fruste, de même orientation NW-SE que dans les autres niveaux, apparaît parfois près des accidents anciens.

Le Werfenien inférieur, très compétent, ne montre jamais de schistosité ; il est fracturé.

II - Microfissuration et direction préférentielle d'allongement des mud-cracks

Des microfissures parallèles peuvent être la première ébauche d'une schistosité de fracture. Les mud-cracks, en général de forme polygonale régulière, ont parfois été déformés et présentent une direction préférentielle d'allongement. Nous allons rechercher si de telles traces de compression existent dans le Dôme de Barrot.

1°/ Zones de transition entre roches schistosées ou non

Dans les roches à faciès d'Illion, microfissuration et direction préférentielle d'allongement des mud-cracks sont très visibles. Nous n'en avons pas observé dans la série de Daluis.

Sur toute la rive gauche du Cians existe un réseau de petites fissures, irrégulières, mais pratiquement parallèles. Elles sont très proches les unes des autres (au plus 1 cm de distance). Leur direction correspond à celle des plans de schistosité des zones voisines.

A l'approche des secteurs schistosés, les microfissures deviennent plus régulières et plus nombreuses. Le passage à la schistosité de fracture est progressif.

Dans les régions où la roche est microfissurée ou schistosée, les mud-cracks montrent une direction préférentielle d'allongement. Celle-ci est orientée NW-SE comme les microfissures et la schistosité.

Microfissures et direction préférentielle d'allongement des mud-cracks existent autour des zones schistosées d'Illion et du Barrot. Elles ne forment là qu'une zone étroite (20 m en moyenne) entre ces secteurs affectés par la schistosité et ceux dépourvus de traces visibles de compression.

2°/ Ensembles isolés de microfissures

Des microfissures existent le long de plusieurs accidents à l'Ouest du sommet du Barrot :

a) Des diaclases sont associées à une faille située 150 m à l'Ouest du Lavigné (Coord. Lambert 965,4 - 205,0) (direction 210° et inclinaison 80°) Elles sont parallèles à cet accident et sont déformées. L'ensemble est entouré de microfissures dirigées. NW-SE.

b) Un accident sub-horizontal, apparemment peu important est situé 100 m à l'Ouest du précédent (Coord. Lambert 965,0 - 204,7). Des microfissures de même direction affectent son pourtour.

c) Deux failles, situées en dessous du Bancaïroun (Coord. Lambert du point de rencontre 961,9 - 205,8) sont également accompagnées par des microfissures, mais celles-ci sont beaucoup moins nettes que dans les cas précédents.

Dans ces différents secteurs, la direction des microfissures, indépendante de celle des accidents, est NW-SE. Ces microfissures apparaissent dues à la même cause que la schistosité dans la région d'Illion: elles sont apparues lors de la phase de compression majeure, le long d'accidents pré-existants. Les contraintes n'ont pas été suffisantes pour faire naître une véritable schistosité de flux. Il existe seulement là une amorce de schistosité de fracture.

III - Rejeu ou déformation d'accidents antérieurs à la phase de compression majeure

Il a été montré plus haut que des accidents anciens avaient été déformés ou avaient rejoué pendant la phase de compression qui fit naître la schistosité.

Le présent chapitre résume les données acquises sur l'évolution de ces accidents.

1°/ Rejeu

a) Rive gauche du Cians

L'accident situé 1 km au Nord de la Tête des Caires (Coord. Lambert 972,8 - 203,6) est formé par un ensemble de cassures parallèles, subhorizontales et proches les unes des autres. La direction moyenne de ces fractures est NW-SE. Une seule d'entre elles a joué en chevauchement, avec formation d'un crochon de faille. En même temps les autres cassures ont été plissées (Fig. 8).

La schistosité recoupe le crochon, montrant que l'accident est probablement antérieur à la phase de compression majeure.

Cependant, cette schistosité ne se retrouve pas dans la brèche de faille. L'accident peut donc avoir joué également pendant cette phase de serrage ou immédiatement après. Compte tenu de leurs directions, les stries (inclinaison 12° Nord-Est) du miroir de faille (direction 55°, inclinaison 12°) pourraient être apparues pendant ce rejeu, dû lui-même à des compressions dirigées NE-SW.

b) Vallon de Raton

Les accidents 3 et 4 d'Illion, dirigés ENE-WSW, ont rejoué en décrochement pendant la phase de

Fig. 14 : Structures existant pendant la phase de compression alpine, repérées par coordonnées Lambert (Il existe probablement d'autres accidents anciens dans le Dôme de Barrot, mais dont l'âge ne peut être mis en évidence).
Les accidents n° 6 b, 7 a et 16 sont apparus lors de cette phase, les autres sont plus anciens. Le groupe auquel appartient chaque accident est indiqué entre parenthèses.

1	:	Faille pli (C)	: 974,4 - 203,6
2	:	Horst (C)	: 974,1 - 203,8
3	:	Accident sub-horizontal (C)	: 972,8 - 203,6
4	:	Faille-pli (C)	: 970,5 - 204,8
5	:	Faille-pli (C)	: 969,3 - 204,4
6 a	:	Faille avec rejeu en décrochement (A)	(968,8 - 204,1
6 b	:	"Léouvé" chevauchant	(
7 a	:	Werfenien chevauchant	(968,6 - 204,15
7 b	:	Faille en décrochement (B)	(
8	:	Faille avec rejeu en décrochement (A)	968,5 - 204,25
9	:	Faille (verticale ?) (C)	968,0 - 204,0
10	:	Accidents à l'Est des Granges d'Auvare (A et B, C ?)	967,3 - 203,95
11	:	Faille verticale (C)	968,4 - 203,25
12	:	Accident avec rejeu en décrochement (A)	968,5 - 203,2
13	:	Accident (C) (datant de la phase anté-werfenienne ?)	968,2 - 202,8
14	:	Accident subvertical (C)	967,5 - 202,8
15	:	Faille-pli (C)	965,4 - 205,0
16	:	Accident de type chevauchant	965,0 - 204,7
17	:	Failles du Bancairoun, point de jonction:	961,9 - 205,8
18	:	Accident à jeux successifs	970,3 - 199,1

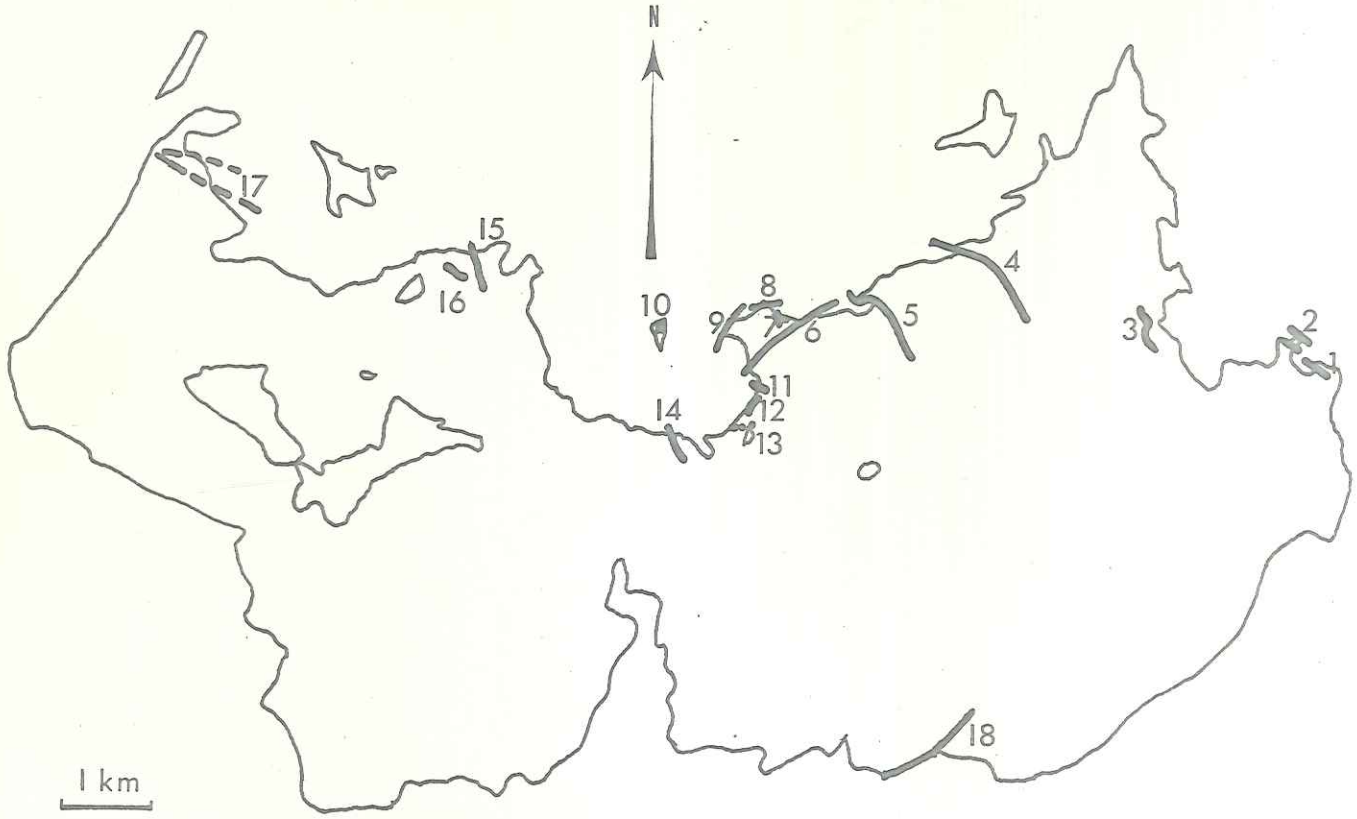


Fig. 14

compression majeure (voir précédemment). Certaines cassures secondaires, parallèles aux contacts majeurs, ont également rejoué.

Les stries associées aux miroirs de faille sont faiblement inclinées, vers le Nord Est ou vers le Sud-Ouest.

Il semble donc que, dans ce secteur, les différents panneaux de Werfenien inférieur se soient déplacés différentiellement, guidés par les accidents préexistants: Ceux-ci, subverticaux, ne sont pas tous parallèles. Ils découpent le banc de Werfenien inférieur en "lanières" ou en coin. Sous l'action des contraintes qui ont donné naissance à la schistosité, les différents blocs se sont déplacés, certains pénétrant dans les pélites permiennes, d'autres dans les niveaux relativement plastiques du Werfenien supérieur.

c) Flancs du Barrot

Comme nous l'avons montré précédemment, l'accident situé en face de la Tête de Rigaud (Coord. Lambert 968,5 - 203,2) a rejoué en décrochement pendant la phase de compression majeure.

Des stries (inclinaison 2° ENE), liées à ce rejeu sont bien visibles sur le miroir de faille (Direction 160°, inclinaison 80°).

d) Vallon de Ciavanette

Sur la rive méridionale au fond du vallon situé 300 m à l'Est du Ravin de la Nouguière (Coord. Lambert 970,3 - 199,1) existe un accident affectant les roches du faciès d'Illion, du Werfenien. Elle tranche aussi, sans que sa direction soit modifiée, les niveaux déformés du Trias moyen. Cette faille a donc joué après le décollement des terrains formant la couverture du Barrot.

Aucune schistosité, ni micro-fissuration n'a pu être mise en évidence près de ce contact. Cette faille est légèrement inclinée vers l'Est.

Les niveaux affectés par cette cassure portent des traces de deux déformations différentes (Fig.15, colonne de droite).

- un crochon de faille, à rayon de courbure de l'ordre du mètre, lié à un jeu inverse de l'accident.

- une déformation générale à plus grand rayon de courbure (de l'ordre du décamètre) liée au contraire à un jeu normal de la faille.

La figure 15 résume les différentes hypothèses (a à f) expliquant l'évolution de la faille :

- le jeu inverse peut être associé, soit à la phase de compression majeure, soit à une phase de compression ancienne, soit enfin à ces deux phases,

- le jeu normal a eu lieu pendant le soulèvement; il peut cependant avoir été amorcé au cours d'une phase antérieure.

2°/Déformation

a) Rive gauche du Cians

Les failles dirigées NW-SE et limitant le petit horst de Permien situé à 1 km au Sud des Cluots

---

Fig. 15 : Reconstitution des différentes évolutions possibles de l'accident situé 200 m à l'Est du Ravin de la Nouguière (Coord. Lambert 970,3 - 199,1).

La colonne de droite représente la structure actuelle.

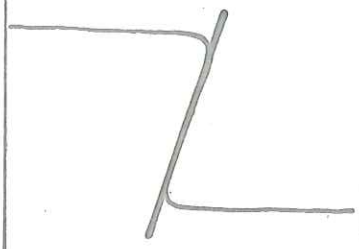
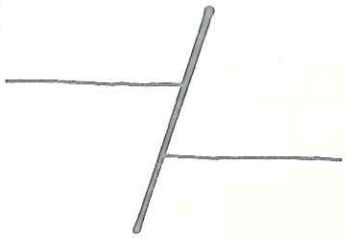
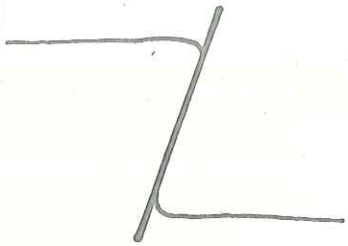
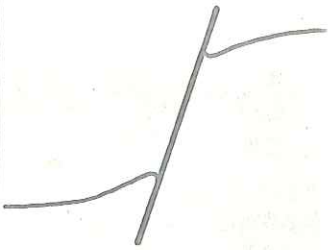
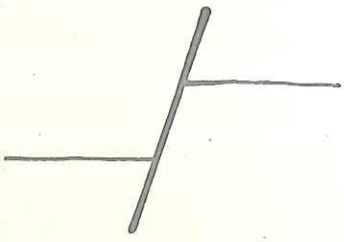
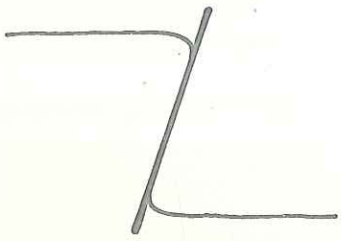
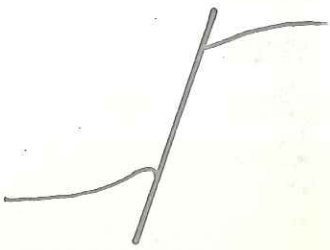
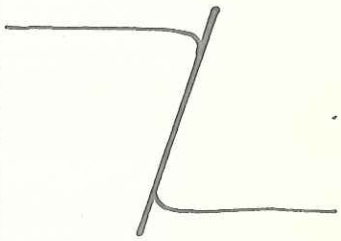
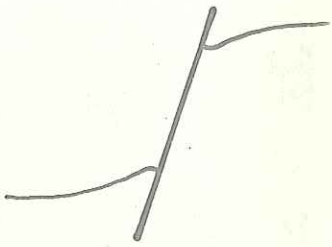
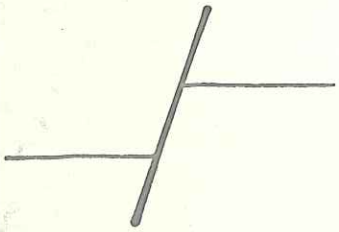
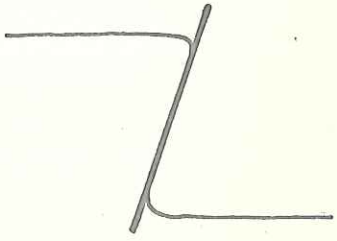
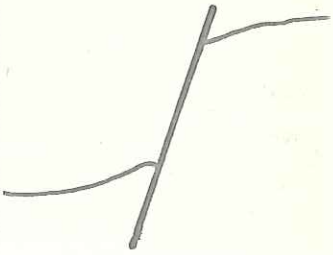
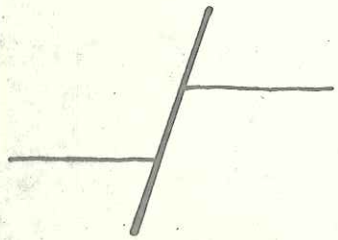
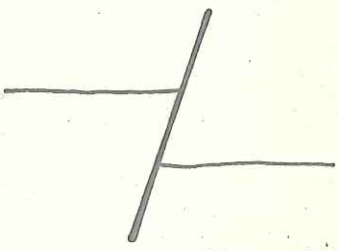
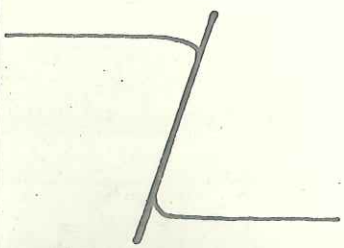
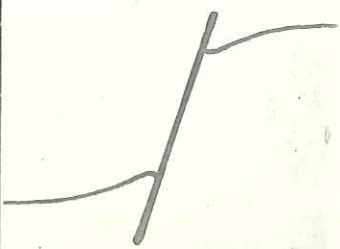
	Extension	Compression	Compression majeure	Extension (soulèvement)
a				
b				
c				
d				
e				
f				

Fig. 15

(Coord. Lambert 974,1 - 203,8) montre deux types de déformations :

- les failles, verticales dans le Werfenien deviennent des accidents chevauchants quand elles affectent le Permien. Bien qu'il existe probablement là une légère réfraction, il n'est pas douteux que les failles sont déformées.

- le long du contact nord, des blocs isolés de Werfenien ont pénétré dans le Permien. A leur pourtour se trouvent des diaclases plissées en "S" , soulignant le déplacement relatif de ces blocs par rapport aux pélites (voir sur la fig.16 des diaclases en "S" ayant une origine similaire).

La schistosité n'est pas déformée en "S" au niveau de ces diaclases: la pénétration de ces blocs s'est donc faite avant ou pendant la formation de la schistosité.

Comme nous l'avons montré précédemment, les failles limitant le horst de Permien sont antérieures à la compression majeure. Lors de cette dernière, elles ont évolué en faille-pli (au sens de L. Glangeaud 1945).

A l'Est de ce secteur, un autre accident (Coord. Lambert 974,4 - 203,6) est aussi une faille-pli. Il est cependant beaucoup moins déformé.

b) Vallon de Raton

Les accidents 1 et 2 d'Illion, dirigés NW-SE (Fig. 9) sont aussi des failles-plis. Ceci est particulièrement net pour l'accident 2 (Fig. 10).

Le contact de faille, subvertical dans son ensemble, devient pratiquement horizontal sur une vingtaine

de mètres à l'endroit où les bancs de Léouvé du compartiment occidental pénètrent dans les pélites du Werfenien supérieur.

Ces niveaux Léouvé sont très fracturés et même parfois disloqués. Vers la base, près du contact anormal, des blocs de Léouvé ont été forcés dans les pélites. Ils sont entourés de diaclases en "S" (Fig. 16), soulignant le sens de leur déplacement relatif par rapport aux pélites. Le schistosité des pélites étant intacte, le déplacement des blocs rigides s'est fait avant ou pendant la naissance de celle-ci.

Il semble probable que ces mouvements aient eu lieu pendant la phase de compression majeure, en même temps que l'accident évoluait en faille-pli.

Le long du contact existent également des diaclases horizontales apparues lors de la formation de l'accident perpendiculairement à celui-ci. Ces diaclases sont remplies de quartz. Elles ont été plissées pendant la compression majeure (voir Fig. 17). La schistosité, de plan axial de ces plis, est subverticale.

c) Vallon d'Amen

L'accident situé 200 m à l'Ouest du Lavigné (Coord. Lambert 965,4 - 205, 0) montre la même évolution en faille-pli, mais beaucoup moins accentuée.

d) Gorges de Daluis

Les deux failles du Bascaïroua (Coord. Lambert de leur jonction 961, 9-205, 8) sont antérieures à la compression majeure (voir précédemment l'étude des microfissures). Le coin de Permien qu'elles

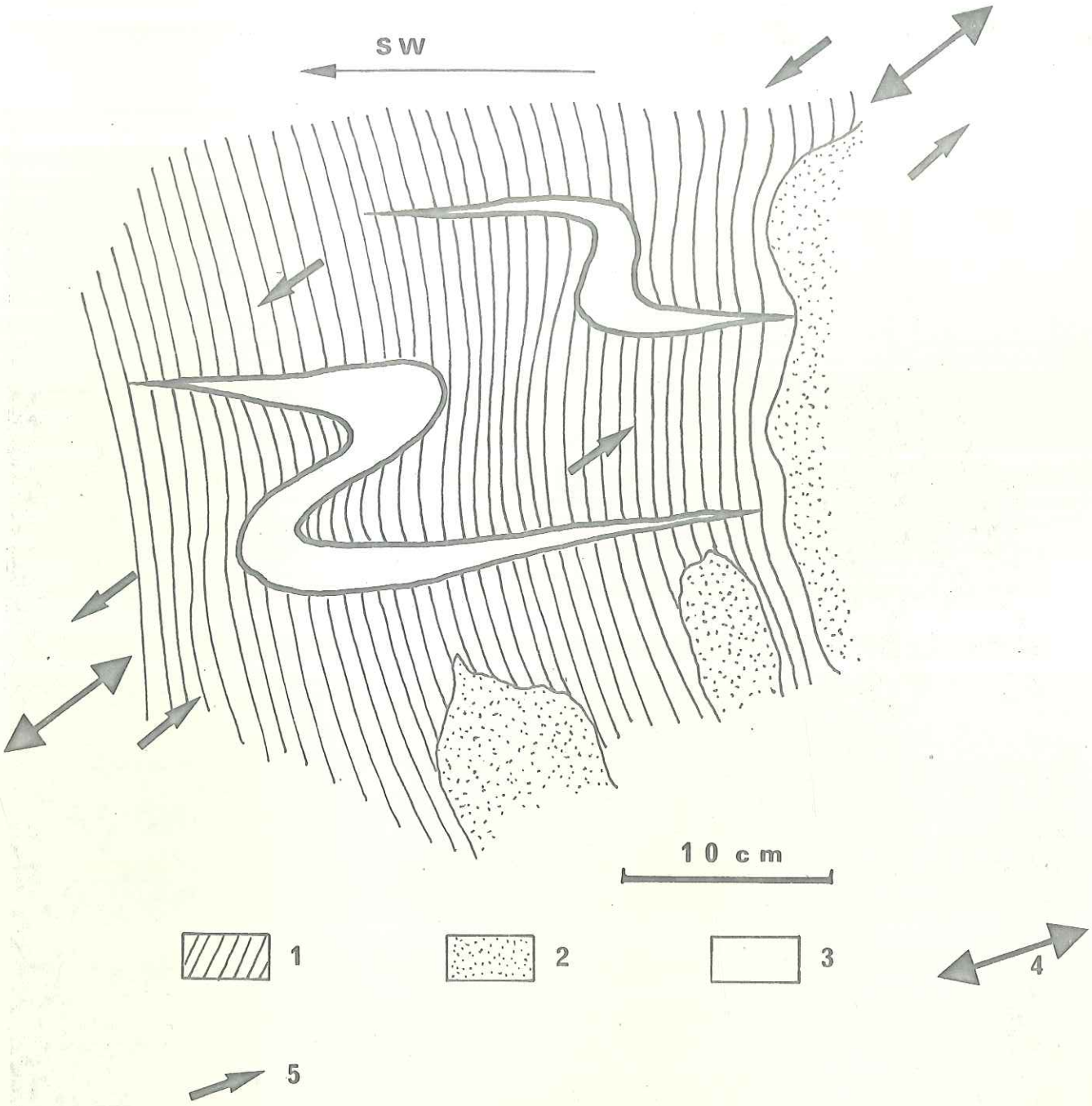


Fig. 16 COUPE DES DIACLASES PLISSEES EN "S":

1-Faciès d'Illion (avec schistosité).
2-Faciès Léouvé.
3-Diaclases (avec quartz)
4-Direction de "flexure" due au déplacement des blocs de Léouvé.
5-Sens du déplacement relatif.

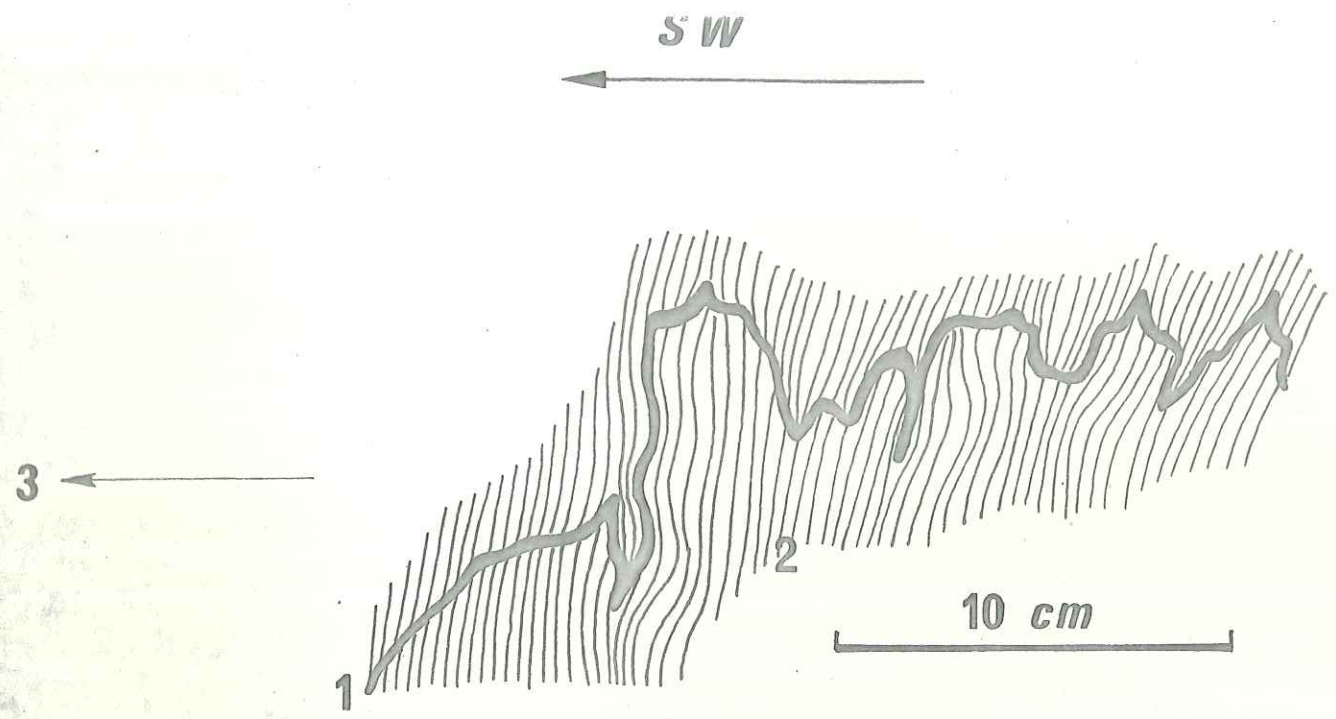


Fig. 17

DETAIL D'UN AFFLEUREMENT SITUE PRES DE L'ACCIDENT 2 D'ILLION:

1-Diaclase (remplie de quartz) plissée
2-Faciès d'Illion (avec schistosité)
3-Accident 2 d'Illion , 1 m à gauche

Cette diaclase , liée au jeu de l'accident 2 d'Illion , est antérieure à la phase de compression majeure. Lors de la formation de la schistosité , elle a été plissée (schistosité de plan axial).

délimitent, est écrasé. Cet écrasement s'est vraisemblablement produit pendant la phase de compression majeure (présence de microfissures soulignant l'existence de contraintes plus fortes en cet endroit). Il s'agit donc là d'une évolution en pincée (au sens de L. Glangeaud).

IV - Accidents apparus lors de la phase de compression majeure

Ce chapitre décrit des accidents qui paraissent être nés pendant la phase de compression.

1°/ Vallon de Raton

Près de l'accident 3 d'Illion, 15 m au Sud de l'extrémité de la barre werfenienne du compartiment occidental (Coord. Lambert 968,8 - 204,0), les bancs de Léouvé chevauchent légèrement les pélites d'Illion (Direction du contact 60 à 70° ENE, inclinaison 30° à 35°). La schistosité, verticale à quelques mètres de cet accident, devient tangente au contact de celui-ci. Elle affecte les blocs de pélites qui se trouvent dans la brèche de faille. Dans ces blocs, la schistosité, intacte, est parallèle au contact. Cet accident a donc joué pendant la phase de compression majeure.

De même, le Werfenien est localement chevauchant sur le Permien, entre les accidents 3 et 4 d'Illion (Coord. Lambert 968,6 - 204,15) (voir Fig. 11).

Dans ces deux cas, les niveaux rigides (Permien à faciès Léouvé, Werfenien inférieur) ont chevauché les niveaux plus plastiques (type pélites d'Illion).

2°/ Vallon d'Amen

400 m à l'Est de la Collette (Coord. Lambert 965,0 - 204,7) un accident de très faible amplitude correspond à un chevauchement des niveaux tendres de la série d'Illion par un banc dur, rigide (nombreuses couches à mud-cracks) de la même série.

3°/ Vallon de Ciavanette

L'accident (Coord. Lambert 970,3 - 199,1), près du ravin de la Nouguière, décrit précédemment, pourrait n'être apparu que lors de la phase de compression majeure (voir fig. 15).

V - Conclusions au chapitre "Microtectonique"

1°/ Traces de la phase de compression majeure

Les recherches détaillées montrent qu'il existe des traces indéniables (schistosité régionale) de la phase de compression alpine de l'Eocène terminal - Oligocène inférieur dans le Permien de la partie nord-orientale du massif.

Ces traces n'étant plus visibles dans les parties ouest et sud du Barrot, il sera nécessaire d'utiliser d'autres méthodes pour voir si ces secteurs ont été également comprimées (voir plus loin : recherches sur l'anisotropie de susceptibilité magnétique des roches).

2°/ Conditions de formation de la schistosité

Dans la série de Daluis, la schistosité existe en continuité dans les gorges du Cians (à l'exception de l'extrême Sud).

Dans la série d'Illion, la schistosité apparaît près d'accidents nés en même temps qu'elle et également près d'accident ancien. La microfissuration n'est générale que sur la rive gauche du Cians.

Il existait donc, pendant la phase de compression, des conditions de température et de pression, limites entre celles nécessaires à l'apparition d'une schistosité générale de flux et celles ne donnant pas de modifications structurales nettes de la roche (en dehors des zones de fractures).

Le secteur nord-oriental du Dôme de Barrot était donc situé à cette époque au "front supérieur de schistosité".

Localement, près d'accidents, des conditions suffisantes de température et de pression ont provoqué la formation d'une schistosité locale.

3°/ Orientation de la compression

La direction moyenne de la contrainte principale maximum était dirigée NE-SW dans la partie nord-orientale du massif alors que plus au Sud la direction est sensiblement NNE-SSW.

4°/ Relations avec le massif de l'Argentera

L'étude microtectonique détaillée de la région de Roubion - Saint-Sauveur de Tinée montre l'existence d'une schistosité générale, dirigée de 30° à 55° Nord-Est qui indique donc que la compression était là aussi dirigée NE-SW.

Les variations de pendage de cette schistosité sont très locales et semblent n'être apparues que lors de la phase de soulèvement final de l'Argentera ou à la suite de phénomènes récents (fauchage...)

C/ Tectonique antérieure à la phase de compression

I - Introduction

Les paragraphes précédents ont montré que des fractures étaient antérieures à la schistosité et avaient rejoué (décrochements, failles-plis, pincée) pendant la phase de compression alpine (Fig. 14).

Il est donc nécessaire de réexaminer la carte structurale décrite dans la première partie de ce mémoire, en se basant sur les résultats acquis par l'étude de la carte structurale et par l'observation microtectonique, pour tenter de définir la part d'éventuels phénomènes anciens (Etape (s) tectonique (s) précédant de peu la phase de compression, ou phase (s) plus ancienne (s)).

1°/ Différents réseaux d'accidents anciens

La figure 18 représente le diagramme en projection stéréographique des normales aux plans de failles antérieures à la compression (Fig. 14).

Trois groupes distincts apparaissent nettement :

- Groupe A : failles dirigées WSW - ENE
- Groupe B : failles dirigées NNE - SSW
- Groupe C : failles dirigées NW - SE

Les accidents qui ont joué en décrochement pendant la phase de compression appartiennent aux groupes A et B. Ceux qui ont joué en faille-pli appartiennent au groupe C.

Fig. 18: Normales aux plans de failles antérieures à la phase de compression majeure (protection stéréographique des directions dans la demi-sphère inférieure).

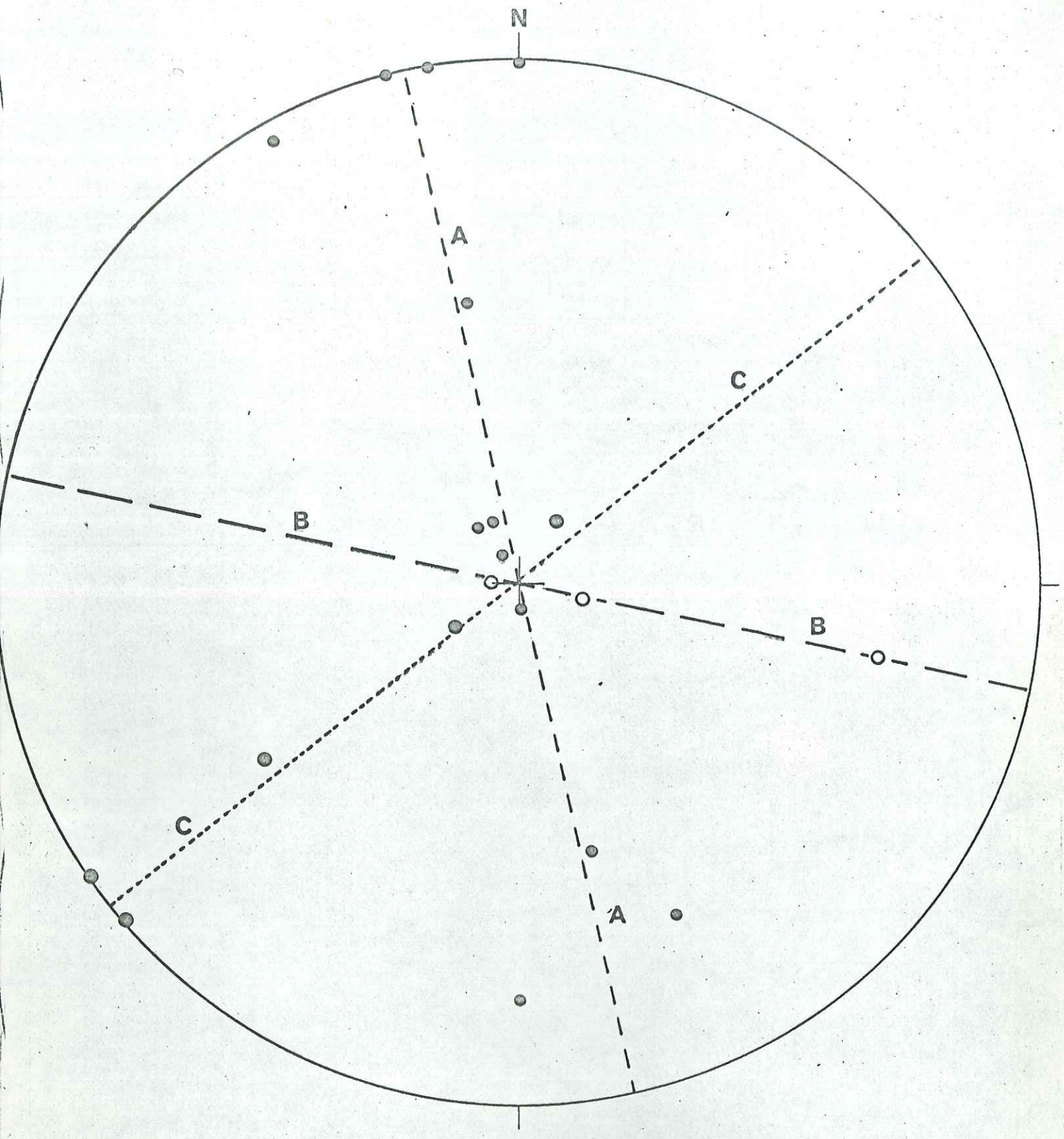


Fig. 18

2°/ Remarques

Rappelons qu'il existe en plus des accidents des groupes A, B, C, des fractures dirigées NE-SW (groupe D), d'autres N-S (groupe E) et d'autres E-W (groupe F). Les âges absolus et relatifs de ces trois derniers groupes ne peuvent actuellement être précisés. Il est cependant établi que certains accidents au moins appartenant à chacun des groupes (A, B, C, D, E et F) ont joué ou rejoué après la compression alpine. Les fractures NE-SW (groupe D) forment peut-être un réseau conjugué avec celles du groupe C. Celles dirigées N-S et E-W peuvent être aussi deux autres réseaux conjugués.

L'étude de la carte structurale montre que ces trois directions de failles anciennes (A, B et C) existent dans tout le Dôme du Barrot. Il faut bien souligner que dans le coeur du massif, certains de ces accidents peuvent ne pas être anciens (absence de schistosité et de microfissuration à leurs abords) Cette hypothèse n'est cependant étayée par aucune observation directe.

En traitant ici des groupes A, B et C nous devrons donc supposer que les accidents concernés sont de même âge à l'intérieur de chaque groupe pour tout le massif.

3°/ Age des accidents A, B et C

Nous avons montré précédemment que ces failles A, B et C sont antérieures à la compression alpine.

Sur le pourtour du massif, elles affectent Permien et "Werfenien". Elles sont donc postérieures à du "Werfenien.

II - Accidents dirigés WSW-ENE (Groupe A)

Les failles de ce groupe A, dont l'âge est certain (antérieur à la compression alpine) ont été mises en évidence entre Illion et le Dôme de Barrot.

Les accidents 3 et 4 d'Illion (Fig. 9) appartiennent à ce groupe.

L'accident 3, par exemple, est en fait constitué par un ensemble de cassures parallèles, qui se relaient pour abaisser le compartiment nord-ouest par rapport au compartiment sud-est. Le rejet vertical total est d'environ 100 m.

Les miroirs de faille ne portent aucune trace de déformations, comme d'ailleurs les bancs rocheux des différents panneaux limités par ces cassures. Cet accident, incliné à environ 60° vers le NW a joué en faille normale.

Cette disposition est celle de tous les accidents du groupe A, à l'exception d'une fracture située sur le flanc sud-est du Barrot (Coord. Lambert 968,5 - 203,2). La fig.13 montre, en effet, qu'elle a joué en faille inverse, avec un très faible rejet vertical (1 m). Il semble que cet accident ait d'abord été une faille directe, et ait ensuite rejoué dans l'autre sens pendant la phase de compression.

Le groupe A comprend également des failles qui ont une faible inclinaison: 30° à 35° dans la série de Léouvé, 200 m à l'Est des Granges d'Auvare (Coord. Lambert 967,3 - 203,95). Elles sont numérotées 1, 2, 3, 4 et 5 sur la figure 12. (La structure n° 9, de même orientation, est peut être aussi la trace d'un accident de type A ?).

En résumé, le groupe A comprend des failles directes ou verticales. Ces accidents sont souvent constitués par l'association de plusieurs cassures parallèles, aboutissant à la formation de "gradins successifs", avec abaissement des compartiments nord-Ouest. Les accidents du groupe A paraissent être nés pendant une phase tectonique d'extension.

III - Accidents dirigés NNE-SSW (Groupe B)

Comme ceux du groupe A, les accidents de type B dont l'âge est connu (antérieur à la compression alpine) sont situés dans la partie nord-est du Barrot.

1 - La figure 12 montre le détail de deux accidents de ce type (n° 6 et 7) situés 200 m à l'Ouest des Granges d'Auvare. Ils tranchent nettement les accidents A (n° 1, 2, 3, 4 et 5); ceux-ci n'ont pas rejoué par la suite.

L'âge de ces accidents de type B n'est pas établi là avec certitude, car ces fractures pourraient aussi être apparues en même temps que la schistosité.

2 - Non loin de l'accident chevauchant situé au Sud de la Cime de Raton se trouvent deux accidents de type B (Coord. Lambert 968,55 - 204,17). Ces fractures tranchent nettement les accidents de type A.

Dans le Werfenien inférieur, près des failles de type B, les accidents de type A ne sont plus marqués que par des alignements de filons quartzeux très plissés; les lèvres des accidents de type A ont été là complètement soudées (recristallisation).

Dans le Permien, les failles de type A et B sont parfois soulignées par des filons de quartz, continus et très plissés. Les filons qui accompagnent la faille de type B sont affectés par des plis synschisteux. La faille de type B est donc ici antérieure à la phase de compression et postérieure à l'accident de type A qu'elle décroche.

Il apparaît donc qu'au moins quelques-unes des cassures du type B existaient avant la naissance de la schistosité et étaient nées après celles du type A, dans des conditions vraisemblablement différentes (recristallisation apparue dans un matériau comprimé ?).

IV - Accidents dirigés NW-SE (Groupe C)

Les accidents d'âge ancien certain appartenant au groupe C sont des failles inversées (accident 1 d'Illion, accident sub-horizontal situé 1 km au Nord de la Tête des Caires, ...) ou verticales (accident 2 d'Illion, accidents limitant le horst de Permien situé au Sud des Cluots, ..) Le rejet vertical de ces fractures peut atteindre 100 m et leur regard est alors Sud-Ouest.

Près des failles de type C, les bancs de Léouvé ou de Werfenien sont très fracturés (fractures presque verticales) ou même disloqués. De nombreuses diaclases sont perpendiculaires au plan de faille (la figure 17 montre une diaclase horizontale, perpendiculaire au contact de faille vertical de l'accident 2 d'Illion).

Les accidents dirigés NW-SE paraissent être nés au cours d'une phase de compression (failles inverses...) Comme je n'ai pu observer d'intersection avec des types A et B, il m'est impossible d'établir une chronologie relative.

Il faut rappeler enfin que certains au moins des accidents de type C sont antérieurs à la phase de compression, puisque celle-ci les a déformés, en même temps qu'apparaissait la schistosité.

V - Remarque sur l'évolution de la fissuration, liée aux accidents de types A, B et C

Près des accidents A, B et C, des fissures existent dans le faciès d'Illion, sous les bancs de Léouvé. Larges de 1 à 10 cm, elles sont remplies de matériaux grossiers, de type Léouvé, et de teinte gris clair. Elles sont souvent inclinées et dessinent des figures en "croisillons", apparaissant en clair sur le fond rouge foncé des pélites d'Illion. La base des bancs de Léouvé a souvent cette même teinte gris clair.

Ces fissures et leur remplissage sont traversées par la schistosité.

Il est peu probable que ces fissures soient synsédimentaires. En effet, dans ce cas, elles existeraient également en dehors de zones d'accidents A, B ou C, ce qui n'est pas vérifié : elles semblent localisées près de ces accidents anciens.

Vraisemblablement apparues en même temps que les accidents A, B ou C, ces fissures se sont remplies de matériel provenant des bancs de Léouvé placés au-dessus (à la suite de circulations d'eau ?).

La teinte gris clair peut provenir d'un phénomène de réduction, lié aux circulations d'eau.

Ces fissures ont cessé d'évoluer, avant ou au moment de la phase de compression majeure, car elles sont affectées par la schistosité.

VI - Chronologie des phases A, B et C

Plusieurs hypothèses peuvent être envisagées pour expliquer l'apparition des réseaux de faille décrits plus haut.

a) Les accidents C seraient antérieurs aux accidents B.

L'évolution se serait produite en trois phases ou en trois étapes, l'ordre exact ayant pu être :

soit:		soit :
	C (compression)	A
	A (extension)	C
	B (compression ?)	B

b) Les accidents B et C seraient contemporains :

A (extension)

B-C (compression).

c) Les accidents C seraient postérieurs aux accidents B, et donc aux accidents B :

A (extension)

B (compression ?)

C (compression).

VII - Existence possible de structures anté-werfeniennes

Pour terminer ce chapitre, il reste à décrire les éventuels témoins d'une (ou des) phase (s) ancienne (s). Tel est l'objet de ce dernier paragraphe.

1°/ Faciès Léouvé

Le Permien de type Léouvé est généralement formé par des niveaux conglomératiques. Certains éléments de ces conglomérats sont constitués par des pélites.

L'origine de ces niveaux est probablement liée à des mouvements dans une (ou des) région (s) voisine (s) du Dôme de Barrot (zones alpines plus internes ou Estérel). Cette région aurait subi ensuite une érosion intense.

Sur le flanc oriental du Barrot, le Permien Léouvé renferme des blocs arrondis, atteignant 40 cm de long et constitués de roche gris clair à faciès Léouvé. La stratification, bien visible dans ces blocs, est totalement indépendante de celle des niveaux Léouvé rouge qui les englobent. La présence de blocs d'une certaine taille montre que la phase "Léouvé" a affecté des régions très proches du secteur étudié.

Or, à proximité de cette zone, se trouve un accident ancien, très déformé (groupe C), et qui n'affecte par le Werfenien. La présence d'éboulis, masquant le contact permo-werfenien, ne permet par de savoir si cette faille est réellement ancienne et s'arrête brutalement, ou si elle s'amortit vers le haut. La présence des blocs dans le faciès Léouvé, non loin de là, suggère que cet accident pourrait être anté-werfenien, mais aucune preuve de cette hypothèse ne peut être apportée.

2°/ Analyse du contact entre Permien et Werfenien

Une légère discordance entre ces niveaux existe dans le Dôme de Barrot, visible seulement en général à l'échelle du décamètre ou même à une échelle plus grande encore: en suivant un banc du faciès d'Illion sur une grande distance, il est en effet possible de mettre en évidence une discordance angulaire nette (quelques degrés) entre les bancs du Permien et ceux du Werfenien.
J. Vernet (1958) avait mesuré un angle de 5° entre ces deux niveaux vers le Pont des Roberts (Coord. 961,9 - 207,2).

Les niveaux permiens ont donc été affectés par des déformations à grand rayon de courbure (ou un basculement général). Cette phase, antérieure aux dépôts werfeniens, peut être considérée comme la phase palatine s.l., mais il faut rappeler ici que les niveaux que nous avons plus haut attribués au Werfenien inférieur ne sont en fait pas datés rigoureusement.

ETUDE DES PROPRIETES MAGNETIQUES DES ROCHES DU DOME DE BARROT

Sommaire

A/ Introduction 98

I - Plan de ce chapître 98

II - Prélèvement d'échantillons orientés 99

III - Taille des échantillons I02

IV - Mesure de l'aimantation rémanente I03

V - Mesure de l'anisotropie de susceptibilité magnétique I04

VI - Présentation des résultats I05

B/ Etude de l'anisotropie de susceptibilité magnétique I06

I - Résultats acquis par l'étude d'autres séries I06

II - Etude des résultats pris globalement I08

III - Etude des résultats groupés par série stratigraphique I26

IV - Directions générales des compressions I3I

V - Recherche des directions de paléocourants I36

VI - Rapport entre microstructures et anisotropie de susceptibilité magnétique I42

VII - Conclusion I5I

C/ Etude de l'aimantation rémanente I52

I - Rappel des résultats acquis par les travaux antérieurs I52

II - Etude des résultats I55

III - Rapports entre les conditions de sédimentation et l'aimantation rémanente I65

IV - Rapports entre les compressions et l'aimantation rémanente I65

Les observations microtectoniques résumées plus haut ont montré que le massif du Barrot avait été affecté dans sa partie nord orientale au moins par la phase de compression alpine.

L'allure des structures observées montre que les contraintes principales maximums étaient dirigées NE-SW dans la partie nord du massif et paraissaient s'infléchir vers le Sud pour prendre une direction NNE-SSW.

Il était donc interessant de savoir si l'ensemble du dôme avait été comprimé. L'étude des propriétés magnétiques des roches de l'ensemble du dôme nous permettra de répondre à cette question.

I - Plan de ce chapître

Dans la première partie, nous allons indiquer les méthodes que nous avons utilisé pour les prélèvements, les mesures et la présentation des résultats.

La deuxième partie de ce chapître sur le magnétisme sera consacrée à l'étude de l'anisotropie de susceptibilité magnétique. Nous commencerons par rappeller les résultats généraux obtenus par des mesures faites sur des roches sédimentaires, tectonisées ou non. Les directions obtenues par l'analyse de l'anisotropie de susceptibilité seront interprétées en tenant compte, tout d'abord de l'ensemble des échantillons, puis des roches de chaque série stratigraphique, et finalement des échantillons répartis par secteurs géographiques. Par ailleurs, nous chercherons si cette méthode permet d'obtenir, dans le dôme de Barrot, des directions de paléocourants. Nous terminerons par l'étude des relations qui existent entre structures tectoniques et directions principales de susceptibilité, utilisant pour cela des échantillons prélevés dans la vallée de la Tinée et quelques échantillons particuliers du Barrot.

La dernière partie portera sur les résultats des mesures d'aimantation rémanente. Ces résultats, après interprétation, nous ont donné une certaine direction. Nous pouvons la comparer à celles indiquées par des études antérieures, faites sur le Permien des Alpes occidentales (travaux de Bobier, Guillaume, Kruseman, Roche, Rutten, Van den Ende, Van Hilten, Wesphal, Zijderfeld...). Nous chercherons

ensuite les relations pouvant exister entre aimantation rémanente d'une part, et sédimentation et tectonique de l'autre. Nous verrons en particulier si des liaisons apparaissent entre les résultats acquis par les deux méthodes d'analyse magnétique: anisotropie de suceptibilité et aimantation rémanente.

II - Prélèvement d'échantillons orientés

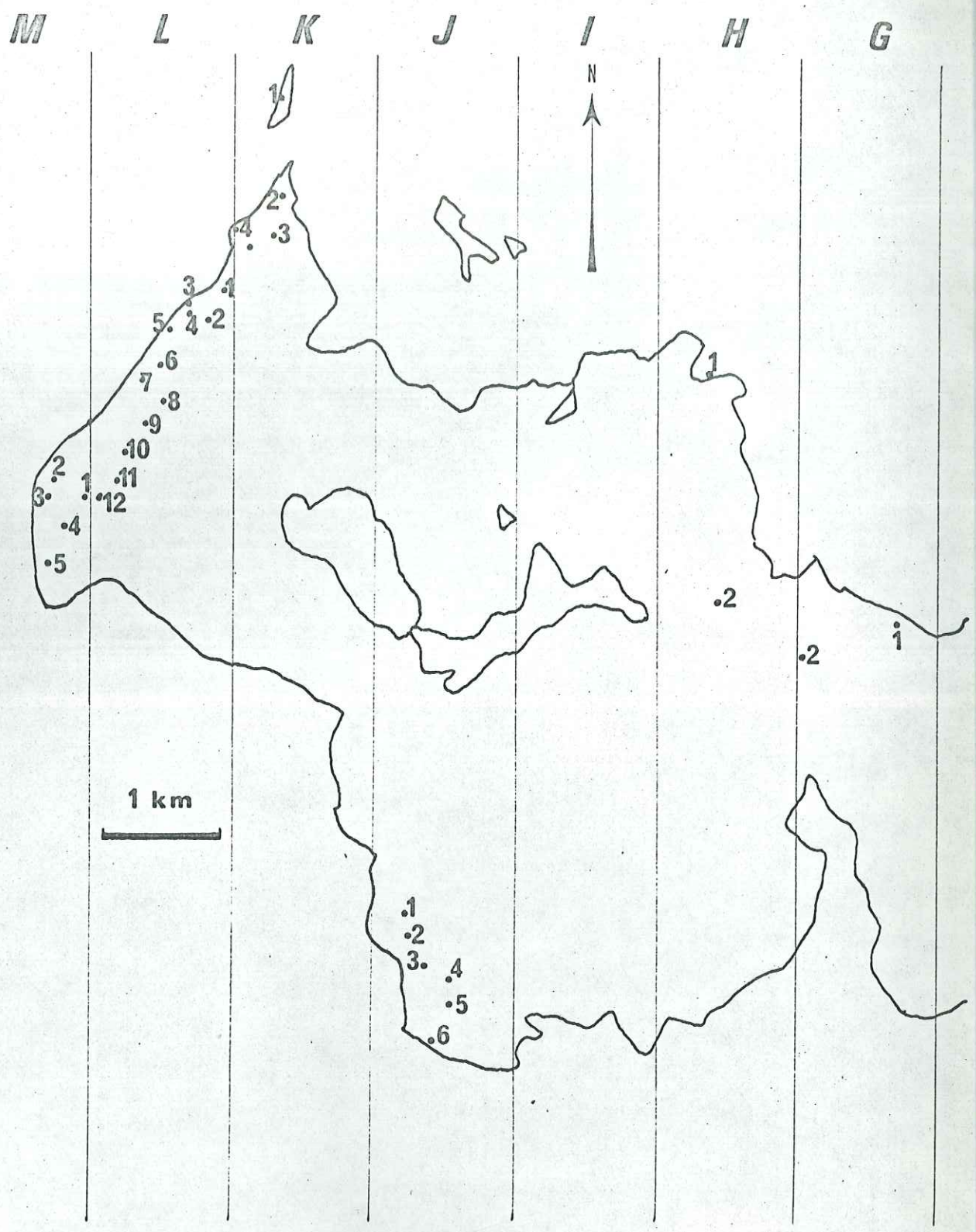
I°/ Sites de prélèvement

Les sites de prélèvement ont été choisis sur plusieurs itinéraires traversant le massif (sur les figures I9 et 20 ne sont portés que les échantillons ayant été mesurés). Ils sont en moyenne espacés de 200 m, mais dans certains secteurs, aucun échantillon n'a pu être ramassé. En effet, le choix précis de ces lieux de prélèvement est lié le plus souvent à la nature même de la roche: celle ci, dans la plupart des cas très friable, n'a pas facilement permit l'obtention de blocs d'une taille suffisante pour être mesurés à l'inductomètre ou au pendule de torsion.

La série d'Illion n'a, en général, fourni d'échantillons utilisables que dans les niveaux à mud-cracks, donc portant des traces de déformations non tectoniques. Quelques échantillons, très friables, prélevés dans ces niveaux, se sont réduits en débris fins pendant le transport, malgré un emballage épais. Plusieurs autres n'ont pu être taillés en cube malgré une consolidation par un vernis spécial. Le faciès d'Illion représentant l'essentiel des terrains à l'affleurement, ces difficultés expliquent l'absence sur de grandes étendues de sites de prélèvement.

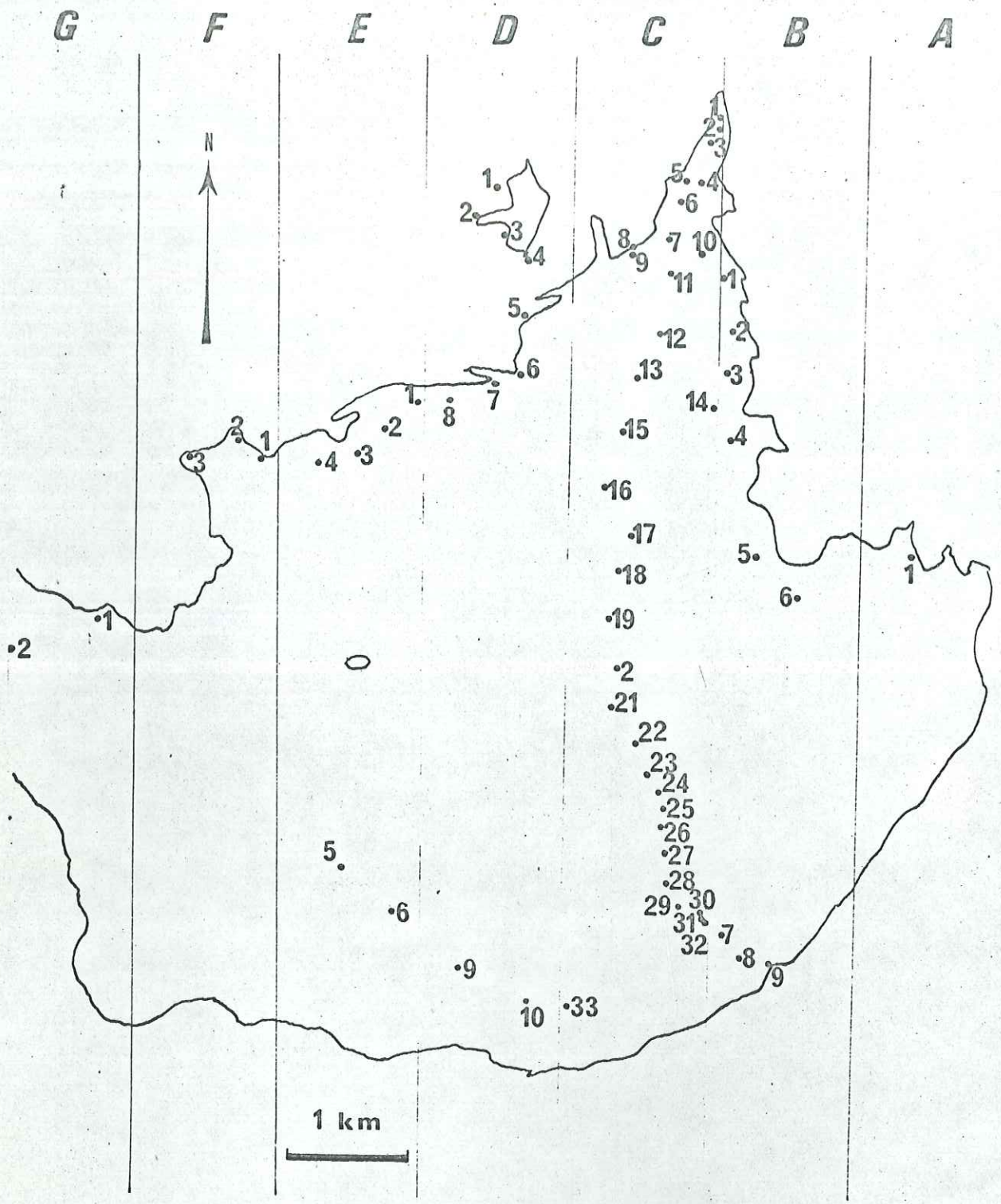
La série de Daluis, le faciès Léouvé et les niveaux werfeniens fournissent des échantillons de taille et de résistance suffisante. Toutefois, peu d'échantillons ont été prélevés dans le Permien de Léouvé et le Werfenien car ces roches ont une anisotropie très faible et difficilement mesurable. (Ceci avait été mis en évidence par des mesures préliminaires que nous avons effectué sur quelques échantillons.)

050 032368 0



CARTE DES SITES DES PRELEVEMENTS EFFECTUES EN VUE DES ETUDES SUR LE MAGNETISME DES ROCHES PERMIENNES

FIG. 19



Chaque échantillon est désigné par une lettre (suivant sa latitude) et un nombre (suivant sa longitude).

FIG. 20

2° / Méthode de prélèvement (E. Thellier 1938)

Le prélèvement comporte plusieurs temps:

- on réalise un chapeau de plâtre à face supérieure plane et horizontale, sur l'échantillon en place.
- on trace sur le plan horizontal la direction du Nord magnétique à l'aide d'une boussole.
- il ne reste plus qu'à dégager le bloc.

III - Taille des échantillons

Pour pouvoir effectuer les mesures magnétiques, les échantillons doivent être taillés en cube de 48 mm d'arête au maximum (300 g en moyenne).

Les arêtes du cube donnent trois directions orthogonales x, y et z qui ont été choisies comme repères pour les mesures:

- vecteur x : dans le plan horizontal, selon la direction du Nord magnétique.
- vecteur y : dans le plan horizontal, perpendiculaire au vecteur x, et dirigé vers l'Est.
- vecteur z : dirigé vers le bas, selon la verticale.

Cependant, des diaclases découpent souvent les échantillons selon d'autres plans. Il a été nécessaire d'effectuer la taille en prenant comme face du cube ces plans de diaclases, avec un trièdre (x', y', z') different de (x, y, z). Dans ce cas, pour chaque résultat de mesure, des calculs de réorientation permettent de revenir au trièdre de référence (x, y, z) défini plus haut.

IV - Mesure de l'aimantation rémanente

Les roches portent une aimantation rémanente naturelle (A.R.N.) qui peut être la somme d'une aimantation acquise lors de la pétrogénèse et d'aimantations parasites postérieures (par exemple aimantation rémanente visqueuse (A.R.V.) acquise par trainage dans le champ actuel, aimantations dues à la foudre). C'est pourquoi on prend généralement la précaution d'appliquer avant la mesure de l'A.R.N. des traitements qui permettent d'éliminer au moins une partie des aimantations parasites et de s'assurer que l'aimantation mesurée est stable. Les traitements appliqués sont ceux habituellement employés au Laboratoire de Géomagnétisme du Parc Saint Maur:

- méthode de séjour prolongé en champ nul pour éliminer la plus grande partie de l'A.R.V.

- traitement par champ alternatif (méthode de nettoyage magnétique) qui élimine les aimantations douces (E. Thellier et F. Rimbert 1954)

La mesure de l'aimantation rémanente est ensuite faite avec l'inductomètre à translation (L. Daly 1967). Schématiquement, celui ci comprend deux solenoïdes A et B montés en opposition. L'échantillon à étudier est déplacé du centre de la bobine A vers celui de la bobine B. Ce mouvement entraine une variation de flux magnétique dans ces bobines A et B, qui induit une f.e.m. mesurée à l'aide d'un galvanomètre balistique.

Seule la composante de l'aimantation rémanente orientée selon l'axe des bobines entraine la variation de flux. Une expérience de ce type permet donc de déterminer la valeur d'une composante de l'aimantation rémanente. Il suffit de connaitre la valeur des trois composantes selon les directions x, y et z pour calculer la valeur et la direction de l'aimantation rémanente.

On pratique ensuite une désaimantation par champ alternatif, les A.R.N. ainsi traitées étant mesurées successivement.

V - Mesure de l'anisotropie de susceptibilité magnétique

I°/ Méthode de mesure (pendule de torsion)

- L'échantillon est ensuite mesuré au pendule de torsion (L. Daly et R. Formont I969).

"L'échantillon, suspendu par un fil de torsion, est soumis à un champ magnétique alternatif dont on peut faire varier l'azimut dans le plan horizontal. Du fait de l'anisotropie de l'échantillon, le moment induit n'est pas dirigé selon le champ et il en résulte un couple. Les mesures des couples, pour differents azimuts du champ et des positions convenables de l'échantillon, permettent de déterminer l'anisotropie. L'action d'un champ alternatif permet d'éliminer l'effet d'une aimantation rémanente éventuelle dont le couple s'inverse à chaque alternance" (L. Daly, Thèse, I970).

Cette méthode permet de savoir si les axes ainsi déterminés sont les axes principaux de susceptibilité maximale, intermédiaire ou minimale, avec leur valeur relative de susceptibilité principale l_A, l_B et l_C.

Ces valeurs sont proportionnelles aux différences des valeurs réelles de susceptibilité principale, prises deux à deux.Par exemple:

$$l_A = n \cdot (K_A - K_B)$$

$$l_B = n \cdot (K_B - K_C)$$

$$l_C = n \cdot (K_C - K_A)$$

où K_A, K_B et K_C sont les valeurs de susceptibilité principale, respectivement maximale, intermédiare et minimale.

2°/ Calcul du paramètre q

Le paramètre q se définit comme le rapport de la linéation à la foliation:

$$L = (K_A - K_B) / \overline{K}$$

$$F = \left\{ (K_A + K_B) /2 - K_C \right\} / \overline{K}$$

avec $\overline{K} = (K_A + K_B + K_C) / 3$

$$q = \frac{L}{F} = \frac{K_A - K_B}{\left\{ \frac{K_A + K_B}{2} \right\} - K_C}$$

La mesure au pendule de torsion ne donne pas les valeurs de K_A, K_B et K_C. Mais les quantités l_A, l_B et l_C qui sont les valeurs relatives de susceptibilité respectivement maximale, intermédiaire ou minimale, permettent également de calculer ce paramètre q :

$$q = \frac{-2}{3} \cdot \frac{l_A - l_B}{l_C}$$

Ce paramètre q peut varier de 0 (foliation sans aucune linéation) à 2 (linéation très marquée).

VI - Présentation des résultats

Les résultats ont été présentés le plus souvent sur des diagrammes en projection stéréographique à égale surface.

Pour l'aimantation rémanente, nous obtenons un vecteur qui se représente par un seul point sur la sphère de projection.

Dans le cas des axes principaux de susceptibilité, nous avons des directions perçant la sphère de projection en deux points diamétralement opposés. Nous avons choisi la direction qui perce la demi-sphère inférieure.

Pour chaque mesure, une correction de pendage a été effectuée: recherche de l'orientation des directions mesurées par rapport au plan de stratification.

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GÉOSCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53
F. 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
Mail : plalour@ujf-grenoble.fr
19 AOUT 2003

B/ Etude de l'anisotropie de susceptibilité magnétique

I - Résultats acquis par l'étude d'autres séries

1°/ Roches sédimentaires non tectonisées

Une roche sédimentaire non tectonisée présente en général des propriétés magnétiques suivantes:

- axe maximal dans le plan de stratification, indiquant généralement la direction des paléocourants.
- axe intermédiaire dans le plan de stratification, perpendiculaire à l'axe maximal.
- axe minimal perpendiculaire au plan de stratification.
- faibles valeurs pour le paramètre q:(la stratification est la foliation dominante).

2°/ Roches sédimentaires présentant une foliation d'origine tectonique

Dans ce cas, le plan de facile aimantation (contenant les axes maximal et intermédiaire de susceptibilité) n'est plus le plan de stratification, mais le plan de foliation tectonique. Les propriétés de la roche sont alors modifiées:

- axe maximal de susceptibilité magnétique dans le plan de foliation, généralement selon une linéation.
- axe intermédiaire dans le plan de foliation, perpendiculaire à l'axe maximal.
- axe minimal perpendiculaire au plan de foliation.
- paramètre q souvent faible.

3°/ Evolution d'une roche soumise à des compressions

L. Daly (1970) a montré que le paramètre q, faible dans une roche purement sédimentaire, augmente progressivement au cours de la déformation, en même temps qu'une linéation plus marquée apparait. Il décroit ensuite pendant la formation du plan de foliation d'origine tectonique.

N. Hamilton et A. I. Rees (1965) ont d'ailleurs utilisé cette augmentation du paramètre q pour établir un critère permettant l'élimination des roches sédimentaires déformées. En effet, pour faire l'étude des directions de paléocourants grace à des mesures d'anisotropie de susceptibilité magnétique, il est nécéssaire de travailler avec des échantillons "purement sédimentaires", non déformées. Hamilton et Rees rejettent systématiquement les échantillons qui ne présentent pas les caractères suivants:

- axe minimal approximativement perpendiculaire au plan de stratification.
- paramètre q inférieur à 0,50.

II - Etude des résultats pris globalement

1°/ Tableaux des résultats

Abréviations :

D : déclinaison I : Inclinaison

Dal: Daluis; Il: Illion; Lé: Léouvé; Wi : Werfenien inférieur

Ws : Werfenien supérieur

Echantillon				Intensité (A)	Axes principaux de susceptibilité						q
n°	Série	Pendage			Maximal		Intermédiaire		Minimal		
		D	I		D	I	D	I	D	I	
A 1	Il	30°	5°	4,1	115°	4°	25°	9°	226°	80	0,20
B 1	Il	30°	15°	10,5	317°	6°	225°	23°	62°	65°	0,60
B 2	Il	350°	10°	2,2	342°	10°	77°	9°	204°	76°	0,12
B 3	Il	30°	15°	5,2	287°	1°	17°	1°	151°	89°	0,36
B 4	Il	65°	15°	3,9	166°	1°	75°	6°	268°	84°	0,12
B 5	Il	230°	5°	9,0	318°	8°	68°	66°	226°	22°	0,33
B 6	Il	15°	5°	4,0	175°	2°	85°	4°	287°	85°	0,08
B 7	Dal.	120°	15°	4,3	124°	8°	34°	2°	292°	82°	0,27
B 8	Dal	120°	35°	3,3	117°	16°	20°	25°	236°	60°	0,66
B 9	Dal	120°	15°	8,0	106°	15°	9°	23°	227°	62°	0,67
C 1	Il	?	?	3,0	352°	19°	85°	6°	192°	70°	0,89
C 2	Il	?	?	3,1	348°	22°	245°	30°	107°	52°	0,48
C 3	Il	20	10°	4,4	157°	1°	67°	14°	250°	75°	0,41
C 4	Dal	40	13°	6,1	40°	1°	293°	86°	130°	4°	0,32
C 5	Il	320	10°	3,6	160°	6°	252°	15°	49°	74°	0,66

Echantillon				Intensité (A)	Axes principaux de susceptibilité						q
n°	Série	Pendage			Maximal		Intermédiaire		Minimal		
		D	I		D	I	D	I	D	I	
C 6	Dal	40°	5°	4,6	150°	11°	59°	6°	259°	78°	1,69
C 7	Dal	40°	10°	5,9	282°	27°	33°	36°	165°	42°	1,24
C 8	Il	50°	10°	5,5	311°	1°	45°	8°	217°	82°	0,21
C 9	Il	70°	20°	4,2	159°	5°	66°	25°	259°	64°	0,07
C 10	Il	50°	20°	4,2	344°	9°	66°	25°	234°	65°	0,04
C 11	Dal	10°	8°	4,0	321°	1°	52°	11°	224°	79°	0,66
C 12	Dal	0°	10°	4,3	331°	21°	227°	34°	87°	50°	1,38
C 13	Dal	30°	5°	4,3	311°	7°	44°	22°	205°	66°	1,33
C 14	Il	65°	5°	3,1	322°	2°	56°	7°	220°	83°	0,10
C 15	Dal	20°	2°	4,2	311°	6°	218°	30°	52°	59°	1,31
C 16	Dal	30°	20°	3,7	324°	9°	58°	26°	216°	63°	1,03
C 17	Dal	45°	25°	4,1	140°	10°	47°	20°	257°	68°	1,69
C 18	Dal	30°	35°	4,7	133°	5°	42°	12°	246°	76°	0,81
C 19	Dal	110°	10°	4,7	132°	3°	43°	8°	246°	81°	0,66
C 20	Dal	60°	18°	3,1	132°	5°	42°	11°	245°	78°	0,28
C 21	Dal	50°	18°	4,0	137°	1°	46°	39°	228°	52°	0,47
C 22	Dal	30°	10°	4,0	315°	1°	46°	47°	223°	43°	0,76
C 23	Dal	50°	35°	4,4	7°	27°	119°	36°	250°	42°	1,22
C 24	Dal	65°	22°	4,0	45°	23°	137°	4°	236°	67°	0,14
C 25	Dal	65°	23°	4,4	133°	3°	41°	31°	229°	59°	0,46
C 26	Dal	30°	23°	4,7	322°	11°	63°	44°	221°	43°	0,20
C 27	Dal	130°	12°	3,5	114°	12°	207°	11°	339°	73°	0,16
C 28	Dal	30°	23°	4,6	129°	3°	38°	32°	223°	58°	0,12

Echantillon				Intensité (A)	Axes principaux de susceptibilité						q
n°	Série	Pendage			Maximal		Intermédiaire		Minimal		
		D	I		D	I	D	I	D	I	
C 29	Dal	120°	10°	5,1	120°	14°	20°	34°	229°	52°	0,38
C 30	Dal	130°	15°	4,5	130°	19°	32°	22°	257°	60°	1,26
C 31	Dal	?	?	5,4	143°	7°	52°	10°	270°	78°	0,50
C 32	Dal	?	?	3,5	131°	8°	34°	41°	231°	48°	0,26
C 33	Dal	165°	50°	5,0	96°	20°	192°	16°	316°	63°	0,57
D 1	Ws	?	?	4,9	127°	4°	35°	24°	226°	65°	0,21
D 2	Wi	?	?	11,0	321°	14°	64°	43°	218°	44°	0,28
D 3	Ws	?	?	9,0	157°	31°	55°	18°	299°	53°	1,41
D 4	Wi	?	?	10,0	307°	27°	42°	8°	147°	61°	0,66
D 5	Ws	?	?	10,0	84°	13°	350°	1°	258°	76°	0,20
D 6	Lé	?	?	7,5	204°	66°	29°	23°	298°	2°	1,01
D 7	Il	?	?	3,8	149°	6°	246°	48°	55°	41°	0,96
D 8	Il	35°	28°	10,0	275°	80°	147°	6°	56°	8°	0,63
D 9	Dal	180°	50°	5,0	109°	30°	216°	28°	341°	47°	0,20
D 10	Dal	170°	60°	5,5	98°	28°	213°	38°	342°	39°	0,58
E 1	Il	35°	21°	3,0	307°	7°	216°	2°	111°	83°	0,20
E 2	Il	330°	6°	5,7	326°	3°	57°	9°	220°	80°	0,31
E 3	Il	50°	25°	4,4	226°	4°	133°	38°	321°	52°	0,86
E 4	Il	50°	20°	6,6	139°	1°	234°	78°	48°	12°	0,65
E 5	Dal	130°	30°	5,5	96°	9°	191°	28°	350°	60°	0,22
E 6	Dal	210°	33°	4,1	254°	26°	156°	15°	39°	59°	0,16
F 1	Il	10°	8°	4,2	220°	10°	125°	24°	331°	64°	0,22
F 2	Lé	280°	14°	6,2	147°	73°	269°	9°	2°	14°	0,51
F 3	Lé	350°	10°	7,0	180°	84°	347°	6°	77°	1°	0,88

Echantillon				Intensité (A)	Axes principaux de susceptibilité						q
n°	Série	Pendage			Maximal		Intermédiaire		Minimal		
		D	I		D	I	D	I	D	I	
G 1	Lé	330°	10°	10,5	320°	2°	86°	87°	230°	2°	0,32
G 2	Il	330°	12°	4,6	309°	17°	40°	2°	137°	73°	0,05
H 1	Wi	325°	30°	11,0	275°	6°	6°	16°	164°	73°	0,40
H 2	Il	270°	25°	3,5	338°	5°	246°	24°	78°	66°	0,11
J 1	Lé	?	?	10,8	74°	63°	302°	19°	206°	19°	1,61
J 2	Lé	230°	27°	6,0	80°	68°	266°	21°	175°	2°	0,89
J 3	Lé	280°	25°	6,0	130°	15°	308°	75°	40°	0°	0,54
J 4	Lé	235°	35°	10,0	83°	24°	332°	37°	197°	43°	0,66
J 5	Lé	230°	40°	5,5	48°	56°	293°	16°	194°	29°	1,18
J 6	Lé	260°	25°	10,0	25°	30°	290°	7°	188°	59°	0,42
K 1	Il	330°	20°	3,0	287°	24°	21°	9°	131°	64°	0,11
K 2	Il	355°	15°	2,9	309°	5°	40°	18°	203°	71°	0,18
K 3	Il	230°	15°	11,0	236°	22°	351°	46°	129°	36°	0,43
K 4	Il	20°	30°	3,0	103°	7°	10°	26°	207°	63°	0,08
K 5	Dal	310°	10°	5,7	329°	9°	237°	11°	99°	76°	0,62
L 1	Il	300°	12°	3,0	336°	14°	243°	10°	118°	73°	0,24
L 2	Dal	285°	10°	4,7	314°	16°	47°	12°	173°	70°	0,34
L 3	Il	300°	15°	10,0	106°	25°	212°	31°	345°	48°	0,34
L 4	Il	290°	10°	2,5	323°	10°	233°	0°	141°	80°	0,08
L 5	Il	270°	20°	2,4	320°	17°	226°	11°	107°	69°	0,08
L 6	Dal	280°	15°	2,6	205	11°	115°	1°	19°	79°	0,13
L 7	Dal	250°	10°	4,6	338°	19°	247°	4°	145°	70°	0,16
L 8	Dal	270°	16°	1,9	314°	11°	223°	10°	90°	76°	0,13

Echantillon				Intensité (A)	Axes principaux de susceptibilité						q
n°	Série	Pendage			Maximal		Intermédiaire		Minimal		
		D	I		D	I	D	I	D	I	
L 9	Dal	290°	10°	2,3	326°	10°	235°	4°	122°	80°	0,14
L 10	Dal	290°	10°	4,4	325°	9°	234°	6°	113°	79°	0,09
L 12	Dal	250°	15°	2,2	307°	22°	195°	41°	57°	40°	0,48
M 1	Dal	280°	20°	2,4	346°	15°	252°	13°	123°	69°	0,32
M 2	Il	255°	22°	2,2	268°	25°	1°	7°	106°	64°	0,07
M 3	Il	290°	23°	7,1	314°	16°	219°	19°	83°	65°	0,14
M 4	Dal	295°	15°	3,0	333°	20°	238°	13°	117°	66°	0,22
M 5	Il	210°	40°	4,0	282°	17°	183°	28°	40°	56°	0,07

2° / Diagrammes en projection stéréographique

a) Axes maximaux de susceptibilité

+ Sans correction de pendage (fig. 2I)

La majorité des axes maximaux est proche de l'horizontale (92 % à moins de 30° d'inclinaison, 48 % à moins de I0° d'inclinaison).Ils sont groupés autour de la direction NW-SE (65 % du total à moins de 30° de cette direction horizontale).

Quelques axes (8 %) sont au contraire plutôt verticaux.

+ Après correction de pendage (fig. 22)

La correction de pendage accentue cette séparation en deux groupements:

- très proche de l'horizontale (86 % à moins de 20° d'inclinaison, 69 % à moins de I0° d'inclinaison).
- voisin de la verticale

Fig.2I : Axes principaux de susceptibilité maximale (projection stéréographique, sans correction de pendage).

Fig.22 : Axes principaux de susceptibilité maximale (projection stéréographique, après correction de pendage).

Echantillons prélevés dans: I : la série de Daluis.
2 : le faciès d'Illion.
3 : le faciès de Léouvé.
4 : le Werfénien

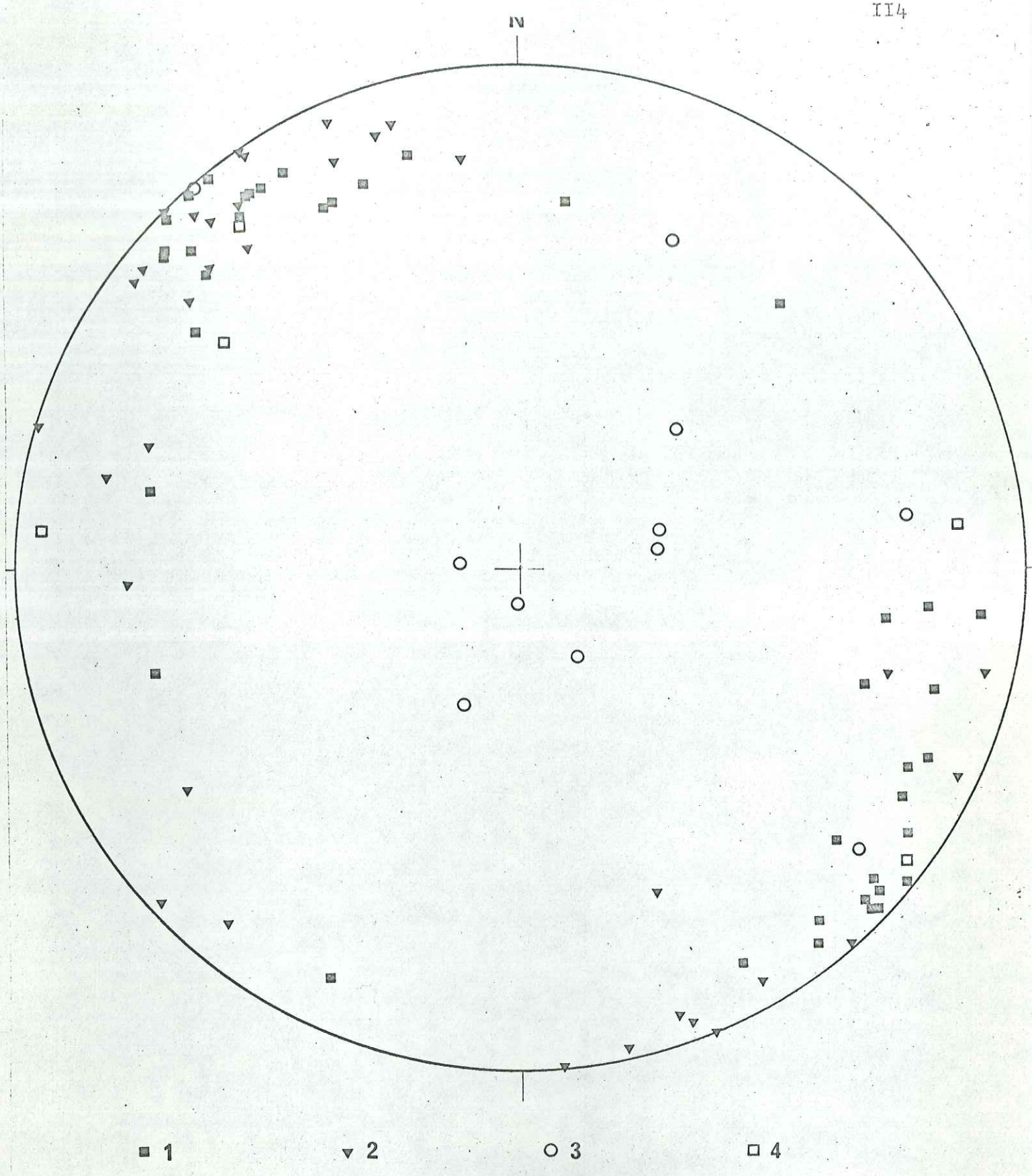


FIG. 21

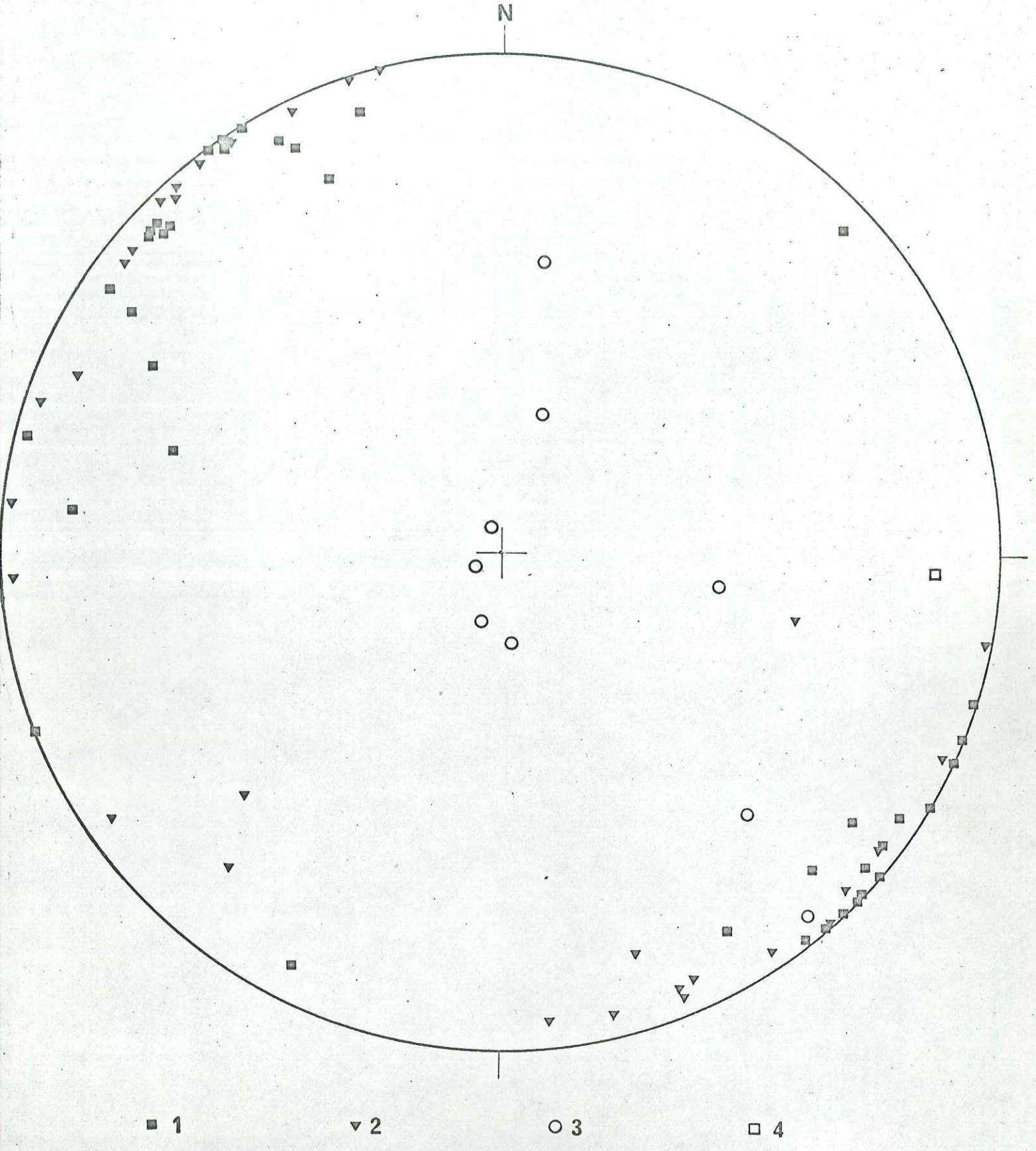


FIG. 22

+ Diagramme A de la figure 27

Ce genre de diagramme est destiné à faire apparaitre les directions selon lesquelles sont groupés le plus d'axes principaux de susceptibilité.

Le nombre d'axes dans chaque au centre de 10° est représenté par des rayons dont la grandeur lui est proportionnelle.

Sur le diagramme A qui concerne les axes maxi--maux, apparait une orientation dominante NW-SE très nette. Des axes maximaux se trouvent également, dispersés, jusqu'à 45° autour de cette direction et selon une orientation NE-SW (peu importante).

b) Axes intermédiaires de susceptibilité

+ Sans correction de pendage (fig. 23)

La dispersion des axes intermédiaires est beaucoup plus importante que celle des axes maximaux. La plus grande densité des axes intermédiaires apparait autour de la direction horizontale NE-SW.

+ Après correction de pendage (fig. 24)

La correction de pendage provoque un leger regroupement des axes autour de cette direction NE-SW, surtout dans la partie nord est du diagramme, indiquant par là une faible inclinaison vers le Nord Est de la direction moyenne de ces axes intermédiaires

+ Diagramme B de la figure 27

L'examen de ce diagramme B, concernant les axes de susceptibilité intermédiaire, confirme la nette prédominance de la direction NE-SW, la majorité des axes se situant vers le Nord Est.

Fig.23 : Axes principaux de susceptibilité intermédiaire (projection stéréographique, sans correction de pendage).

Fig.24 : Axes principaux de susceptibilité intermédiaire (projection stéréographique, après correction de pendage).

Echantillons prélevés dans: I : la série de Daluis.
2 : le faciès d'Illion.
3 : le faciès de Léouvé.
4 : le Werfenien.

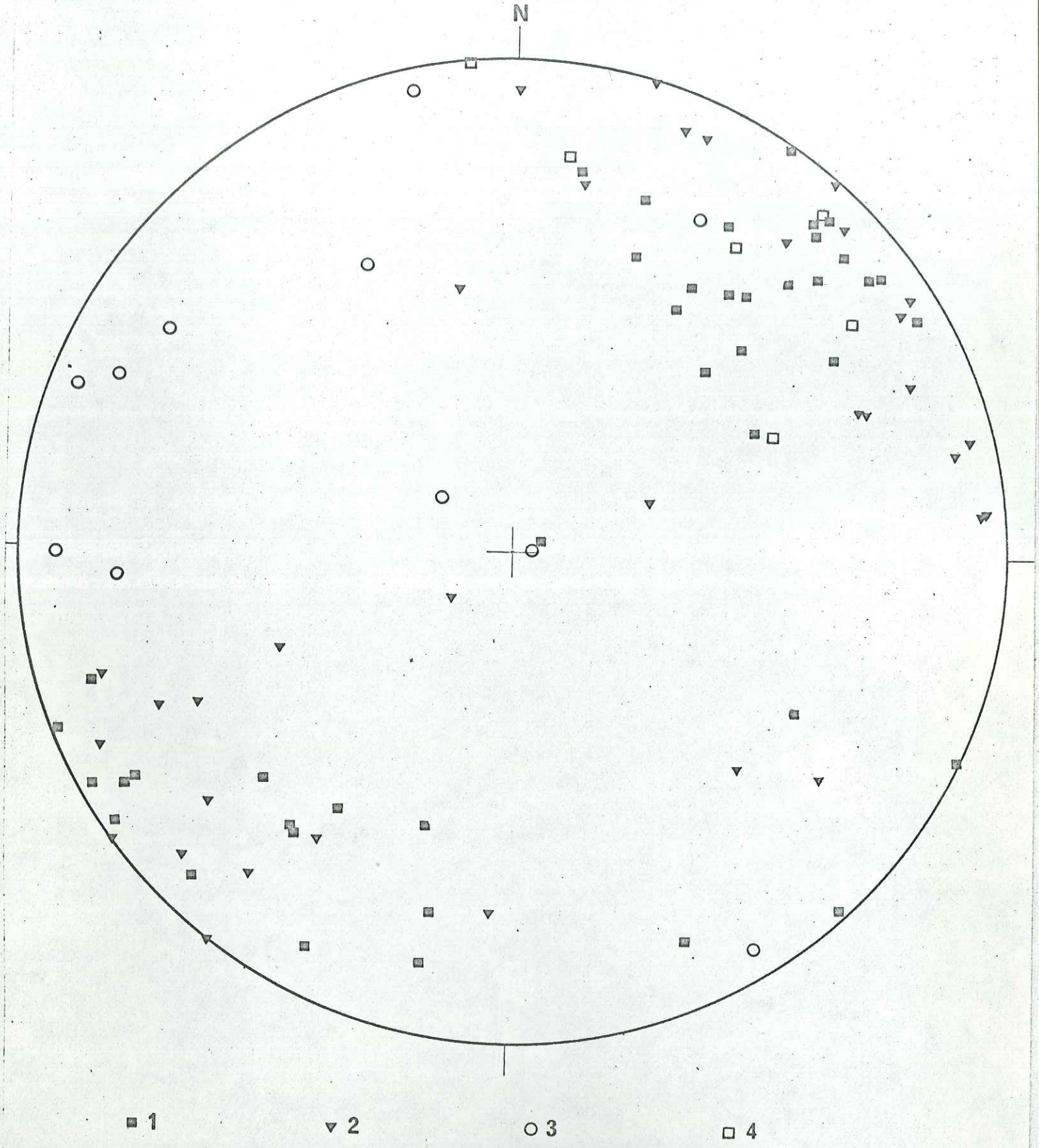


FIG. 23

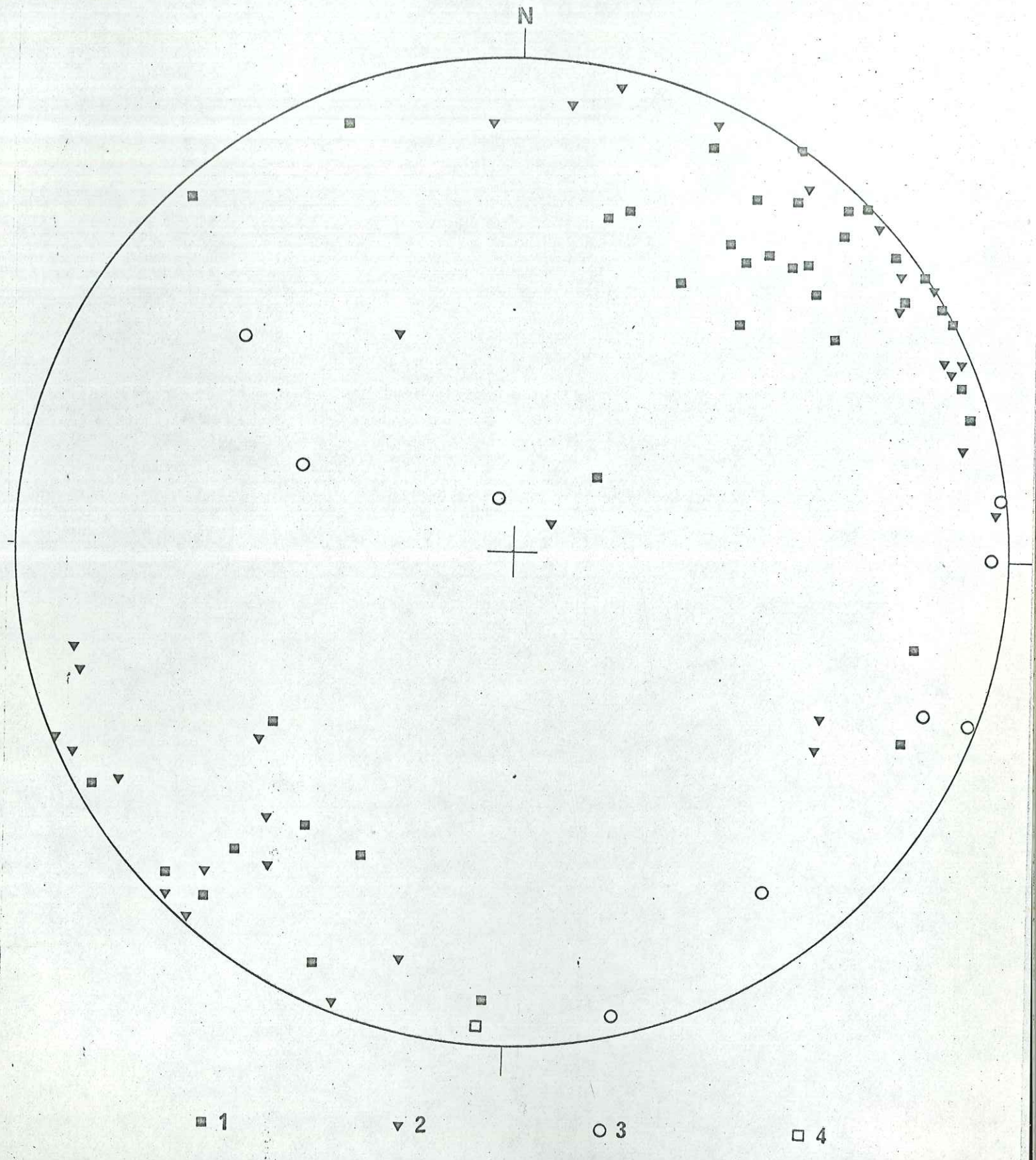


FIG. 24

c) Axes minimaux de susceptibilité

+ Sans correction de pendage (fig. 25)

Les axes minimaux, assez dispersés, sont pour la majorité situés autour de la verticale:

70 % à moins de 40° de la verticale.

34 % à moins de 20° de la verticale.

I3 % à moins de I0° de la verticale.

+ Après correction de pendage (fig. 26)

La correction de pendage provoque un regroupement très net des axes minimaux près de la verticale:

74 % à moins de 20° de la verticale.

37 % à moins de I0° de la verticale.

+ Diagramme C de la figure 27

Ce diagramme met en évidence une dissymétrie de la répartition des axes minimaux autour de la verticale: la majorité de ces axes se situe vers le Sud Ouest, montrant que la direction moyenne des axes minimaux est inclinée dans cette direction.

Fig.25 : Axes principaux de susceptibilité minimale (projection stéréographique, sans correction de pendage).

Fig.26 : Axes principaux de susceptibilité minimale (projection stéréographique, après correction de pendage).

Echantillons prélevés dans: I : la série de Daluis.
2 : le faciès d'Illion.
3 : le faciès de Léouvé.
4 : le Werfenien.

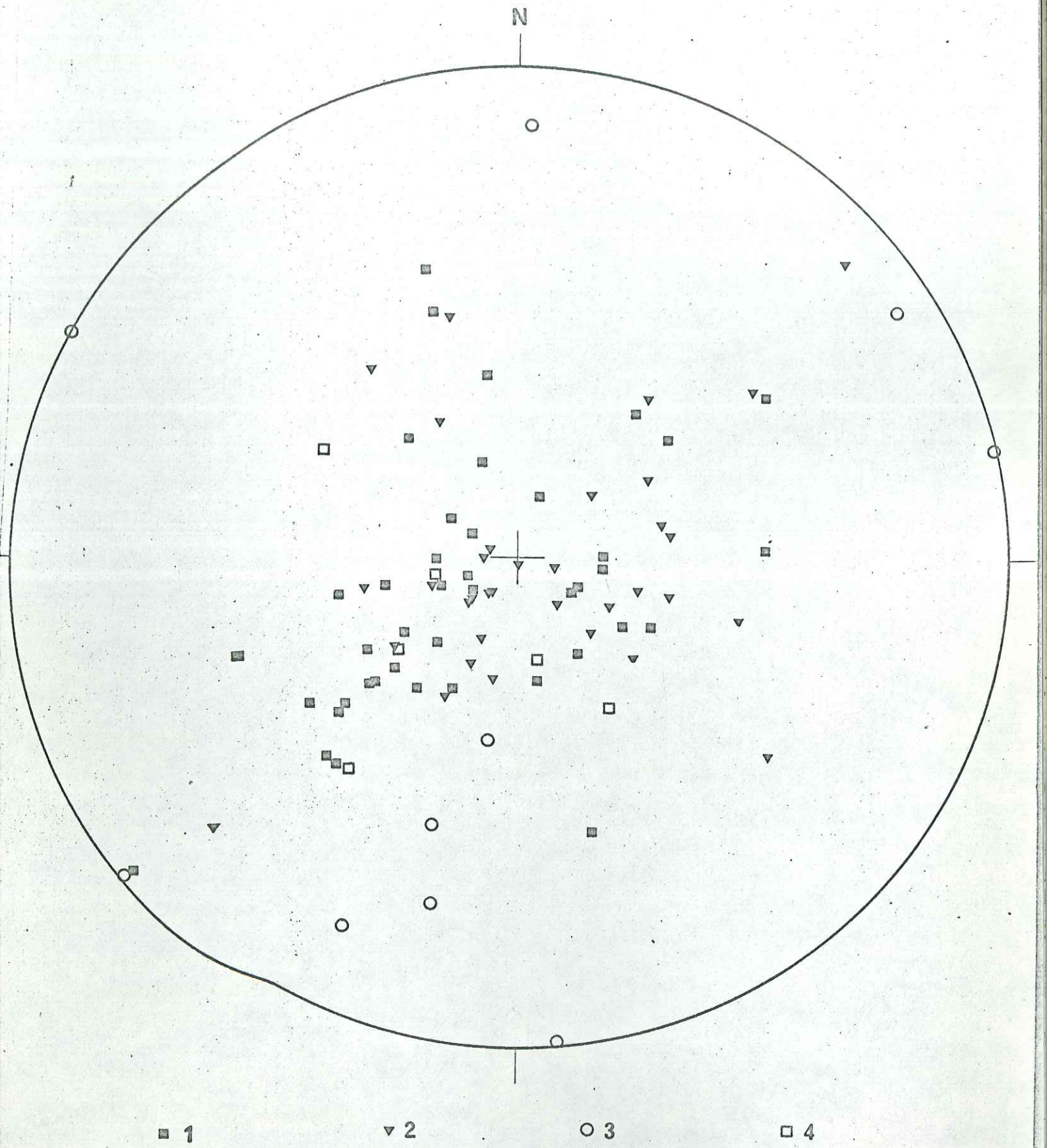


FIG. 25

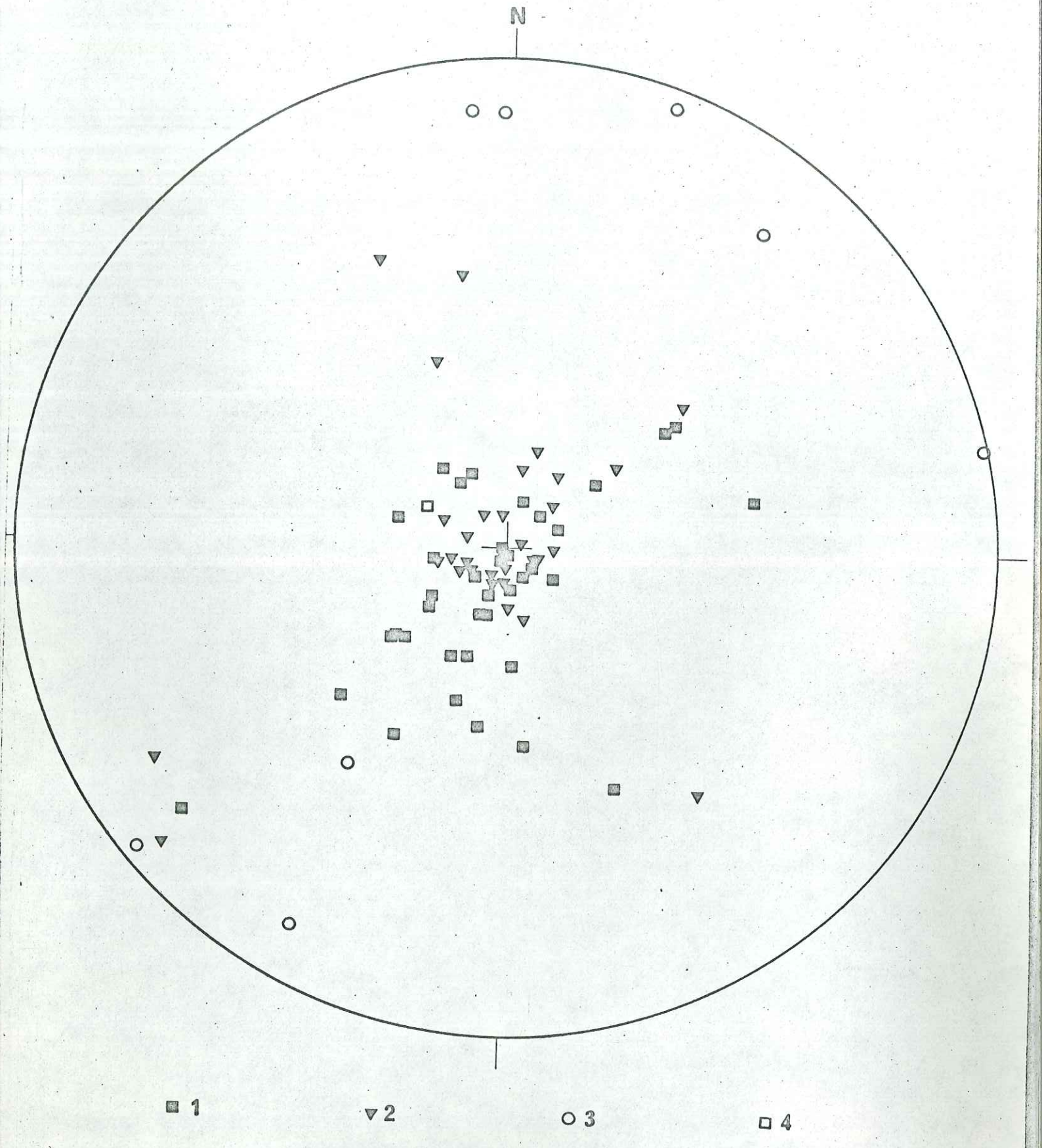


FIG. 26

3° / Paramètre q

Les valeurs du paramètre q varient entre 0,04 et I,69, la majorité étant comprise entre 0,I0 et 0,70.

4° / Conclusions

a) Le plan de facile aimantation est le plan de stratification (axes maximaux et intermédiaires de susceptibilité proches de l'horizontale; axes minimaux approximativement perpendiculaires à la stratification), comme dans les roches sédimentaires non tectonisées.

b) Les valeurs du paramètre q dépassent fréquemment 0,50, ce qui semble indiquer qu'un certain nombre d'échantillons (au moins) ont subi des déformations.

c) Les axes principaux de susceptibilité se groupent presque exclusivement autour de trois directions:

- direction horizontale NW-SE pour les axes maximaux.
- direction horizontale NE-SW pour les axes intermédiaires.
- direction verticale pour les axes minimaux.

Fig.27 : Nombre d'axes principaux d'anisotropie suivant l'orientation. (Directions choisies dans la demi-sphère inférieure, en projection stéréographique.)

A : axes maximaux.

B : axes intermédiaires.

C : axes minimaux.

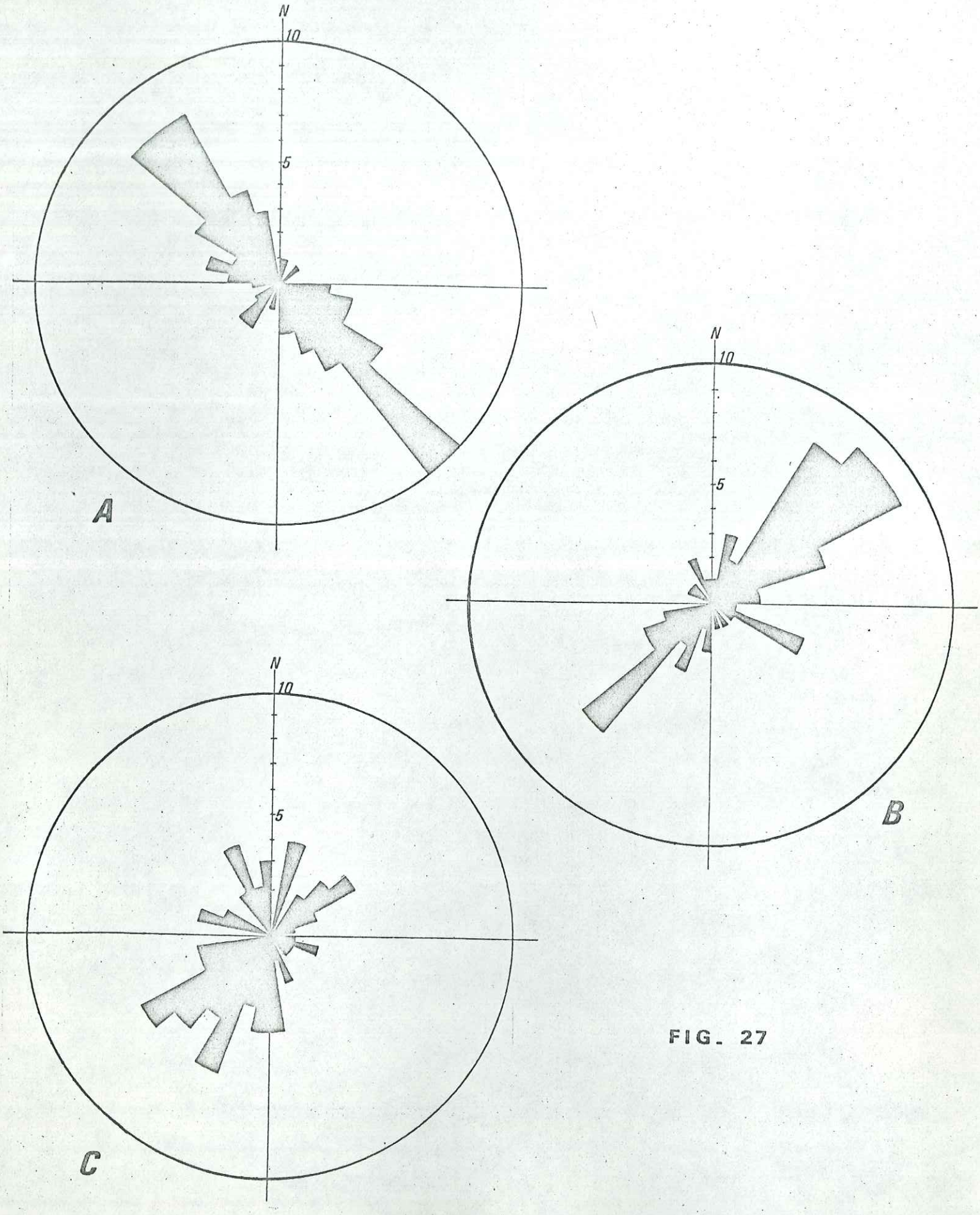


FIG. 27

La présence d'une seule population d'échantillons ayant des axes d'anisotropie de même orientation peut indiquer:

+ soit que toutes les roches du Barrot ont été déformées, même si leur paramètre q est faible,

+ soit que la direction des paléocourants (qui pourrait être indiquée par les maximaux de susceptibilité des échantillons ayant un paramètre q inférieur à 0,50) est perpendiculaire à la direction des compressions (révélée par perpendiculaire aux axes maximaux des autres échantillons) qui ont donné naissance aux déformations. Les axes maximaux liés à ces deux origines differentes sont alors confondus.

  Nous verrons ultérieurement que cette seconde hypothèse n'est pas valable dans le dôme de Barrot.

d) Les compressions ayant déformé au moins certains échantillons sont orientées NE-SW. Cette orientation coïncide avec celle obtenue par l'étude microtectonique: les déformations indiquées par l'anisotropie ont donc probablement la même origine que la schistosité observée dans la partie nord orientale du Barrot.

   L'anisotropie est toujours liée à la dernière phase de compression ayant affecté une région. La phase de compression alpine, qui a donné naissance à la schistosité et à l'anisotropie de susceptibilité, est donc la dernière phase de compression dans cette région.

e) Enfin, la direction moyenne des axes minimaux de susceptibilité diffère légèrement de la perpendiculaire au plan de stratification; celle des axes intermédiaires est également distincte du plan de stratification. Il est possible que ce soit signe d'un début de rotation du plan de "facile aimantation". Ce fait peut être en rapport avec l'existence des plans de schistosité décrits précédemment.

III - Etude des résultats pris par série stratigraphique

I°/ Série de Daluis

a) Description des résultats

En observant les diagrammes qui regroupent les résultats (fig. 2I à 26, et fig. 30),plusieurs constatations s'imposent:

- Les directions des axes principaux de susceptibili-té des échantillons de la série de Daluis correspondent aux directions mises en évidence au cours de l'étude des résultats portant sur tous les échantillons du dôme de Barrot:

  + Les axes maximaux et intermédiaires sont, pour le plus grand nombre, voisins de l'horizontale et dirigés respectivement NW-SE et NE-SW.

  + Les axes minimaux (fig. 26), bien groupés, ont leur direction moyenne inclinée de 80° vers le Sud Ouest.

- Les valeurs du paramètre q varient principalement entre 0,I5 et 0,70. Elles peuvent atteindre parfois des valeurs supérieures à I,30 (fig. 30).

b) Interprétation

Les valeurs du paramètre q étant relativement grandes (voir première partie de ce chapître sur les rapports entre déformations et valeurs du paramètre q), il semble que cette série de Daluis soit constituée essentiellement par des roches déformées.

Les axes maximaux ont une direction NW-SE, ce qui montre que les compressions (perpendiculaires à ces axes maximaux) étaient NE-SW.

Les axes minimaux sont toujours perpendiculaires au plan de facile aimantation qui contient les axes de susceptibilité maximale et intermédiaire. Ils sont, dans cette série de Daluis, inclinés de 80° en moyenne par rapport au litage sédimentaire: le plan de stratification ne coïncide donc pas avec le plan de facile aimantation.

2° / Série d'Illion

a) Description des résultats (fig. 2I à 26, et fig. 30)

Les axes principaux de susceptibilité des échantillons de la série d'Illion présentent des directions presque analogues à celles des axes principaux de la série précédente (Daluis) :

- axes maximaux et intermédiaires, très proches de l'horizontale et selon les directions respectives NW-SE et NE-SW.

- axes minimaux pratiquement verticaux.

Les valeurs du paramètre q sont, en grande majorité, inférieures à 0,50.

b) Interprétation

Les roches de la série d'Illion étant caractérisées, par une direction subverticale des axes de susceptibilité minimale d'une part, et par des valeurs du paramètre q souvent inférieures à 0,50 d'autre part, seraient des roches sédimentaires non déformées (selon les critères d'Hamilton et Rees I965). Nous verrons ultérieurement si ces critères sont valables pour cette série d'Illion.

3°/ Série de Léouvé

a) Description des résultats (fig. 2I à 26, et fig. 30)

Les directions des axes principaux de susceptibilité des échantillons de la série de Léouvé sont très differentes de celles obtenues par l'étude des séries précédentes:

- axes maximaux : leurs directions approchent de la verticale, avec des inclinaisons variables.
- axes intermédiaires : ils sont peu groupés, leur direction moyenne étant WNW-ESE.
- axes minimaux : ils sont dispersés autour de la direction NNE-SSW.

Les valeurs du paramètre q se situent essentiellement entre 0,30 et I,20.

Enfin (voir les tableaux de résultats), une intensité supérieure à 8 A. a très souvent été nécéssaire pour mettre en évidence avec le pendule de torsion une anisotropie de susceptibilité.

b) Interprétation

Les roches à faciès de Léouvé sont presque isotropes du point de vue de la susceptibilité magnétique (grande intensité nécéssaire pour la mesure). Ce fait peut être du aux conditions de dépot de ces terrains: apport rapide et important de matériel de taille très variable et sans orientation préférentielle apparente des élements détritiques.

Le plan de "facile aimantation", vertical et dirigé WNW-ESE, est perpendiculaire au plan de de stratification. Les valeurs du paramètre q sont le plus souvent supérieures à 0,50: ces roches auraient donc été déformées à la suite de compression NNE-SSW (si nous nous référons

aux résultats acquis par les études antérieures de séries détritiques, constituées cependant par des éléments plus fins).

Etant donné le caractère conglomératique de ces niveaux, nous nous trouvons probablement en face d'une roche sédimentaire aux propriétés magnétiques particulières.

Cette remarque conduit à formuler deux hypothèses differentes pour expliquer l'orientation des axes principaux de susceptibilité de ces échantillons de faciès Léouvé :

- La direction des axes maximaux, verticale, est liée à une forme particulière de dépot, non apparente à l'observation directe: orientation préferentielle d'éléments détritiques,... Celle des axes intermédiaires est due à la même origine, ou, plus simplement, à des compressions NNE-SSW.

- Les axes maximaux indiquent une linéation formée par l'intersection de deux plans verticaux (plans de foliation, non apparents, et d'origine tectonique); il y a donc eu au moins deux phases tectoniques de compression (elles peuvent avoir masqué des traces de phases antérieures):

  + phase anté-paroxysmale (pyrénéenne ?)

  + phase de compression alpine (direction NNE-SSW).

  La série de Léouvé a alors mieux "fossilisé" les compressions que les autres séries permiennes: la roche étant pratiquement isotrope à l'origine, une première compression, assez importante, peut produire une faible anisotropie dans ces niveaux Léouvé sans modifier l'anisotropie déja importante (vraisemblablement d'origine sédimentaire) des autres niveaux.

4° / Werfenien

L'anisotropie de susceptibilité magnétique des niveaux werfeniens est très faible. En effet, l'emploi d'une intensité, même très forte (I2 A.), est souvent insuffisante pour faire apparaitre une anisotropie nette.

L'erreur de mesure est trop importante: elle peut atteindre facilement 30°.

Les valeurs du paramètre q ne sont pas significatives, tant l'erreur sur les grandeurs relatives l_A, l_B et l_C est élevée.

Les axes principaux de susceptibilité magnétique semblent être, en général, orientés comme ceux des séries de Daluis et d'Illion.

IV - Directions générales des compressions

I°/ Principales directions

a) Les differents diagrammes de la figure 28 montrent que le dôme de Barrot, à l'exception de la bordure sud, présente à peu près les mêmes directions pour les axes principaux de susceptibilité magnétique sur toute sa surface:

- axes maximaux dirigés NW-SE.

-axes intermédiaires dirigés NE-SW.

- axes minimaux subverticaux.

ce qui est lié (voir précédemment) à des compressions dirigées NE-SW (fig. 29).

b) Dans la partie nord orientale du Barrot, autour d'Illion, les directions générales citées plus haut sont accompagnées par d'autres directions.

En particulier, les axes de susceptibilité maximale sont également, soit verticaux (échantillons du faciès de Léouvé), soit dirigés NE-SW. Ces échantillons ont été prélevés au voisinage de deux accidents anciens décrits dans l'étude microtectoni--que (accidents 2 et 3 d'Illion). La direction NE-SW des axes maximaux peut être liée à des composantes de cisaillement apparues le long des accidents anciens pendant la phase de compression alpine. Mais elle peut être aussi la trace d'une phase de compression antérieure.

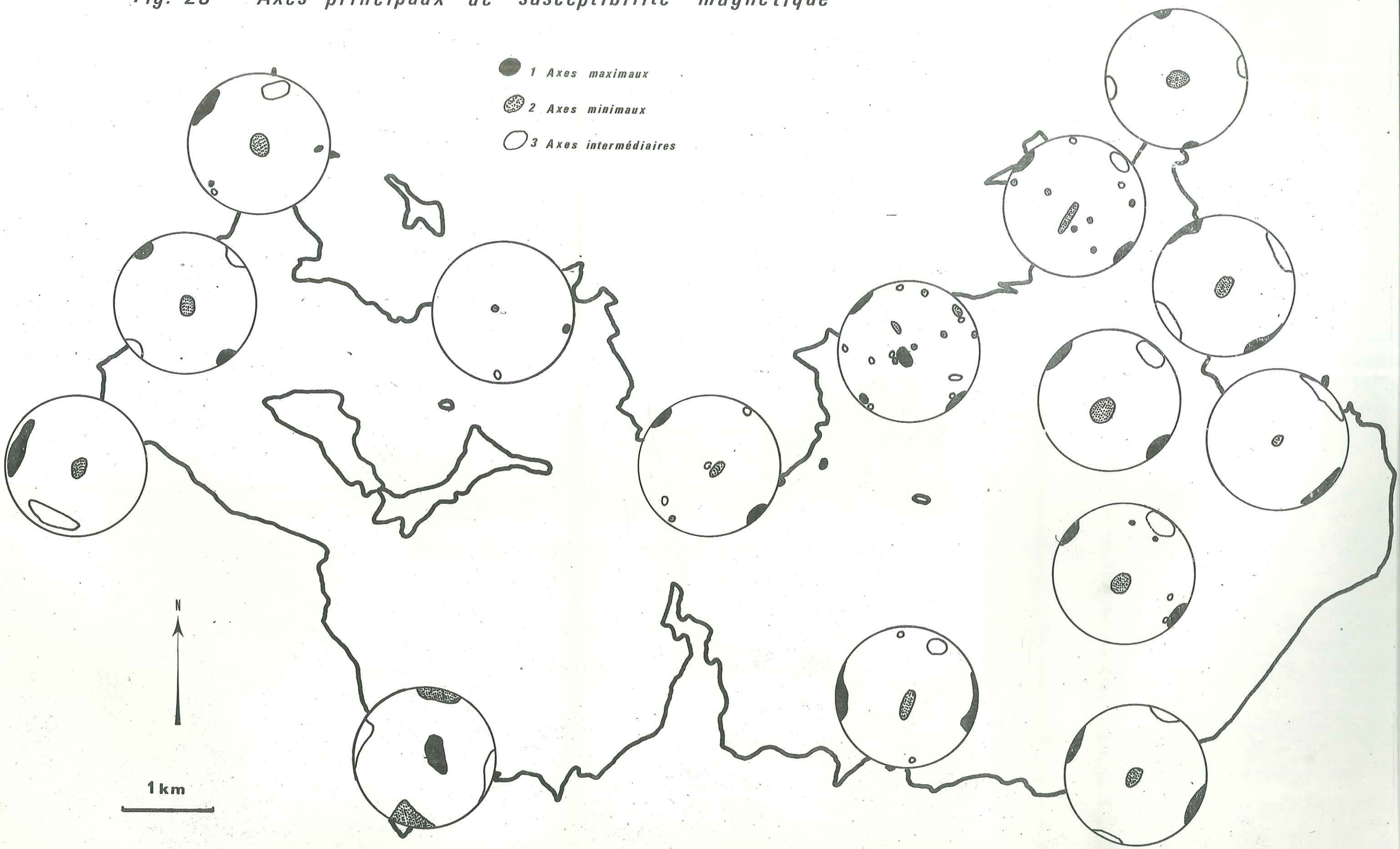
c) Dans la bordure sud du Barrot, les directions des axes principaux de susceptibilité sont, dans les séries de Daluis et d'Illion:

- axes maximaux dirigés WNW-ESE.

- axes intermédiaires dirigés NNE-SSW.

- axes minimaux verticaux.

Fig. 28 Axes principaux de susceptibilité magnétique



et dans la série de Léouvé:

- axes maximaux verticaux.

- axes intermédiaires dirigés WNW-ESE.

- axes minimaux dirigés NNE-SSW.

Les compressions sont donc selon la direction NNE-SSW (fig. 29).

2°/ Interprétation

Dans l'ensemble (fig. 29), les directions de compression sont NE-SW. Dans la partie sud, elles deviennent NNE-SSW. Ce changement est assez brutal.

Cette variation, que l'observation de la schistosité avait déja mis en évidence dans la vallée du Cians, est probablement liée à l'apparition d'une composante de cisaillement. En effet, nous pouvons supposer que des structures antérieures à la compression ont pu donner naissance à une composante de ce type pendant la phase de serrage alpin:

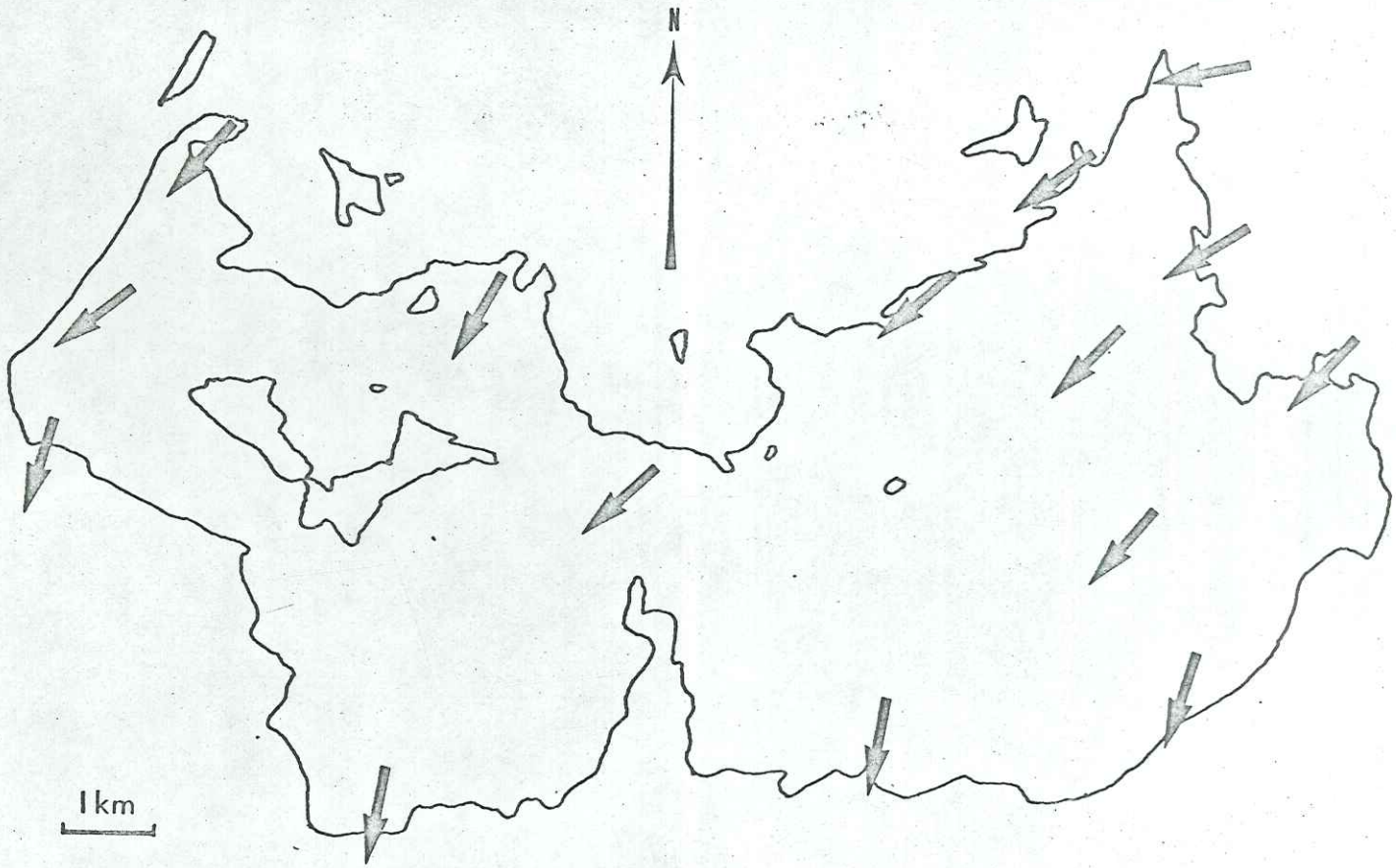
a) Des cassures anciennes, intérieures au dôme de Barrot, dirigées grossièrement E-W, peuvent donner des composantes de cisaillement NNE-SSW. Cependant, de telles cassures n'ont pas été observées.

b) Une ébauche de l'axe anticlinal peut modifier la direction générale des contraintes qui le traversent. Nous avons vu (étude microtectonique) que le dôme de Barrot était déja individualisé lors de la phase de compression alpine, en particulier par le jeu d'accidents des réseaux A, B et C. Il est possible que l'axe anticlinal lui même se soit ébauché en même temps que ces accidents.

c) Une structure majeure, ancienne, orientée E-W ou ENE-WSW, passant au Sud du dôme de Barrot, peut créer des composantes de cisaillement très importantes pendant les compressions alpines.

Du point de vue géologique, nous pouvons remarquer que sur toute la bordure sud du Barrot, la série mésozoïque a des pendages très importants vers le Sud: en pratiquement I km, on passe du Permien au Crétacé supérieur, très épais dans cette région (J. Goguel I936). A Pra d'Astier, le Permien est même bordé au Sud par une faille dont le rejet vertical est d'au moins 800 m.

Fig. 29 DIRECTIONS DE COMPRESSION , RECONSTITUEE A PARTIR DES ETUDES D'ANISOTROPIE DE SUSCEPTIBILITE MAGNETIQUE (Elles coïncident avec celles obtenues par l'étude des plans de schistosité , dans la région Nord-Est.)



1 Limite des affleurements permiens.

2 Directions de compression (les flèches indiquent le sens probable des poussées.)

Du point de vue gravimètrique, le manque de mesures dans cette région ne permet pas de confirmer l'existence d'une structure majeure. Il est seulement possible de constater que le dôme de Barrot correspond à un maximum gravimètrique.

Du point de vue sismique, deux constatations peuvent être faites:

+ la carte des iso-anomales des temps de propagation des ondes Pg dans le socle laisse supposer (en l'absence de données en grand nombre) que le socle s'enfonce vers le Sud du Barrot pour atteindre une zone de profondeur maximale au Sud de Puget Théniers (M. Recq, communication personnelle).

+ la carte du toit du Moho indique un enfoncement de celui ci vers le Nord, dans toute la région située au Nord de Puget Théniers (M. Recq I970).

Les études sismiques indiquent donc qu'une variation nette de l'épaisseur de la croute terrestre se produit dans la région située entre le dôme de Barrot et Puget Théniers.

V - Recherche des directions de paléocourants

Dans ce chapître, nous essaierons de déterminer si les études d'anisotropie de susceptibilité magnétique effectuées dans le dôme de Barrot permettent d'obtenir des directions de paléocourants.

I° / Série d'Illion

Nous avons vu précédemment que les roches de la série d'Illion présentent les deux propriétés choisies par N. Hamilton et A. I. Rees (I965) comme se retrouvant dans les roches sédimentaires non déformées (axes minimaux approximativement perpendiculaires à la stratification et paramètre q inférieur à 0,50). (voir figures 26 et 30.)

Fig.30 : Nombre d'échantillons en fonction des valeurs du paramètre q.

I : échantillons dont l'axe de susceptibilité minimale est à moins de IO° de la verticale (après correction de pendage).

2 : échantillons dont l'axe de susceptibilité minimale est à IO° ou plus de la verticale (après correction de pendage).

A : ensemble des échantillons.

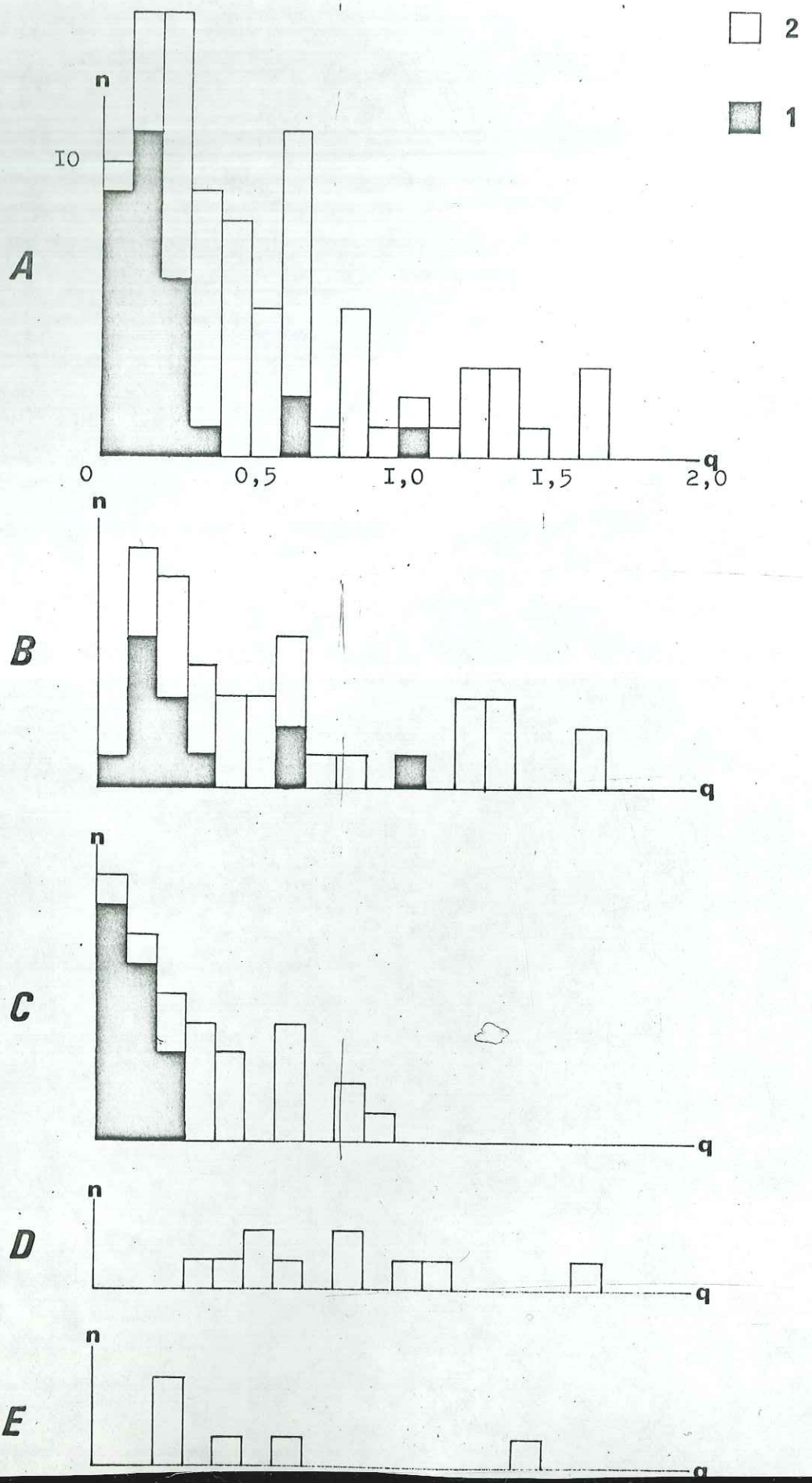
B : échantillons de la série de Daluis.

C : échantillons à faciès d'Illion..

D : échantillons à faciès de Léouvé.

E : échantillons de Werfenien.

Fig. 30



Etude du paramètre q

Dans le cas où toutes les roches du faciès d'Illion seraient non déformées, leur paramètre q devrait avoir sensiblement les mêmes valeurs dans tout le dôme de Barrot.

Nous avons donc cherché si le paramètre q varie, en fonction de la longitude, puis de la latitude:

+ Variations en fonction de la longitude

Nous avons calculé les valeurs moyennes du paramètre q dans chaque groupe d'échantillons, représentés par une même lettre qui détermine des secteurs géographiques parallèles (fig. I9 et 20).

Les échantillons se placent en majorité dans la partie nord du massif, ce qui permet d'étudier les variations du paramètre q uniquement en fonction de la longitude

	EST												OUEST
LONGITUDE		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
nombre d'échantillons		I	6	8	I	4	I	I(+)	I(+)	0	0	4	3	3
q	valeur moyenne	0,20	0,26	0,35	0,96	0,50	0,22	0,05	0,II	-	-	0,20	0,I3	0,09
	valeur maximale	0,20	0,60	0,89	0,96	0,86	0,22	0,05	0,II	-	-	0,43	0,24	0,I4
	valeur minimale	0,20	0,08	0,04	0,96	0,20	0,20	0,05	0,II	-	-	0,08	0,08	0,07

(+) échantillon prélevé dans la moitié sud du massif.

Nous remarquons que les valeurs du paramètre q présentent d'iportantes variations: les régions où l'étude microtectonique a montré les traces

de schistosité les plus nettes (région d'Illion) correspondent aux valeurs les plus grandes du paramètre q (longitudes C, D et E). Les valeurs diminuent très sensiblement vers l'ouest.

Les valeurs du paramètre q, bien que restant très souvent inférieures à 0,50, diminuent très nettement des régions schistosées vers les régions ne portant pas de traces apparentes de compression. Les directions des axes principaux de susceptibilité ne varient pas de de l'Est vers l'Ouest.

+ Variations en fonction de la latitude

Le tableau suivant donne les valeurs du paramètre q pour les échantillons prélevés sur la rive gauche du Cians, dans la série d'Illion:

NORD											SUD
n°	C I	C 2	C 3	C 4	C I0	B I	B 2	B 3	C I4	B 4	B 6
q	0,89	0,48	0,4I	0,66	0,2I	0,60	0,I2	0,36	0,I0	0,I2	0,08

La diminution des valeurs du paramètre q du Nord vers le sud est très nette.

+ Conclusion

Suivant la longitude comme suivant la latitude, les valeurs du paramètre q varient suivant l'intensité des compressions: celles ci, maximales dans la région nord orientale, diminuent vers le Sud et vers l'Ouest. Les directions des axes principaux de susceptibilité ne sont pas affectées par des variations liées aux valeurs du paramètre q.

L'anisotropie est donc liée aux compressions ayant affecté le massif; elle n'est, par consequent, plus en rapport avec des directions de paléocou-rants.

+ Remarque

Deux échantillons (C8 et C9), prélevés dans une zone où la schistosité est très nette, présentent même les caractères des roches sédimentaires, avec des paramètres q très faibles (0,07 et 0,04).

2° / Série de Daluis

Nous avons vu précédemment que les roches de la série de Daluis ne remplissent pas, en général, les conditions d'Hamilton et Rees caractérisant les roches sédimentaires non déformées.

Les tableaux suivants montrent les variations du paramètre q en fonction de la longitude et de la latitude:

EST												OUEST		
LONGITUDE		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
q valeur moyenne	région nord	-	-	I,03	-	-	-	-	-	-	-	0,62	0,I8	0,27
	région sud	-	0,53	0,42	0,39	0,I9	-	-	-	-	-	-	-	-

(voir la variation en fonction de la latitude page suivante)

L'examen de ces deux tableaux conduit à la même conclusion : les valeurs du paramètre q diminuent d'Est en Ouest et du Nord au Sud.

Cette diminution se fait également dans le même sens sur la bordure sud: les variations de direction des axes principaux de susceptibilité observées sur la bordure sud du Barrot ne sont donc pas liées à des directions de paléocourants, mais bien à une origine tectonique.

	n°	q	
NORD	C 6	I,69	-zone à traces de compression très visibles
	C 7	I,24	
	C II	0,66	
	C I2	I,38	
	C I3	I,33	
	C I5	I,3I	
	C I6	I,03	
	C I7	I,69	
	C I8	0,8I	
	C I9	0,66	
	C 20	0,28	
	C 2I	0,47	
	C 22	0,76	
	C 23	I,22	---plusieurs failles (anciennes ?) se recoupant
	C 24	0,I4	
	C 25	0,46	
	C 26	0,20	
	C 27	0,I6	
	C 28	0,I2	
	C 29	0,38	
	C 30	I,26	----faille du vallon d'Escoulières
	C 3I	0,50	
	C 32	0,26	
	B 7	0,27	
	B 8	0,66	
SUD	B 9	0,67	----faille de Pra d'Astier

VI - Rapports entre microstructures et anisotropie de susceptibilité magnétique

1°/ Vallée de la Tinée

a) Ensemble des résultats

Nous avons effectué 11 prélèvements dans la vallée de la Tinée, dans des niveaux différents, des migmatites aux pélites de Saint-Sauveur.

Tableaux des résultats :

Abréviations : D : Déclinaison ; I : Inclinaison

Mi : migmatites; Bé: série du Bégo; Ca : série de Capeirotto; NDL: arkose de Notre Dame de Laghé; SS : pélites de Saint-Sauveur

Echantillon		Foliation		Intensité (A)	Axes principaux de susceptibilité						q
n°	Série	Pendage			Maximal		Intermédiaire		Minimal		
		D	I		D	I	D	I	D	I	
R 1	SS	60°	50°	2,7	24°	32°	131°	25°	251°	47°	0,58
R 2	Bé	?	?	9,0	314°	1°	44°	28°	223°	62°	1,54
R 3	Mi	40°	?	3,2	91°	19°	239°	68°	358°	11°	0,60
R 4	SS	30°	90°	4,2	306°	14°	119°	76°	215°	1°	0,06
R 5	Bé	50°	50°	3,4	347°	24°	125°	59°	248°	18°	0,14
R 6	Mi	225°	70°	1,8	144°	29°	294°	57°	46°	14°	0,03
R 7	SS	25°	85°	2,2	55°	82°	296°	4°	205°	7°	0,20
S 1	Ca	35°	45°	9,0	88°	2°	352°	69°	178°	20°	0,40
S 2	SS	40°	85°	2,3	314°	14°	90°	70°	220°	13°	0,04
S 3	NDL	30°	65°	3,6	12°	62°	117°	7°	211°	26°	0,44
S 4	Mi	?	?	1,4	244°	3°	162°	23°	342°	67°	0,12

Les figures 3I, 32 et 33 représentent, en projection stéréographique, les résultats des mesures d'anisotropie de susceptibilité faites sur ces échantillons de la Tinée.

La dispersion des axes principaux de susceptibilité est grande :

- axes maximaux et intermédiaires au voisinage d'un plan fortement incliné vers le Nord Est.

- axes minimaux autour d'une direction NE-SW, légèrement inclinée vers le Sud Ouest.

Les compressions générales étaient donc NE-SW. La grande dispersion des axes principaux de susceptibilité est probablement liée à des déformations apparues à la suite de la phase de soulèvement final de l'Argentera ou de phénomènes récents (fauchage,...).

b) Relations avec la schistosité

- Observations microtectoniques et mesures de l'anisotropie de susceptibilité magnétique aboutissent à la même interprétation: la région de la Tinée a été soumise à des compressions très importantes dirigées NE-SW.

- Les échantillons présentant une schistosité nette ont leur plan de "facile aimantation" en coïncidence avec ce plan de schistosité.

- Nous avons prélevé dans la série des pélites

Fig.3I : Axes principaux de susceptibilité maximale (projection stéréographique) des échantillons de la vallée de la Tinée.

Fig.32 : Axes principaux de susceptibilité intermédiaire (projection stéréographique) des échantillons de la vallée de la Tinée.

Fig.33 : Axes principaux de susceptibilité minimale (projection stéréographique) des échantillons de la vallée de la Tinée.

Echantillons prélevés dans:

I : les migmatites

2 : la série du Bégo

3 : le faciès Notre Dame de Laghé

4 : les séries de Saint Sauveur et de Capeirotto.

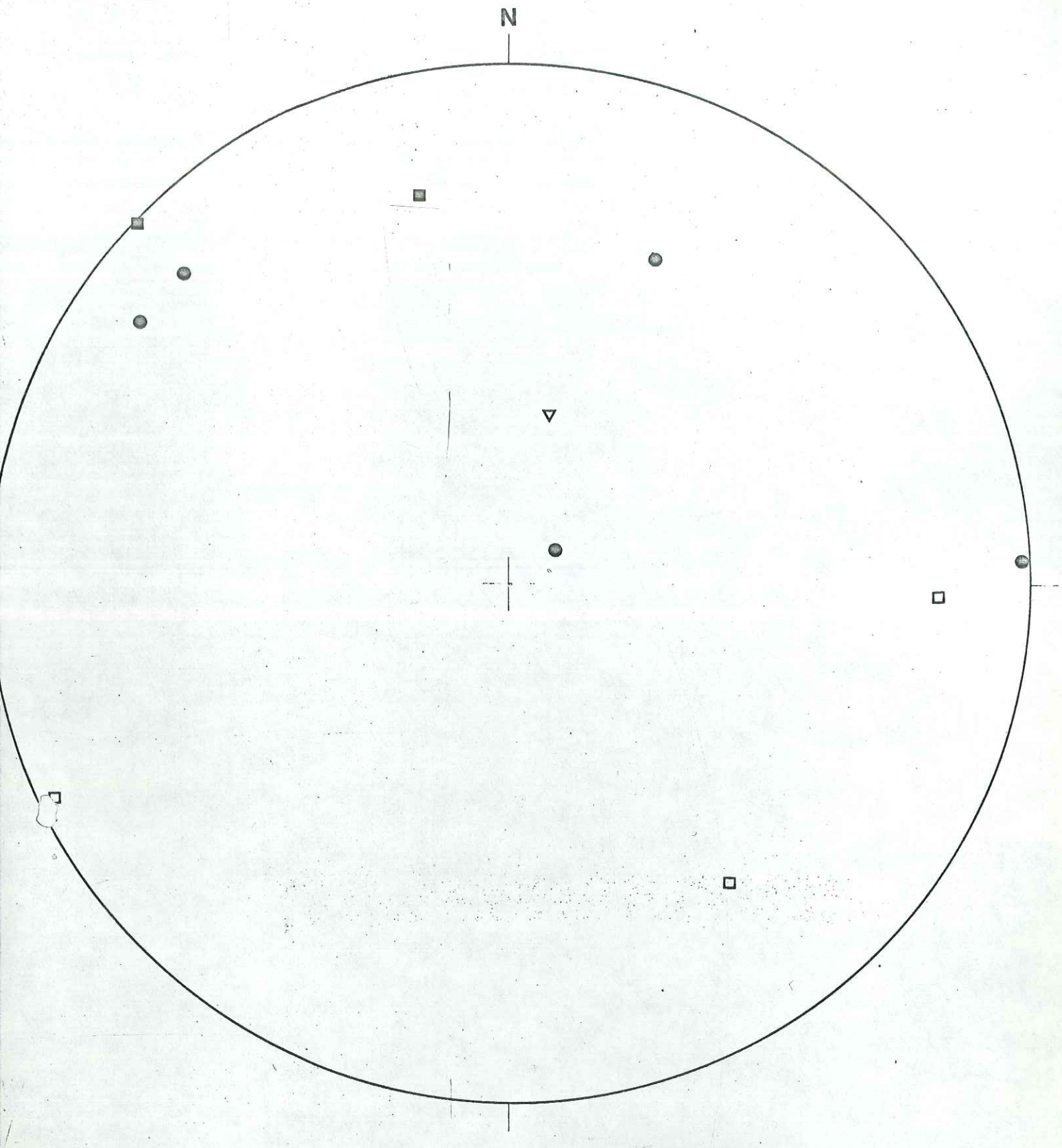


FIG. 31

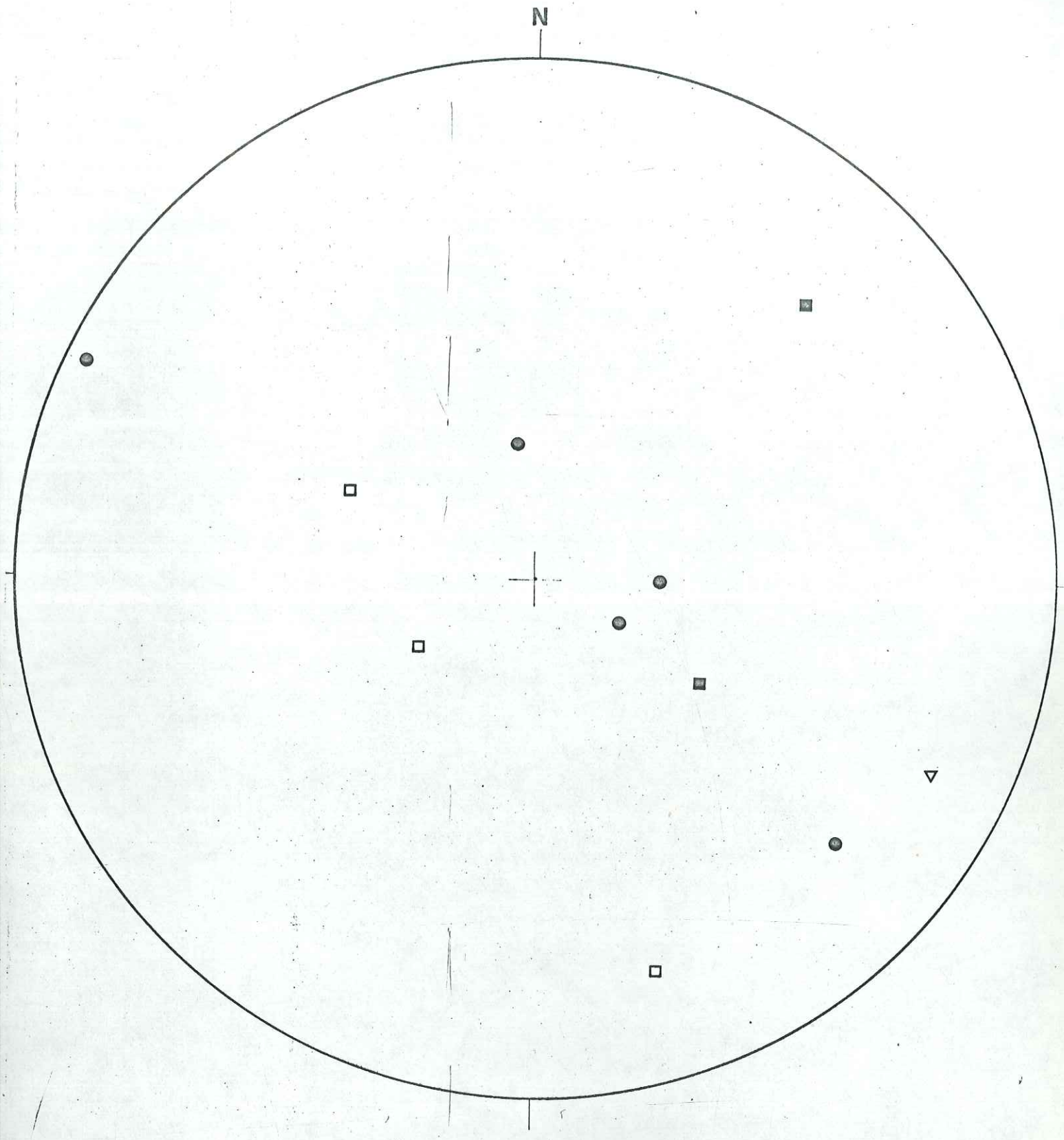


FIG. 32

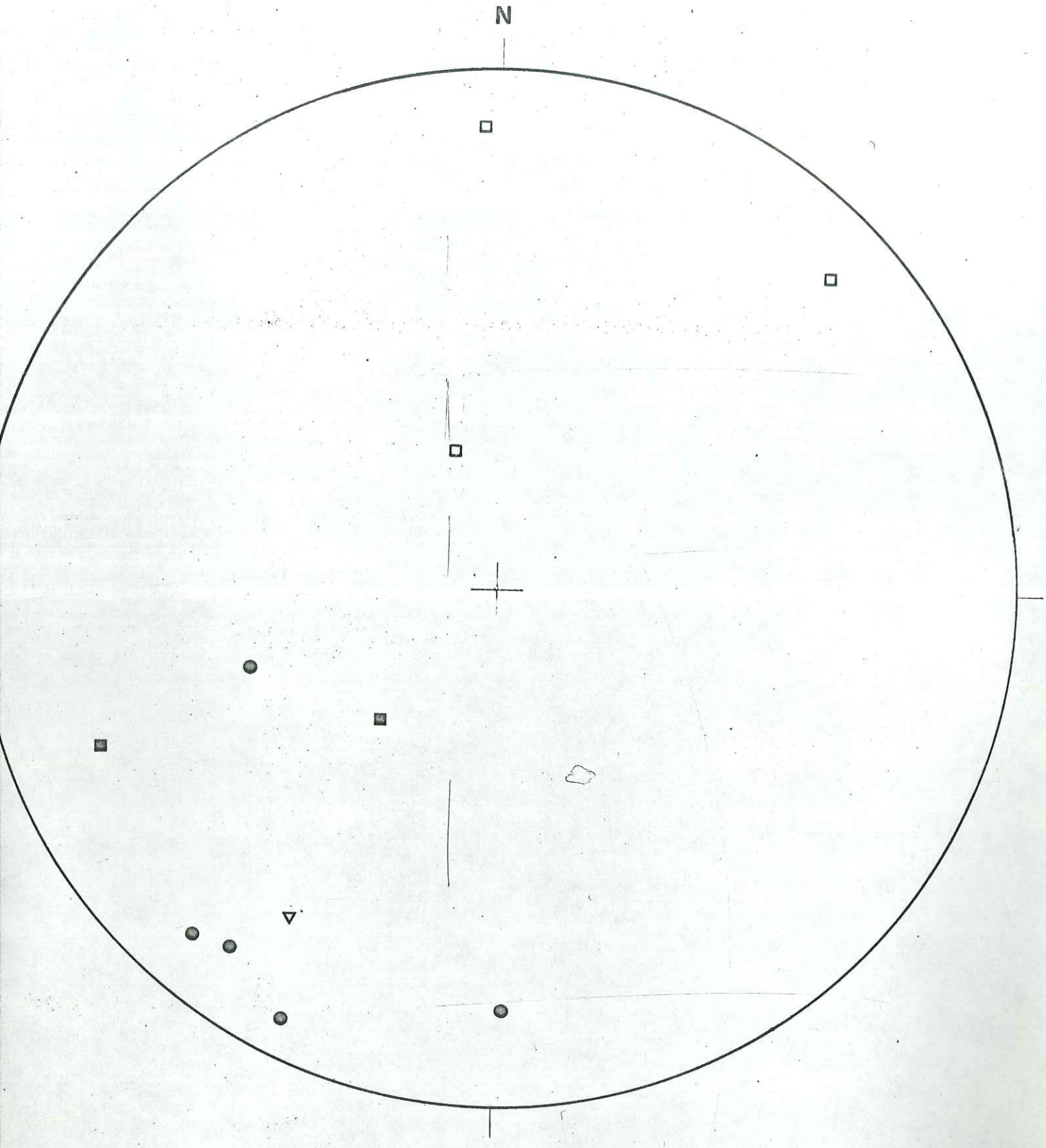


FIG. 33

de Saint Sauveur un échantillon (R 7) montrant des microplis de la stratification, avec une schistosité de plan axial.

Le plan de facile aimantation coïncide parfaitement avec le plan de schistosité. Mais, contrairement à ce que nous pouvions supposer, la direction de l'axe maximal de susceptibilité (indiquant généralement une linéation), verticale est totalement indépendante de celle de l'axe des microplis (incliné 40° ESE). L'axe maximal n'indique donc plus l'intersection entre plan de stratification et plan de schistosité, mais l'intersection de deux plans verticaux liés à des compressions de directions differentes

c) Cas de l'échantillon S 2

L'échantillon S 2 a été prélevé dans les schistes de la série des pélites de Saint Sauveur. La taille a été effectuée en choisisant pour face du cube le plan de schistosité.

Ce plan de schistosité est pratiquement isotrope du point de vue de la susceptibilité magnétique, alors que tous les plans perpendiculaires à la schistosité sont fortement anisotropes : l'ellipsoïde d'anisotropie de l'échantillon S 2 est donc presque un ellipsoïde de révolution autour de la perpendiculaire à la schistosité.

Alors que nous utilisions une intensité de 2,3 A. pour déterminer l'anisotropie de l'ensemble de l'échantillon S 2, nous avons choisi une intensité très importante (I2 A.) pour étudier avec précision l'anisotropie dans le plan de schistosité.

Pendant une mesure d'anisotropie au pendule de torsion, la rotation des bobines entraine une rotation de l'échantillon (voir introduction de ce chapître). L'amplitude de cette rotation de l'échantillon peut être suivie par un dispositif optique, et être représenté, pour une rotation de I80° des bobines, par une courbe sinusoïdale d'une période complète (courbe de type I).

Cette anisotropie liée à la présence de minéraux cubiques est négligeable par rapport à l'anisotropie générale de l'échantillon. Elle n'a pu être mise en évidence qu'à la suite du choix d'un plan (schistosité) de mesure où cette anisotropie générale est très faible. Il a fallu, de plus, employer une intensité très importante pour cette mesure.

2° / Dôme de Barrot

a) Directions générales de compression

Nous avons pu utiliser en même temps l'observation microtectonique et la mesure de l'anisotropie de susceptibilité pour reconstituer les directions de compression dans toute la partie nord orientale du dôme de Barrot.

Les directions de compression obtenues par ces deux méthodes sont pratiquement identiques: NE-SW en général. Vers le Sud des gorges du Cians, la schistosité change légèrement de direction, devenant WNW-ESE. Cette variation se retrouve dans l'étude de l'anisotropie qui indique des compressions NNE-SSW dans ce secteur sud.

b) Cas de l'échantillon B 5

Cet échantillon a été prélevé dans la brèche de faille de l'accident subhorizontal situé I km au Nord de la Tête des Caires (coord. Lambert 972,8-203,6). La schistosité qui affecte les deux compartiments séparés par cet accident, n'est pas visible dans les élements de pélites de cette brèche.

Les directions des axes principaux de susceptibilité mesurées sur cet échantillon sont en rapport avec la schistosité (inclinaison 80° vers le Nord Est) qui avoisine cette faille, mais restent totalement indépendantes du plan et des stries de faille (inclinaison I2° vers l'Est Nord Est). Il semblerait donc que cet accident n'ait joué qu'avant la formation de la schistosité.

c) Echantillons prélevés sur les bordures de la faille d'Escoulières (Sud des gorges du Cians)

La schistosité est très peu marquée sur les bordures de cette faille. Il est difficile de repérer l'orientation de cette schistosité.

Cette faille verticale (direction 55° ENE) est soulignée par une zone broyée non consolidée (IO m de large environ).

Nous avons effectué cinq prélèvements autour de cette faille. Les principaux résultats (sans correction de pendage) sont résumés sur le tableau suivant :

distance à la faille	n°	axes maximaux de susceptibilité		q	direction des compressions
		D	I		
I50 m au Nord	C 29	I20°	I4°	0,38	30° NE
I m au Nord	C 30	I30°	I9°	I,26	40° NE
faille dirigée 55° NE					
5 m au Sud	C 3I	I43°	7°	0,50	53° NE
I00 m au Sud	C 32	I3I°	8°	0,26	4I° NE
250 m au Sud	B 8	I24°	8°	0,27	34° NE

Les directions de compression sont presque tangentes au contact de faille dans les deux compartiments, montrant l'existence d'un cisaillement. Le paramètre q augmente sensiblement à l'approche de cet accident.

Cette faille a donc joué en décrochement avec déplacement du compartiment sud est vers le Sud Ouest. L'absence de schistosité nette aux abords immédiats de la faille ne permet pas de connaitre l'age de ce jeu.

VII - Conclusion

La coïncidence des résultats obtenus par les analyses magnétiques et microtectoniques montre que l'anisotropie de susceptibilité est liée à la phase de compression alpine qui a donné naissance à la schistosité dans le Nord Est du dôme de Barrot.

L'anisotropie de susceptibilité magnétique complète utilement l'observation microtectonique: elle permet de mettre en évidence la direction des compressions alpines dans tout le massif, le jeu de certains accidents importants dont une structure majeure (probable) passant au Sud du massif.

C/ Etude de l'aimantation rémanente

I - Rappel des résultats acquis par les travaux antérieurs

I°/ Travaux de C. Van den Ende (I970) sur le dôme de Barrot

C. Van den Ende (I970) a étudié des échantillons prélevés dans les gorges de Daluis, en vue d'établir les variations du pôle géomagnétique permien.

La direction d'aimantation rémanente est pour ces échantillons, en moyenne :

déclinaison: 206° , inclinaison: -I3,5°

Les variations de déclinaison et d'inclinaison en fonction de l'age des niveaux étudiés sont faibles.

Les desaimantations par champ alternatif (jusqu'à 3 000 œ) ont montré que l'aimantation des pélites permiennes est stable, en direction comme en intensité, et est très résistante à la desaimantation par champ alternatif.

Une désaimantation par chauffage donne au dela de 500° C une diminution nette de la valeur de l'aimantation. Celle ci disparait à 680° C.

C. Van den Ende a effectué également des prélèvements dans la vallée du Cians, mais leurs résultats de mesure ne sont pas actuellement publiés.

2°/ Travaux sur le Permien des Alpes et des régions voisines

La figure 34 montre les principales directions mesurées pour l'aimantation rémanente des niveaux permiens. Il ressort trois groupes differents de directions:

a) Bloc européen: Nideck, Lodève, Estérel, Dôme de Barrot. Travaux de A. Roche, H. Saucier et J. Lacaze (I962), de G. P. Kruseman (I962), de M. G. Rutten, R.O. Van Everdingen et J. D. A. Zijderfeld (I957) et C. Van den Ende (I970).

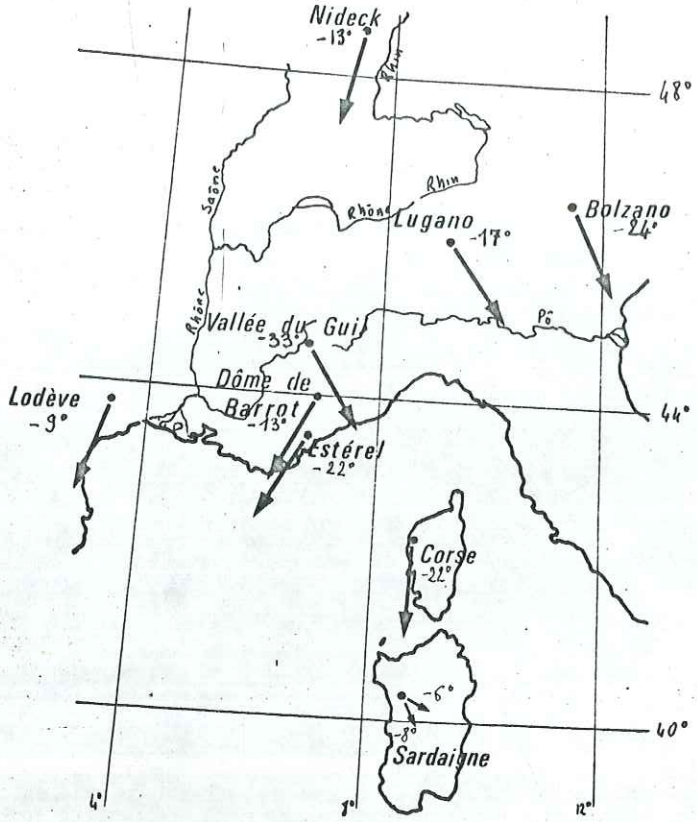


Fig. 34

DIRECTIONS D'AIMANTATION REMANENTE OBTENUES POUR LES SITES PERMIENS DE LA CHAINE DES ALPES ET DES REGIONS VOISINES: (d'après Roche et Wesphal 1969)

Direction d'aimantation rémanente pour le Dôme de Barrot: Van den Ende 1970.

b) Zones internes alpines: Vallée du Guil, Lugano, Bolzano. Travaux de A. Roche et M. Wesphal (I969), D. Van Hilten et J. D. A. Zijderfeld (I966) et G. F. L. Dietzel (I960). Les mesures effectuées dans le Briançonnais ligure (C. Bobier et A. Guillaume I966) ne peuvent être utilisées ici puisque les roches permiennes sont décollées là de leur substratum et ont vraisemblablement tourné pendant leur glissement (A Guillaume I967).

c) Corse et Sardaigne, avec des directions particulières dues peut être à une rotation de ces blocs. Travaux de T. P. Ashwoth et A. E. M. Nairn (I965), de A. E. M. Nairn et M. Wesphal (I968) et de K. A. De Jong et J. D. A. Zijderfeld (I969).

La direction obtenue dans le dôme de Barrot semble parfaitement s'intégrer dans l'ensemble des directions du bloc européen.

II - Etude des résultats

1°/ Tableaux des résultats (sans correction de pendage)

Nous avons reporté sur ces tableaux uniquement l'étude des échantillons dont l'aimantation rémanente a une valeur qui dépasse 500 x 10^{-6} u.e.m. c.g.s.

En effet, l'incertitude des mesures est très importante quand l'aimantation est faible et les résultats ne sont souvent pas significatifs.

Abréviations : M : valeur de l'aimantation rémanente;

D : déclinaison; I: inclinaison.
Dal: Daluis; Il: Illion; Lé: Léouvé; Wi: Werfenien inférieur, Ws: Werfenien supérieur; SS: Pélites de Saint-Sauveur

(inclinaison : positive vers le bas, négative vers le haut).

Echantillon				Aimantation rémanente (u.e.m. - c.g.s.)					
n°	Série	Pendage					Après désaimantation (600oe alternatif)		
		D	I	M (en 10^{-6})	D	I	M (en 10^{-6})	D	I
A 1	Il	30°	5°	3 889	241°	- 18°	4 584	231°	- 23°
B 1	Il	30°	15°	2 074	233°	- 27°			
B 2	Il	350°	10°	19 231	219°	- 27°	19 163	221°	- 28°
B 3	Il	30°	15°	1 415	227°	15°			
B 4	Il	65°	15°	7 963	239°	- 25°	8 070	230°	- 29°
B 5	Il	230°	5°	1 135	18°	62°			
B 6	Il	15°	5°	2 662	230°	- 13°	3 239	220°	- 22°
B 7	Dal	120°	15°	19 981	209°	- 14°	20 181	209°	- 14°
B 9	Dal	120°	15°	3 159	209°	- 6°	3 329	210°	- 7°

Echantillon				Aimantation rémanente (u.e.m. - c.g.s.)					
n°	Série	Pendage					Après désaimantation (600 eo alternatif)		
		D	I	M (en 10^{-6})	D	I	M (en 10^{-6})	D	I
C 1	Il	?	?	4 078	258°	36°	4 060	258°	36°
C 2	Il	?	?	1 331	206°	- 35°			
C 3	Il	20°	10°	4 587	215°	- 25°	4 667	215°	- 25°
C 4	Dal	40°	13°	1 809	127°	31°			
C 5	Il	320°	10°	852	253°	- 5°			
C 6	Dal	40°	5°	2 255	215°	- 60°	1 245	219°	- 5°
C 8	Il	50°	10°	2 451	216°	- 18°	2 403	217°	- 18°
C 9	Il	70°	20°	2 778	235°	- 39°	2 767	234°	- 39°
C 10	Il	50°	20°	3 034	225°	- 42°	3 089	225°	- 43°
C 12	Dal	0°	10°	1 994	80°	17°			
C 13	Dal	30°	5°	5 430	222°	- 27°			
C 14	Il	65°	5°	6 316	213°	- 33°	6 355	213°	- 33°
C 15	Dal	20°	2°	2 738	214°	- 23°			
C 16	Dal	30°	20°	2 675	210°	- 28°	2 688	210°	- 27°
C 17	Dal	45°	25°	1 160	289°	17°			
C 18	Dal	30°	35°	3 005	237°	- 12°	3 020	236°	- 11°
C 19	Dal	110°	10°	1 256	206°	- 4°			
C 20	Dal	60°	18°	3 505	216°	- 20°	3 557	216°	- 20°
C 22	Dal	30°	10°	556	244°	52°			
C 23	Dal	50°	35°	2 415	210°	- 46°	2 439	208°	- 46°
C 24	Dal	65°	22°	13 345	331°	- 29°	13 883	331°	- 32°
C 26	Dal	30°	23°	3 131	219°	- 40°	3 145	219°	- 40°
C 27	Dal	130°	12°	8 283	209°	- 12°	8 023	209°	- 12°
C 28	Dal	30°	23°	538	218°	2°			

Echantillon				Aimantation rémanente (u.e.m. - c.g.s.)					
n°	Série	Pendage					Après désaimantation (600 oe alternatif).		
		D	I	M (en 10^{-6})	D	I	M (en 10^{-6})	D	I
C 29	Dal	120°	10°	844	231°	23°			
C 30	Dal	130°	15°	14 070	234°	- 17°	14 168	234°	- 17°
C 31	Dal	?	?	1 022	9°	- 15°			
C 32	Dal	?	?	1 323	204°	- 22°			
C 33	Dal	165°	50°	585	235°	60°			
D 7	Il	?	?	622	170°	- 34°			
D 9	Dal	180°	50°	3 434	225°	7°	3 472	225°	7°
D 10	Dal	170°	60°	2 414	195°	42°	2 398	196°	41°
E 1	Il	35°	21°	3 495	209°	- 12°	3 520	208°	- 13°
E 2	Il	330°	6°	903	205°	- 17°			
E 3	Il	50°	25°	1 134	190°	42°			
E 5	Dal	130°	30°	1 446	206°	1°			
E 6	Dal	210°	33°	1 839	214°	18°			
F 3	Lé	350°	10°	593	27°	56°			
G 2	Il	330°	12°	7 906	227°	- 17°	7 611	227°	- 17°
H 2	Il	270°	25°	13 524	213°	4°	13 516	213°	4°
J 2	Lé	230°	27°	610	14°	16°			
J 4	Lé	235°	35°	1 124	218°	7°			
K 1	Il	330°	20°	4 292	208°	- 14°	4 320	208°	- 14°
K 4	Il	20°	30°	6 192	216°	- 44°	6 244	217°	- 44°
L 1	Il	300°	12°	2 742	220°	- 6°	2 724	220°	- 6°
L 4	Il	290°	10°	3 579	206°	- 4°	3 620	206°	- 4°
L 5	Il	270°	20°	4 132	202°	1°	4 143	201°	0°
L 6	Dal	280°	15°	4 460	217°	7°	4 530	218°	5°

Echantillon				Aimentation rémanente (u.e.m. - c.g.s.)					
n°	Série	Pendage					Après désaimantation (600 oe alternatif).		
		D	I	M (en 10^{-6})	D	I	M (en;10^{-6})	D	I
L 8	Dal	270°	16°	3 361	217°	- 5°	3 380	215°	- 6°
L 9	Dal	290°	10°	1 053	213°	0°			
L 10	Dal	290°	10°	1 866	218°	2°			
L 12	Dal	250°	15°	2 304	216°	8°	2 330	214°	5°
M 1	Dal	280°	20°	1 233	233°	8°			
M 2	Il	255°	22°	7 749	215°	7°	7 755	215°	6°
M 4	Dal	295°	15°	1 298	210°	13°			
M 5	Il	210°	40°	2 190	187°	18°	2 125	187°	17°
R 1	SS			841	198°	27°			
R 7	SS			1 537	185°	24°	1 535	184°	24°
S 2	SS			1 007	233°	22°			

La désaimantation par champ alternatif ne modifie pas sensiblement l'aimantation rémanente: il y a dans certains cas une rotation de quelques degrés (par exemple, échantillons AI, B4, B6....) et dans un cas précis (échantillon C6) une diminution très nette de la valeur de l'aimantation rémanente et de l'inclinaison de celle ci.

Nous n'avons pas effectué de désaimantation par chaffage, Van den Ende ayant montré que l'aimantation baissait régulièrement, sans modification importante de direction.

2°/ Diagrammes

a) Ensemble des résultats (fig. 35 et 36)

Avant que la correction de pendage soit effectuée, les directions d'aimantation rémanente se groupent essentiellement autour d'un vecteur dirigé vers Sud Ouest, et ayant une inclinaison négative (dirigée vers le haut) d'une quinzaine de degrés.

La correction de pendage entraine un regroupement, vers une inclinaison de -IO°, des vecteurs aimantation rémanente (direction moyenne: déclinaison 208°, inclinaison -IO°). (fig. 36)

Fig.35 : Directions des vecteurs aimantation rémanente (projection stéréographique, sans correction de pendage).

Fig.36 : Directions des vecteurs aimantation rémanente (projection stéréographique, après correction de pendage).

I et 2 : Valeur de l'aimantation supérieure à 2 000 . 10^{-6} u.e.m. c.g.s. .(échantillons ayant été soumis à un champ alternatif de 600 œ , pour désaimantation).

3 et 4 : Valeur de l'aimantation comprise entre 2 000 et 500 (en 10^{-6} u.e.m. c.g.s.)

I et 3 : Vecteur dirigé vers le haut

2 et 4 : Vecteur dirigé vers le bas.

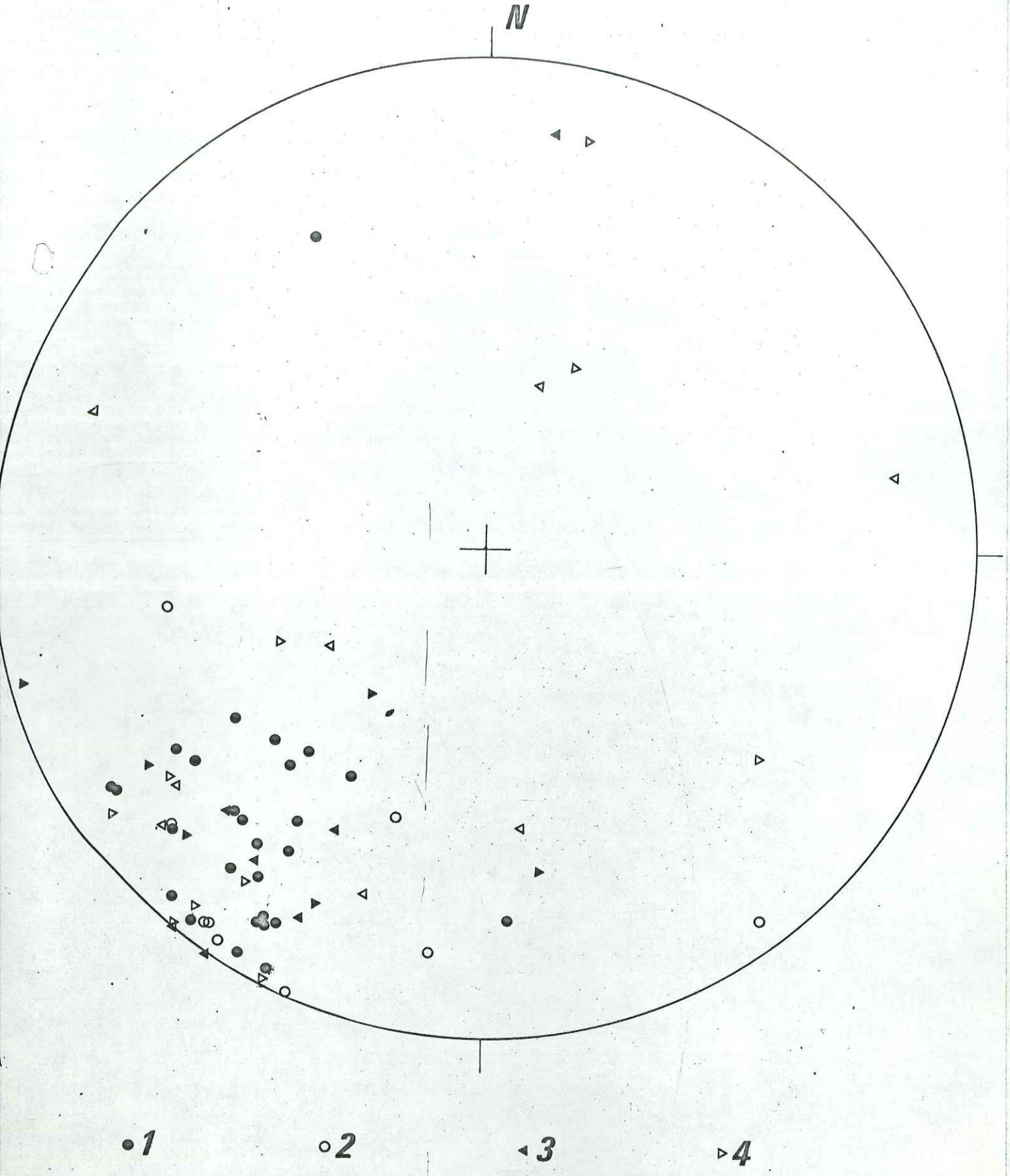


FIG. 35

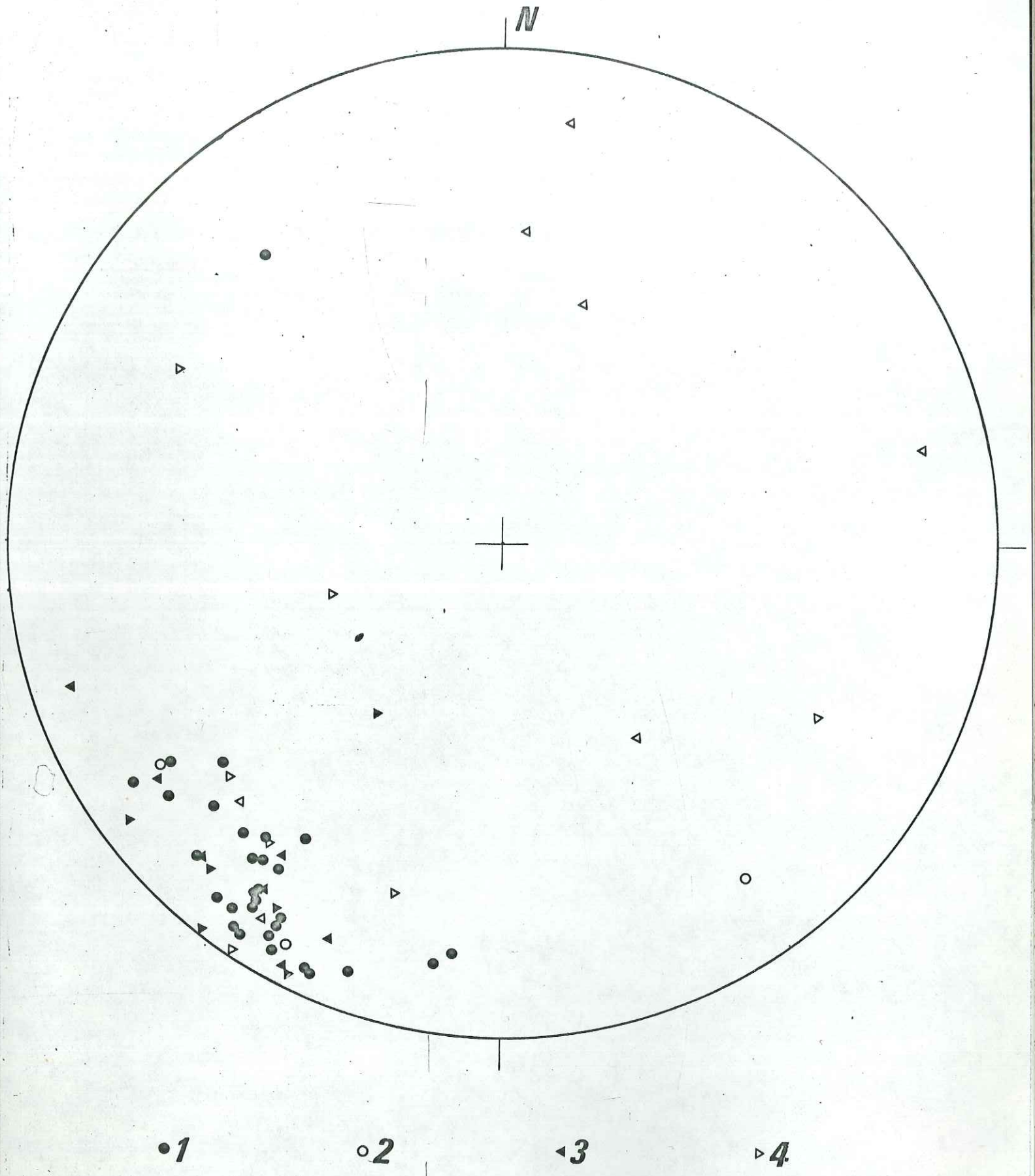


FIG. 36

b) Série de Daluis (fig. 37)

La direction moyenne de l'aimantation rémanente des échantillons prélevés dans la série de Daluis a une déclinaison proche de 203°, et une inclinaison voisine de -8°.

c) Série d'Illion (fig. 38)

La déclinaison de l'aimantation rémanente des roches appartenant au faciès d'Illion, varie, pour la majorité des échantillons, de 220° à 195°. L'inclinaison est, en général, comprise entre -5° et -15°.

d) Série de Léouvé

L'aimantation rémanente des échantillons à faciès Léouvé est très faible et les mesures ne sont pas significatives (erreur de mesure supérieure à la valeur de l'aimantation mesurée).

Fig.37 : Directions des vecteurs aimantation rémanente des échantillons de la série de Daluis. (projection stéréographique, après correction de pendage).

Fig.38 : Directions des vecteurs aimantation rémanente des échantillons de la série d'Illion (projection stéréographique, après correction de pendage).

I et 2 : Valeur de l'aimantation supérieure à 2 000 . 10^{-6} u.e.m. c.g.s. (échantillons ayant été soumis à un champ alternatif de 600 œ, pour désaimantation).

3 et 4 : Valeur de l'aimantation comprise entre 2 000 et 500 (en 10^{-6} u.e.m. c.g.s.)

I et 3 : Vecteur dirigé vers le haut

2 et 4 : Vecteur dirigé vers le bas

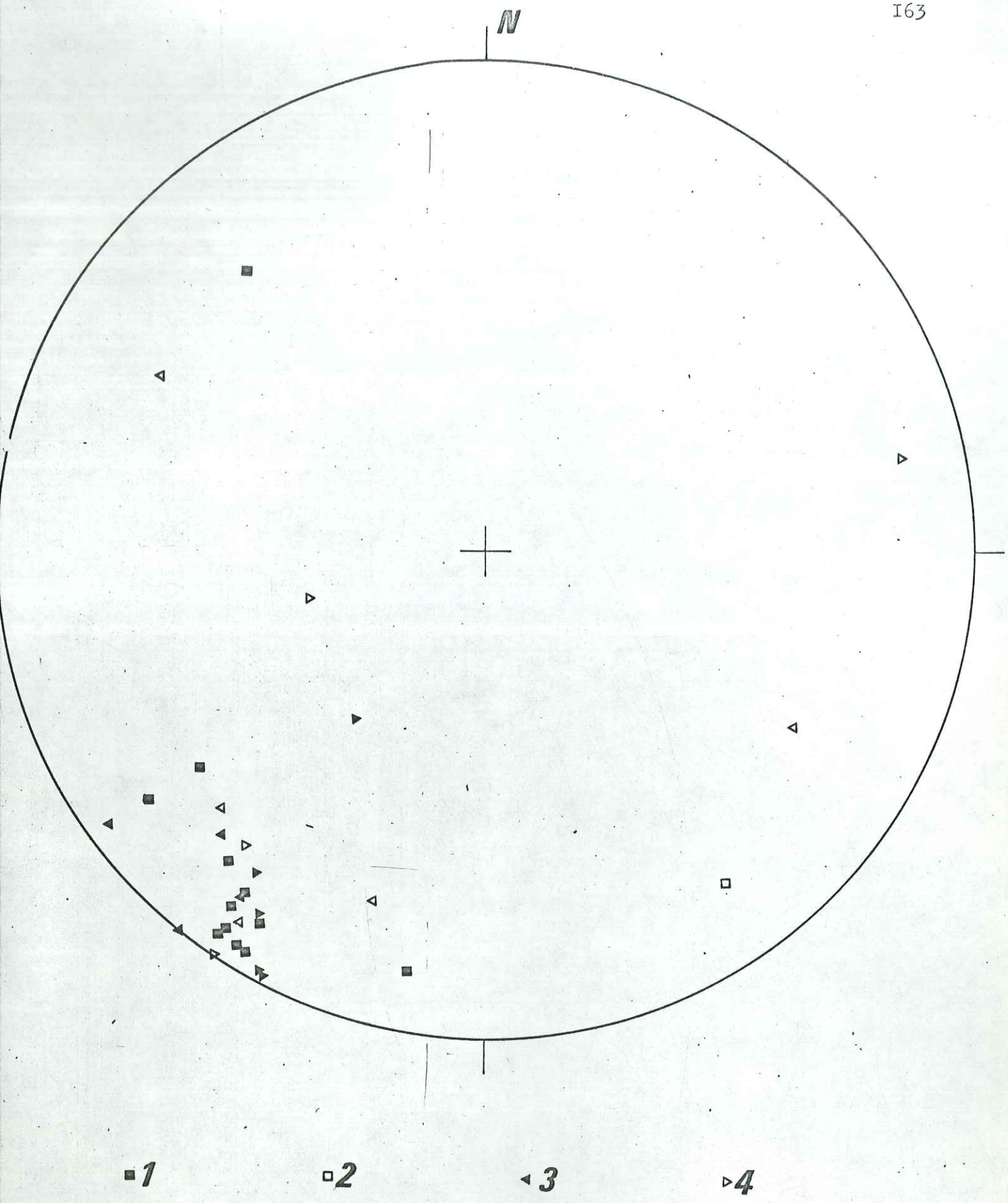


FIG. 37

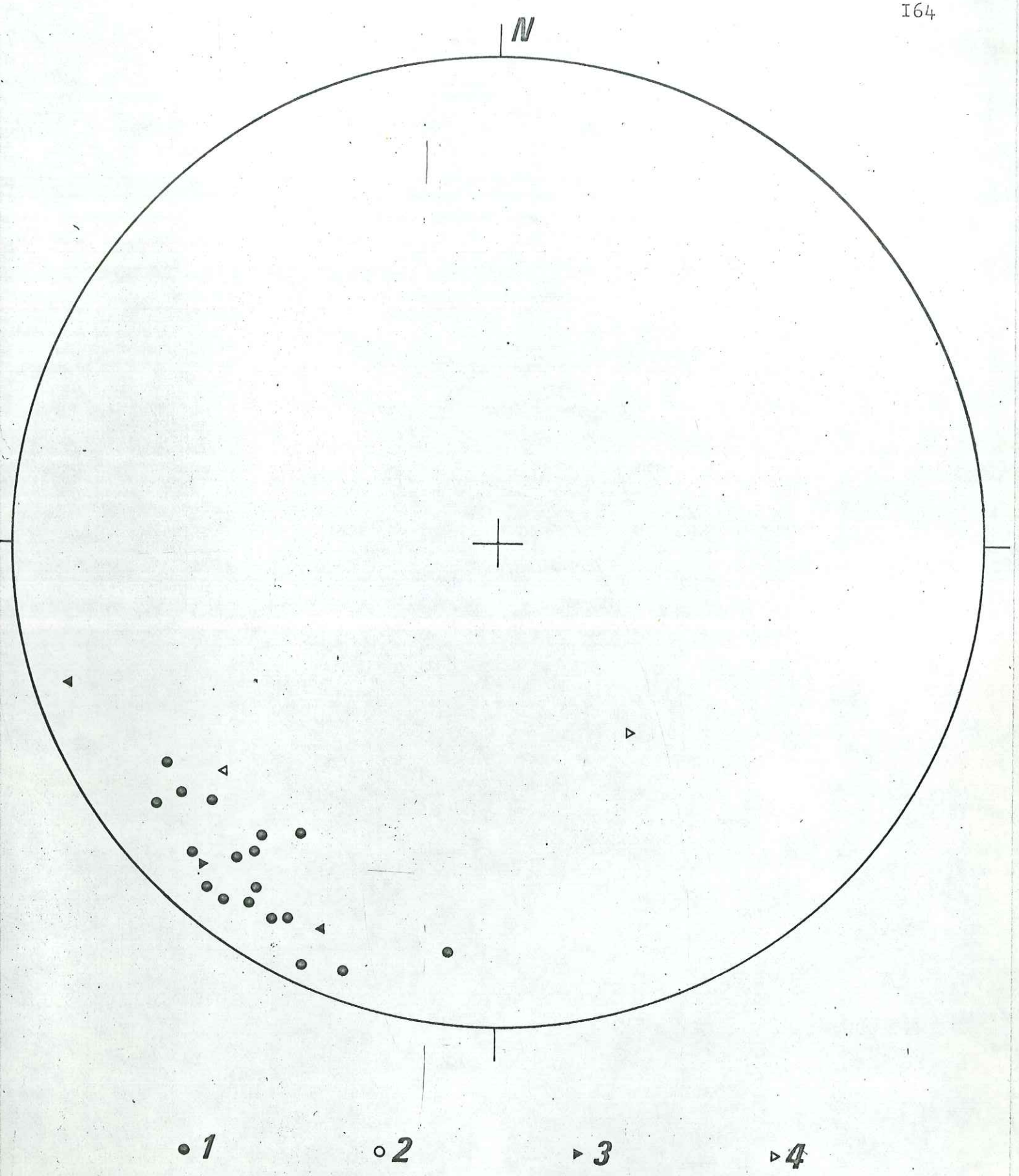


FIG. 38

III - Rapports entre les conditions de sédimentation et l'aimantation rémanente

Les directions des apports sédimentaires au Permien dans le dôme de Barrot étaient très probablement:

+ Sud-Nord: sédiments provenant de la région de l'Estérel.

+ Est-Ouest: apports venant de zones alpines plus internes.

Les directions d'aimantation rémanente (vecteurs dirigés vers le Sud Ouest) ne semblent donc pas être en rapport avec celles des apports sédimentaires (fig. 40).

Les minéraux constitutifs des pélites permiennes sont essentiellement phylliteux (P. Bordet 1950). Leur position lors de leur dépot est probablement liée à leur forme. La surface sur laquelle ils se déposent étant plane, leur inclinaison doit être assez faible. Il est donc possible que l'inclinaison de l'aimantation rémanente mesurée pour ces pélites soit en réalité plus faible que celle du champ magnétique permien, les minéraux étant "bloqués" avant d'atteindre la position que leur donnerait le champ magnétique .
Dans ce cas, la position limite atteinte par ces minéraux phylliteux pourrait être liée à leur taille, à leur densité,...

IV - Rapports entre les compressions et l'aimantation rémanente

I°/ Etude des échantillons prélevés dans la vallée de la Tinée

La figure 39 rassemble les directions d'aimantation

Fig.39 : Directions des vecteurs aimantation rémanente dans la vallée de la Tinée

Echantillons prélevés dans: I et 2: les séries de Saint Sauveur et de Capeirotto.

3 et 4: la série du Bégo

I et 3: vecteur dirigé vers le haut

2 et 4: vecteur dirigé vers le bas.

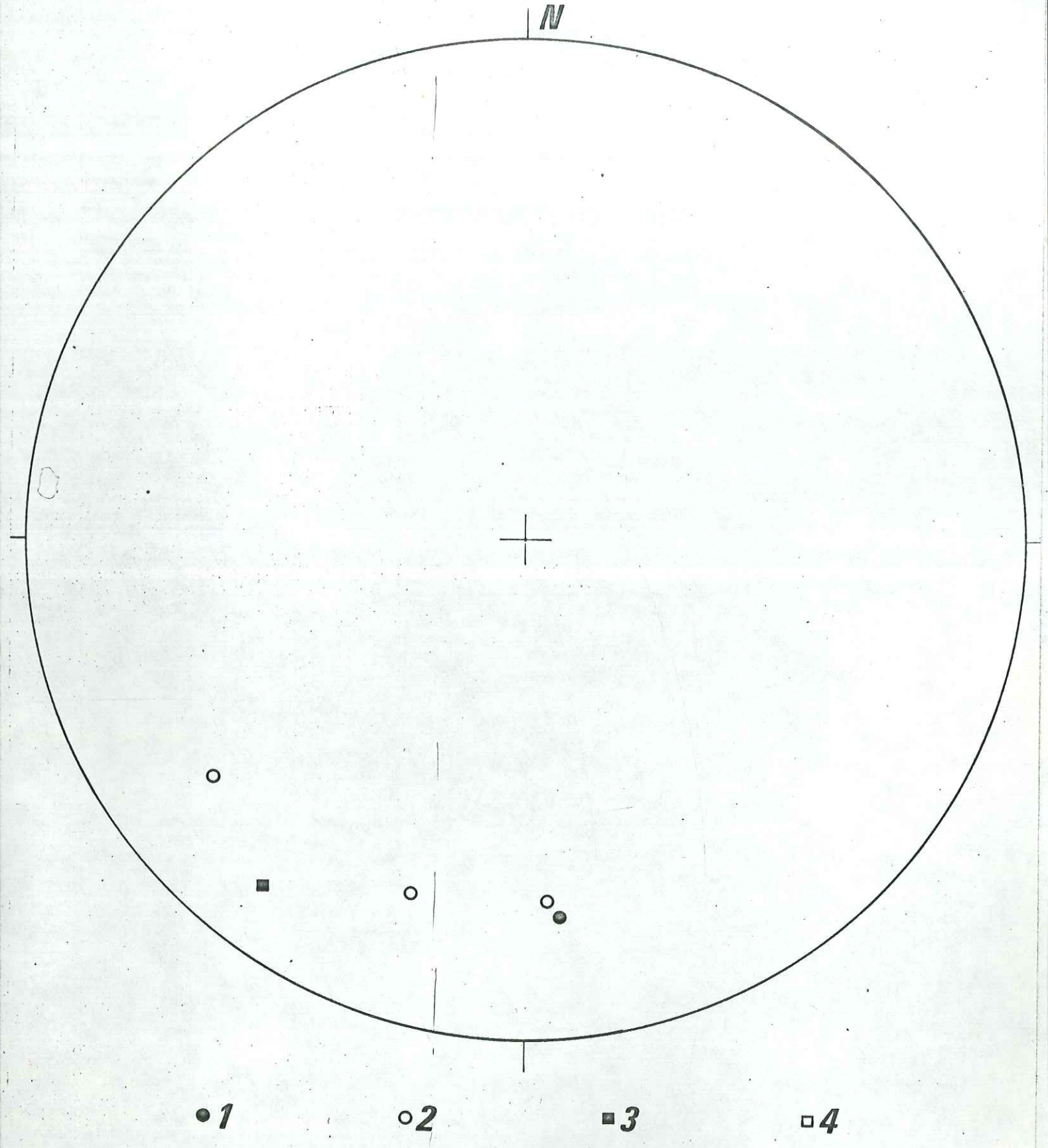


FIG. 39

rémanente des échantillons de la vallée de la Tinée qui ont une valeur suffisante, pour être significative, de l'aimantation. Aucune correction de pendage n'a pu être effectuée.

Nous pouvons remarquer que, très grossièrement, la même direction d'aimantation que celle mesurée dans le dôme de Barrot existe dans la vallée de la Tinée. Mais, dans cette dernière région, les roches sont très schistosées et déformées.

2°/ Echantillons du dôme de Barrot

a) Les roches du dôme de Barrot ont été déformées sur toute sa surface. Il est donc difficile d'admettre que l'aimantation rémanente n'a pas été modifiée depuis le Permien et de déterminer un pôle géomagnétique à partir des mesures faites dans le dôme de Barrot.

De plus, nous avons vu (étude microtectonique) que le Permien du dôme de Barrot est peut être décollé de son socle.

b) La figure 40 montre que la direction générale des compressions alpines coïncide, peut être par un simple hasard, avec celle de l'aimantation rémanente.

c) Nous avons cherché les correlations pouvant exister, dans chaque échantillon, entre la direction de compression déterminée par la mesure d'anisotropie et celle de l'aimantation rémanente.

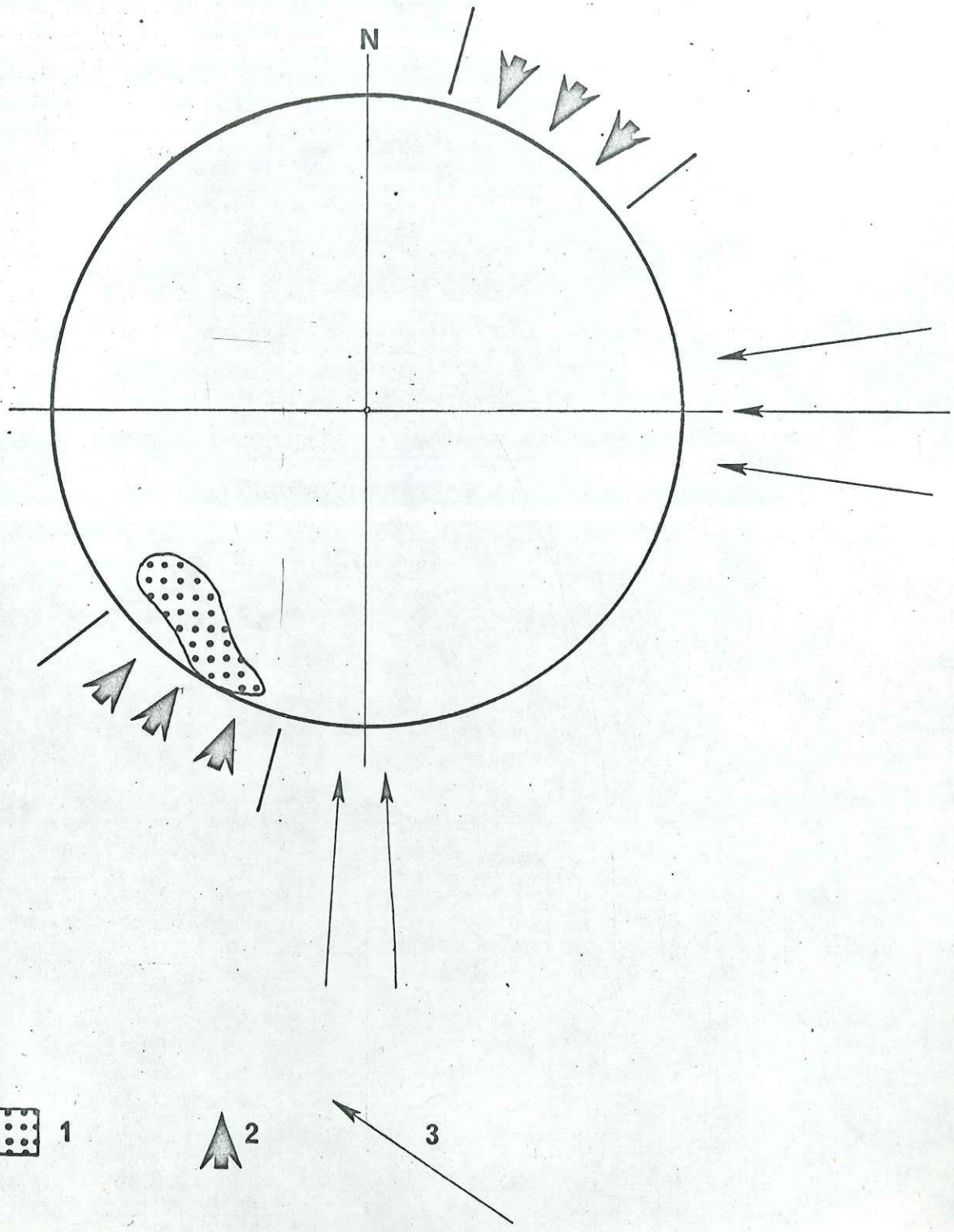
Fig.40 : Relations des directions de compression et des directions d'apports sédimentaires avec l'orientation des vecteurs aimantation rémanente (projection stéréographique de ces vecteurs dirigés vers le haut).

I : vecteurs aimantation rémanente

2 : direction générale des compressions de la phase paroxysmale alpine (reconstituée par l'étude de l'anisotropie de susceptibilité magnétique et l'observation de la schistosité et de la microfissuration).

3 : directions probables des apports sédimentaires.

FIG. 40



Pour 25 % des échantillons, l'angle séparant ces deux directions est inférieur à 5°,

pour 25 %, il est compris entre 5° et I5°,

pour I7,6 %, il est compris entre I5° et 25°, et

pour 32,4 %, il est supérieur à 25°.

Il faut souligner que ces pourcentages sont valables quelque soit l'orientation des directions elles même.

d) Nous avons étudié également les valeurs de l'angle séparant l'axe de susceptibilité intermédiaire du vecteur aimantation rémanente, dans chaque échantillon:

moins de I°	8,8 %	des échantillons
de I° à I0°	8,8 %	" "
de I0° à I5°	22,0 %	" "
de I5° à 25°	30,8 %	" "
plus de 25°	29,4 %	" "

Ces pourcentages sont, comme dans le paragraphe précédent, indépendants de l' orientation des axes eux mêmes

e) Ces differentes statistiques indiquent qu'il ne faut pas exclure la possibilité d'une liaison entre compressions et aimantation rémanente dans le dôme de Barrot. Il est donc possible que sous les compressions alpines, les directions d'aimantation rémanente aient été modifiées.

Nous manquons actuellement d'elements pour trancher la question du rapport possible entre aimantation rémanente et contraintes. L'étude des propriétés magnétiques d'autres massifs anciens devrait permettre de résoudre ce problème.

ESSAI DE RECONSTITUTION DE L'EVOLUTION TECTONIQUE DU DOME DU BARROT

Sommaire

I - Phase palatine s. l. I72
II - Phases ou étapes tectoniques ayant donné naissance aux failles de type A, B et C I72
III - Phase de compression alpine majeure I73
IV - Phase de soulèvement post-paroxysmale I74
V - Mouvements très récents I74

I - Phase palatine s.l.

Cette phase est essentiellement caractérisée par l'apparition de déformations à grand rayon de courbure. Certaines fractures sont peut-être nées de cette époque.

II - Phases ou étapes tectoniques ayant donné naissance aux failles de type A (ENE - WSW), B (NNE-SSW) et C (NW-SE)

Ces accidents sont apparus après le dépôt du "Werfenien" Leur naissance peut avoir précédé de peu la phase de compression alpine. En tout état de cause, la part des différentes phases tectoniques antéparoxysmales, dont les témoins ont été retrouvés dans les régions voisines, est difficile à faire ici.

Les études de P. Bordet (1950) ont montré que le dôme était vraisemblablement déjà en partie individualisé avant la phase majeure et que sa couverture était en partie décollée. Ces phénomènes ont pu se produire précocement.

Certains réseaux de faille ont donc pu apparaître dès les phases de Crétacé ou lors de la phase pyrénéenne.

Le rejet vertical des failles pouvait atteindre 100 m. Les accidents ayant un jeu important (failles directes, verticales ou inverses) avaient tous un regard ouest (nord-ouest pour les failles A, sud-ouest pour les failles C).

Après cette période, la partie Est du dôme de Barrot dominait vraisemblablement les régions ouest.

La morphologie de la région située entre Argentera et Barrot pouvait alors présenter l'un des deux "profils" ci-dessous, avant la phase de compression .

a) La partie est du dôme de Barrot était un horst, dominant également l'actuelle région de Saint-Sauveur.

b) L'Est du dôme de Barrot formait une "marche d'escalier" entre deux plateaux (couches subhorizontales ou monoclinales), le premier était situé dans le secteur de Daluis, et l'autre dans l'Argentera).

III - Phase de compression alpine majeure

Cette phase a fait naître une schistosité générale dans la partie nord-orientale du Barrot. Suivant leur orientation, les accidents anciens ont alors évolué en faille-pli ou pincée (groupe C) ou en décrochement (groupes A et B).

Tous les intermédiaires existent entre la microfissuration et la schistosité de flux franche avec recristallisation, lorsqu'on se dirige vers l'Argentera. Le rapprochement entre Argentera et Barrot était donc effectué avant la fin de cette phase.

L'observation de la schistosité et l'étude de l'anisotropie de susceptibilité magnétique mettent en évidence vers la bordure sud du massif une nette variation des directions des compressions alpines. Cette variation peut être due à la présence d'un accident majeur (dirigé sensiblement E-W ou ENE-WSW) passant au Sud du dôme de Barrot.

Il est possible que la série permienne du Barrot soit décollée de son socle.

IV - Phase de soulèvement post-paroxysmale

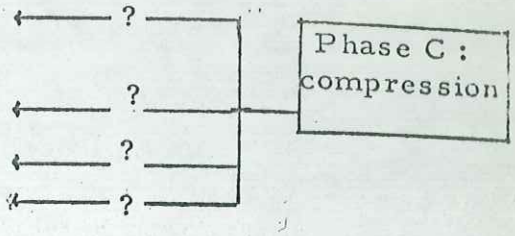
Ce soulèvement s'est fait, en un ou deux temps, avec extension en surface et peut-être sous l'action de compressions profondes. Celles-ci n'auraient pas été, dans ce cas, suffisantes pour modifier les propriétés magnétiques des roches du Barrot.

Certaines failles ont rejoué, d'autres sont apparues (parfois très importantes: faille de Pra d'Astier : rejet vertical minimum 800 m). De très nombreuses diaclases, centimétriques à hectométriques, se sont en même temps ouvertes.

V - Mouvements très récents

P. Bordet (1950) et J. Vernet (1958) ont montré que les mouvements récents, mis en évidence par l'étude des dépôts du Var, ont affecté certains secteurs au moins du Barrot (gorges de Daluis).

Phase antéwerfenienne (amorcée avec le dépôt de Léouvé)
(Phase) A : Extension
(Phase) B : Compression (?)
Phase de compression alpine majeure
Phase de soulèvement post-paroxysmale (1 ou 2 temps) : extension en surface



BIBLIOGRAPHIE

Abréviations: B.S.C.G.F. Bull. Serv. Carte Géol. France.

C.R.A.S. Comptes Rendus Acad. Sciences.

C.R.S.S.G.F. Comptes Rendus Som. Séanc. Soc. Géol. Fr.

AREVIAN A. et CORSIN P. (I956) Sur la présence de Permien inférieur à plantes dans la vallée de la Roya. C.R.A.S., t 243, p I776.

ARTHAUD F. et MATTAUER M. (I969) Les déformations naturelles -Essai d'évaluation des conditions pression-température de differents types de déformations. Rev. Ind. Minérale.

ASHWORTH T. P. et NAIRN A. E. M. (I965) An anomalous Permian pole from Corsica. Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol., I, n° 2, p II9-I25.

BERTRAND L. (I896) Etude géologique du Nord des Alpes Maritimes. B.S.C.G.F., IX, n° 56.

BOBIER C. et GUILLAUME A. (I966) Résultats d'études préliminaires sur le magnétisme des roches éruptives des abords du Monte Besimauda (Piemont). C.R.A.S., t 263, p I367-I370.

BORDET P. (I945) Présence de tufs volcaniques dans les sédiments permiens du dôme de Barrot. C.R.S.S.G.F., p 2I.

" (I949) Sur l'allure des plis de couverture du Sud Ouest du massif de l'Argentera-Mercantour. C.R.A.S., t 228, p 408.

" (I950) Le dôme permien de Barrot et son auréole de terrains secondaires. B.S.C.G.F., 228, XLVIII, p 5I-89.

BORDET P. et LEMOINE M. (I948) Les accidents tectoniques de la bordure sud ouest du dôme de Barrot. C.R.A.S., t 226, p II02.

DALY L. (I959) Sur l'anisotropie magnétique des roches déformées, et la nature de leur aimantation rémanente naturelle. C.R.A.S., t 248, p 26I4-26I6.

" (I966) Sur la liaison entre les phénomènes de déformation dans les roches et leur ellipsoïde d'anisotropie magnétique. C.R.A.S., t 263, p I8I6-I8I9.

" (I967) L'anisotropie magnétique des roches et sa mesure par un inductomètre à translation. Ann. Géophys. t 23, fasc 4, p 6I9-627.

DALY L. (I970a) Application des mesures d'anisotropie de susceptibilité magnétique à divers problèmes géologiques et géophysique. Rev. Géogr. phys. Géol. dyn., vol. XII, fasc. 3, Paris.

" (I970 b) Etude des propriétés magnétiques des roches métamorphiques ou simplement tectonisées. Nature de leur aimantation naturelle. Détermination de leur anisotropie magnétique et application à l'analyse structurale. Thèse, Paris.

DALY L. et FORMONT R. (I969) Détermination des faibles anisotropies magnétique des roches et autres matériaux par la méthode du pendule de torsion. C.R.A.S., t 268, p II0-II2.

DEBELMAS J. (I966) Progrès recents et perspectives nouvelles de la géologie des Alpes occidentales franco-italiennes. Ann. Soc. Géol. Belgique, 89, Bull. 9, p 8424-8446.

DEBELMAS J. et LEMOINE M. (I964) La structure et l'évolution paléogéographique de la chaine alpine d'après les travaux recents. L'information scientifique, n° I, p 33, Baillère edit. Paris.

DE JONG K. A. et ZIJDERFFLD J. D. A. (I969) Paléimagnétism research in Sardinia. Nature.

DIETZEL G. F. L. (I960) Geology and permian paleomagnetism of the Merano region - province of Bolzano, Italy. Geol. Ultraiectina n° 4, p I à 57.

FALLOT P. (I943) Feuilles de Puget Theniers et de Saint Etienne de Tinée au I/ 50 000, B.S.C.G.F., XLV, n° 2I6.

FAURE MURET A. (I955) Etudes géologique sur le massif de l'Argentera-Mercantour et ses enveloppes sédimentaires. (Thèse I953, Paris). Mem. Carte Géol. France.

GLANGEAUD L. (I944) Le rôle des failles dans la structure du Jura externe. Bull. Soc. hist. nat. Doubs, n° 5I, p I7-38

" (I949 a) Le rôle du socle dans la tectonique du Jura. Ann. Soc. Géol. Belgique, p 57-94, t 73.

" (I949 b) Les caractères structuraux du Jura. Bull. Soc. Géol. France, XIX, p 669-688.

" (I955) Classification scalaire des Sciences de la matière et de leurs méthodes. Rev. générale des Sciences, LXII, n° 5, 6, p 30.

GOGUEL J. (I936) Description tectonique de la bordure des Alpes de la Bléone au Var. Mem. Carte Géol. France

" (I949) A propos du glissement de la couverture au Sud Ouest du massif de l'Argentera. C.R.A.S., t 228, p 698.

GRAHAM J. W. (I954) Magnetic susceptibility anisotropy, an unexploited element of petrofabric. Géol. Soc. Amer. Bull, vol. 65, p I257-I258.

GUILLAUME A. (I967) Contribution à l'étude géologique des Alpes liguro-piemonaises, Thèse, Paris.

GUILLAUME A. et TOUSSAINT J. F. (I965) Précisions stratigraphiques et microstructurales sur le Permien et le Trias basal de la haute vallée de la Roya (massif de l'Argentera - Alpes Maritimes). C.R.A.S., t 26I, p 4I59-4I6I.

HAMILTON N. et LOVELAND J. P. (I967) Some preliminary susceptibility anisotropy measurements on greywackes from the Trinity peninsula series of Graham Land. British Antarct. Surv. Bull., nº II, p 59-7I.

HAMILTON N. et REES A. I. (I965) The anisotropy of magnetic susceptibility of the Franciscan rocks of the Diablo Range, central California. Scripps Institution of Oceanography, San Diego, MPL Technical Memorandum, nº I64, 38 p.

HENRY B. (I97I) Application de l'anisotropie de susceptibilité magnétique à la tectonique du dôme permien de Barrot. C.R.A.S., t 272, p I586-I589.

KRUSEMAN G. P. (I962) Etude paléomagnétique et sédimentologique du bassin permien de Lodève - Hérault france. Geol. Ultraiectina, nº 9, p 66.

LABROUSTE Y. H., BALTENBERGER P., PERRIER G., et RECQ M. (I968) Courbe d'égale profondeur de la discontinuité de Mohorovicic dans le Sud-Est de la France. C.R.A.S., t 266, p 663-665.

LAURENTIAUX-VIEIRA F. et LAURENTIAUX D. (I963)Découverte d'un insecte Protodonate dans le Permien des Alpes Maritimes. C.R.A.S., t 257,p 30I8-3020.

MATTAUER M. (I967) Introduction à la microtectonique. Sciences Progrès; La Nature, nº 3383, p 8I-89.

MECHLER P. (I967) L'épaisseur de la croute terrestre déterminée par l'enregistrement de seismes lointains en des stations voisines. (Thèse) Paris.

NAIRN A. E. M. (I957) Observations paléomagnétiques en France : roches permiennes. Bull. Soc. Géol. France,(6), VII, p 72I--727.

NAIRN A. E. M. et WESPHAL M. (I968) Possible implication of the paléomagnetic study of late paleozoic igneous rocks of northwestern Corsica. Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol., vol. 5, p I79-204.

RECQ M. (I967) Structure de la croute terrestre en Provence, d'après les expériences du Revest et du lac Nègre. C.R.A.S., t 264, p I588-I59I.

" (I970) Courbes d'égale profondeur de la discontinuité de Mohorovicic en Provence. C.R.A.S., t 270, p II-I3.

REES A.I. (I965) The use of anisotropy of magnetic susceptibility in the estimation of sedimentary fabric. Sedimentology, 4, n° 4, p 257-27I.

RICOUR J. (I962) Contribution à une révision du Trias français (Thèse Paris I960) Mem. Carte Géol. France,p 47I.

ROCHE A. (I957) Sur l'aimantation des roches volcaniques de l'Estérel. C.R.A.S., t 244, p 2952-2954.

ROCHE A., SAUCIER H. et LACAZE J. (I962) Etude paléomagnétique des roches permiennes de la région Nideck-Donon. Bull. Serv. Carte Géol. Alsace Lorraine, I5, n° 2, p 59-68.

ROCHE A. et WESPHAL M. (I969) Sur la direction d'aimantation des roches volcaniques permiennes de la vallée du Guil. C.R.S.S.G.F.,p 2[illegible]-242

RUTTEN M. G. (I959) Ignimbrites permiennes de l'Estérel. C.R.S.S.G.F., p I68-I69.

" (I963) Paleomagnetism and Tethys. Geol. Vereningung Bern.

" (I964) Permian volcanics. V Congrès int. Strat. Géol. Carbonifère, Comptes Rendus, t I, p II7.

RUTTEN M. G., VAN EVERDINGEN R. O. et ZIJDERFELD J. D. A. (I957) Paleomagnetism in the Permian of the Oslo graben (Norway) and of the Esterel (France). Geol. Mijnb., I9, p I93-I95.

SCHUILLING R. D. (I956) Jointing in the permian dôme de Barrot - S. France. Geol. Mijnb., I8, p 227-234.

STACEY F. D. (I960)-Magnetic anisotropy of igneous rocks. J. Geophys. Res., U.S.A., 65, n° 8, p 2429-2442.

THELLIER E. (I936) Détermination de la direction de l'aimantation permanente des roches. C.R.A.S., t 203, p 743-744.

" (I938) Sur l'aimantation des terres cuites et ses applications géophysiques. (Thèse Paris) Ann. I. P. G. Paris, t I6, p I57-302.

THELLIER E. et RIMBERT F. (I954) Sur l'analyse d'aimantations fossiles par action de champs magnétiques alternatifs. C.R.A.S., t 239, p I399-I40I.

" (I955) Sur l'utilisation en paléomagnétisme de la désaimantation par champs alternatifs. C.R.A.S., t 240, p I404-I406.

VAN DEN ENDE C. (I970) Secular variation in the permian redbeds from the dôme de Barrot (France). Paleogeophysics. (S. K. Runcorn) Acad. Press London and New York, p I0I-II6.

VAN DER VOO R. et ZIJDERFELD J. D. A. (I969) Paleomagnetism in the western mediterrannean area. Symposium on the probleme of oceanization in the western mediterrannea. Verk. Kon. Nederl. Geol. Mijnb. Genootsch, p I20-I37.

VAN HILTEN D. et ZIJDERFELD J.D.A. (I966) The magnetism of the permian porphyries near Lugano (northern Italy, Switzerland). Tectonophysics, vol. 3, (5), p 429-446.

VERNET J. (I957) Sur une propriété structurale du socle de l'Arc des Alpes occidentales. C.R.S.S.G.F., p I55.

" (I958) Sur la tectonique du socle permo-werfenien du dôme de Barrot. Trav. Lab. Géol. Fac. Sciences Grenoble, t 34, p 2I9-290.

" (I963) Remarque sur le Permien du massif de l'Argentera et du dôme de Barrot. Trav. Lab Géol. Fac. Sciences Grenoble, t 39, p I99-2I2.

VISSCHER H. (I968) On the Thuringian age of the upper paleozoic sedimentary and volcanic deposits of the Esterel (S. France). Rev. Palaeobot. Palynol., 6, p 7I-83.

TABLE DES MATIERES

AVANT PROPOS I

RESUME 2

INTRODUCTION 4

a) Situation du dôme 7

I° / Cadre général 7

2° / Réseau hydrographique 7

3° / Morphologie 7

b) Résumé des précédentes études structurales et magnétiques effectuées dans le dôme de Barrot 9

I° / Etudes structurales 9

2° / Etudes magnétiques IO

c) But de cette étude - méthodes utilisées IO

I° / Problèmes fondamentaux IO

2° / Travaux réalisés - méthodes utilisées I2

d) Plan général de l'ouvrage I2

STRATIGRAPHIE : RAPPEL ET DONNEES NOUVELLES

A/ Le Permien du dôme de Barrot I6

I - Généralités I6

II - Série de Daluis I7

III - Série de type Illion-Léouvé I8

B/ Le Permien de la vallée de la Tinée 20

C/ Le "Werfenien" du Barrot et de la Tinée 22

D/ Conclusions 22

I - Comparaison des deux séries permiennes 22

II - Age réel de ces séries 23

CARTE STRUCTURALE DU DOME DE BARROT 25

A/ Introduction 27

B/ Cartographie 28

C/ Etude des photographies aériennes 33

D/ Interprétation de la carte structurale 34

E/ Remarque concernant la morphologie 36

I84

MICROTECTONIQUE 40

A/ Introduction 4I

B/ Témoins d'une phase de compression majeure 44

I - Existence d'une schistosité générale 44

II - Microfissuration et direction préférentielle d'allongement des mud-cracks 69

III - Rejeu ou déformation d'accidents antérieurs à la phase de compression majeure 7I

IV - Accidents apparus lors de la phase de compression majeure 82

V - Conclusions au chapitre "Microtectonique" 84

C/ Tectonique antérieure à la phase de compression 86

I - Introduction 86

II - Accidents dirigés WSW-ENE (Groupe A) 89

III - Accidents dirigés NNE-SSW (Groupe B) 90

IV - Accidents dirigés NW-SE (Groupe C) 9I

V - Remarque sur l'évolution de la fissuration liée aux accidents de type A, B et C 92

VI - Chronologie des phases A, B et C 93

VII - Existence possible de structures anté-werfeniennes 94

ETUDE DES PROPRIETES MAGNETIQUES DES ROCHES DU DOME DE BARROT 96

A/ Introduction 98

I - Plan de ce chapitre 98

II - Prélèvement d'échantillons orientés 99

III - Taille des échantillons I02

IV - Mesure de l'aimantation rémanente I03

V - Mesure de l'anisotropie de susceptibilité magnétique I04

VI - Présentation des résultats I05

B/ Etude de l'anisotropie de susceptibilité magnétique I06
I - Résultats acquis par l'étude d'autres séries I06
II - Etude des résultats pris globalement I08
III - Etude des résultats groupés par série stratigraphique I26
IV - Directions générales des compressions I3I
V - Recherche des directions de paléocourants I36
VI - Rapport entre microstructures et anisotropie de susceptibilité magnétique I42
VII - Conclusions I5I
C/ Etude de l'aimantation rémanente I52
I - Rappel des résultats acquis par les travaux antérieurs I52
II - Etude des résultats I55
III - Rapports entre les conditions de sédimentation et l'aimantation rémanente I65
IV - Rapports entre les compressions et l'aimantation rémanente I65
ESSAI DE RECONSTITUTION DE L'EVOLUTION TECTONIQUE DU DOME DE BARROT I70

BIBLIOGRAPHIE I76