Zeitschrift: Archives des sciences [1948-1980]

Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève

Band: 10 (1957)

Heft: 1

Artikel: Observations sur le développement et l'allure de la schistosité dans l'Apennin septentrional

Autor: Fourmarier, P.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-738687

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

OBSERVATIONS SUR LE DÉVELOPPEMENT ET L'ALLURE DE LA SCHISTOSITÉ DANS L'APENNIN SEPTENTRIONAL

PAR

P. FOURMARIER

(Avec 23 fig.)

INTRODUCTION

Au cours de ces dernières années, j'ai procédé à une étude de la schistosité dans les Alpes en Suisse, en France et en Italie; je me suis attaché spécialement à dégager quelques indications générales sur le développement de ce type de déformation intime de la matière consistant dans le débitage des roches en feuillets habituellement obliques à la stratification [1, 2, 3].

J'ai essayé de préciser l'allure des fronts de schistosité entre lesquels ce feuilletage est localisé, ce qui m'a conduit à définir le microplissement et à mettre en évidence les relations entre les divers types de microtectonique. J'ai cherché aussi à voir si la disposition des joints de schistosité répond à une règle générale; à cet égard, j'ai pu dégager quelques indications permettant de mettre mieux en lumière les relations entre l'allure de la schistosité et l'orientation des contraintes qui ont provoqué sa formation et donné naissance aux zones plissées elles-mêmes.

Arrivé à la Méditerranée, l'arc alpin se prolonge par l'Apennin. Aussi m'a-t-il paru logique de poursuivre mes recherches sur le problème de la schistosité dans les zones plissées récentes en m'attaquant à l'Apennin septentrional. J'ai parcouru ainsi

le pays compris entre Savona à l'ouest de Gènes et la vallée de l'Arno entre Pisa et Firenze (Florence).

Je tiens à adresser ici mes très vifs remerciements à mes deux éminents collègues, les professeurs Merla, de Florence, et Trevisan, de Pise, dont les travaux m'ont été d'un précieux secours. Grâce à leur amabilité, j'ai pu participer à la belle excursion qu'ils ont dirigée en avril 1953 de l'île d'Elbe à Florence, excursion au cours de laquelle ont été envisagés les principaux problèmes de tectonique que pose cette vaste contrée.

Je désire exprimer aussi ma vive gratitude à mon ami l'ingénieur Dario Raffo qui, en sa qualité de directeur général du Service minier de la Société Monte-Catini, m'avait obtenu auparavant l'autorisation de visiter les belles exploitations de marbre que possède cette société dans la région de Carrare et près de La Spezia. Et je m'en voudrais de ne pas remercier aussi M. l'ingénieur Francesco Ferrucci, directeur de ces exploitations, qui m'a accueilli d'une façon charmante et m'a donné toutes facilités sur le terrain.

* * *

Au cours de divers séjours dans l'Apennin septentrional, j'ai pu visiter plusieurs coupes transversales sur toute la largeur de la chaîne. J'ai pu m'arrêter assez longuement dans les Alpes Apuanes qui forment le cœur de l'une des grandes rides entre lesquelles se répartissent les formations de l'Apennin et où les actions de métamorphisme ont joué un rôle considérable.

A l'occasion de l'excursion à l'île d'Elbe, j'ai pu examiner aussi les terrains le long de la côte tyrrhénienne et notamment au voisinage du massif granitique de Campiglia, où j'ai fait des observations de grand intérêt bien qu'il s'agisse d'une partie de la chaîne au sud du territoire qui a fait l'objet de mes études.

La carte jointe couvre l'étendue de la région visitée. Pour plus de clarté, quelques noms de localités seulement ont été indiqués en entier; d'autres sont remplacés par des chiffres correspondant au tableau joint à la carte.

Chapitre premier

COUPE TRANSVERSALE DE L'APENNIN ENTRE GENOVA-RAPALLO ET PIACENZA

Je prendrai comme point de départ une coupe joignant Genova (Gênes)-Rapallo, sur la mer Tyrrhénienne, à la bordure de la plaine du Pô aux environs de Piacenza (Plaisance). Cette coupe est relativement simple et permet d'avoir une idée générale de la constitution de l'Apennin septentrional. J'ai complété mes observations le long de cet itinéraire par une série de coupes accessoires prises de part et d'autre en vue de contrôler mes conclusions.

1. Entre la côte et Torriglia.

A la sortie de Gênes, on traverse une large zone où affleurent, le long de la route, des calcaires gris bleu ou rougeâtres alternant avec des schistes calcareux, bigarrés de vert et de rouge. Ces roches sont notées *al* sur la feuille Rapallo de la carte géologique italienne, feuille levée par Zaccagna; elles sont rangées dans l'Eocène [1], mais elles sont probablement oligocènes.

Passé le village de Prato, à mi-distance entre Genova et Bargagli, la route recoupe un niveau inférieur, noté également *al* sur la même carte; ce sont des calcaires bleus argileux avec intercalations de schiste calcareux, gris foncé ou noir; ces couches forment des plis d'allure tranquille; on les suit jusqu'à Bargagli.

Pour ne préjuger de rien quant à leur âge exact, je désignerai cet ensemble à calcaire dominant sous le nom de calcaire de Gênes-Rapallo.

Au-delà de Bargagli, la nature lithologique change; la carte géologique indique d'ailleurs que l'on est passé de la

[1] Le professeur L. Trevisan me dit à ce sujet: « Ce calcaire a les caractères lithologiques du « calcare alberese » qui ailleurs, par exemple aux environs de Firenze, contient des fossiles d'âge éocène. »

formation notée *al* à celle portant la notation *gl*. Les roches consistent essentiellement en calcschistes, et en schiste argileux gris, plus ou moins foncé, dans lequel sont intercalés des bancs de calcaire argileux, de calcaire siliceux ou des masses volumineuses de grès grossier noté e^{ar} [1].

La disposition des terrains le long de la grand-route de Torriglia et aussi de la route secondaire par Davagna (au SSW du point 20) permet de montrer sans doute possible que la formation essentiellement calcaire repose sur celle où dominent les schistes. D'ailleurs, à l'entrée de Torriglia, une carrière est ouverte dans les bancs inférieurs de la série calcaire; ces bancs dessinent un synclinal déversé vers l'ouest, entouré par le terrain schisteux sous-jacent.

Le long de la grand-route de Gênes à Torriglia, la série à schiste dominant affleure depuis Bargagli jusqu'à Torriglia. Ses couches sont affectées de plis bien marqués, parfois du type des plis couchés, ce qui s'explique par la déformabilité plus grande du matériel schisteux par rapport aux calcaires. Lorsqu'il y a déversement, les plis sont en général poussés vers l'ouest.

Dans ce grand ensemble, on observe les particularités suivantes en ce qui concerne la schistosité.

a) Le premier niveau rencontré, c'est-à-dire les calcaires avec schiste rouge, sont affectés par une schistosité grossière qui manque parfois; dans ce cas, on observe un débitage en baguettes. On a bien l'impression d'être au voisinage du front supérieur de schistosité, très pen en dessous de celui-ci, voire à son niveau;

b) Dans la série des calcaires gris ou bleus avec intercalations de schiste noir ou gris plus ou moins sombre, la schistosité est déjà plus nette, bien qu'elle soit encore du type de la schistosité de fracture. Comme dans le niveau précédent, les bancs de calcaire peu épais sont traversés de veines de calcite assez larges, du type que j'ai appelé *veines d'étirement*; elles établissent de toute évidence, en effet, que les roches

[1] Ici, comme près de Chiavari, le niveau schisteux est incontestablement inférieur au calcaire de Gênes-Rapallo; ailleurs, un faciès analogue est considéré comme oligocène. C'est le « Macigno » des géologues italiens.

affectées ont été soumises à un effort d'extension dû aux contraintes qui leur étaient appliquées.

Dans le niveau où les calcschistes et les schistes foncés dominent largement, la schistosité est bien développée. Elle apparaît avec une netteté particulière dans les plis quelque peu aigus, tels celui représenté figure 1 B.

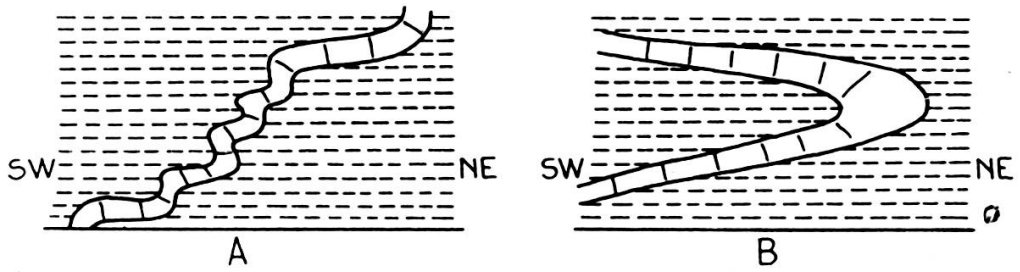


FIG. 1.

Deux cas typiques de schistosité en rapport avec les plis, à 4 km en aval du col (Passo) della Scoffera.

En général, la schistosité est du type de la schistosité de fracture; cependant quand on atteint Scoffera, on a l'impression d'être près de la zone à schistosité de flux, mais il ne faut peut être y voir que l'influence de la nature des schistes. Quant à son allure, le feuilletage oblique des roches montre une régularité remarquable: partout les feuillets ont une inclinaison voisine de l'horizontale.

En plusieurs endroits, ma première impression fut de conclure à l'absence de schistosité; toutefois, un examen plus attentif m'a bientôt convaincu de mon erreur. Le débitage en feuillets parallèles à la stratification existe là où les couches schisteuses sont elles-mêmes voisines de l'horizontale ou de pente très faible. Mais dès que les bancs prennent une inclinaison plus marquée, ou qu'ils montrent des replis, tels ceux représentés à la figure 1, le feuilletage est oblique à la stratification et correspond à une schistosité normale. Le parallélisme entre le feuilletage et la stratification n'est, par conséquent, qu'un cas particulier de la schistosité oblique; cette disposition tient à ce que, au cours des déformations tectoniques, les couches ont pris une disposition telle que leur inclinaison était très voisine de celle imposée au clivage par les forces en action. On serait

tenté de dire qu'il s'agit d'un cas, peut être un peu particulier, de ce que j'ai appelé « pseudofoliation » [4]. La disposition du croquis B de la figure 1 en donne la preuve; à la charnière, le feuilletage recoupe les strates, mais il lui devient subparallèle dès que l'on considère les flancs du pli serré.

J'ai observé un bel exemple de ce que je viens de dire dans un petit affleurement le long de la route de Davagna (fig. 2).

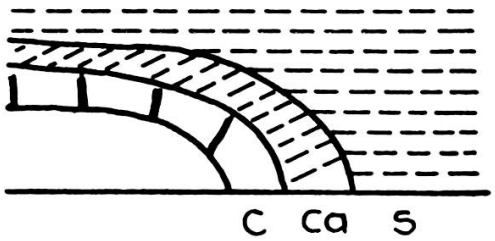


FIG. 2.

Coupe de détail le long de la route de Davagna.
C = calcaire. *Ca* = calcaire argileux.
S = schiste calcareux.

Dans le banc de calcaire *C*, la schistosité n'existe pas; par contre, des veines d'étirement y sont bien marquées. Dans le banc schisteux *S*, la schistosité oblique est bien apparente et presque horizontale; dans le banc de calcaire argileux *Ca*, par contre, l'inclinaison est plus forte à cause de la différence dans la composition de la roche, fait bien connu partout où la schistosité s'est développée normalement.

J'ai fait des observations identiques aux précédentes le long de la route de Scoffera à Uscio et à Recco.

De Scoffera à Uscio, les tranchées de la route sont taillées dans des schistes sombres et calcschistes avec bancs peu épais de calcaire, affectés par endroits de plis serrés; certains de ces plis ont leur plan axial presque horizontal. Dans toute cette zone à roches schisteuses dominantes, les plans de schistosité sont peu inclinés et même très voisins de l'horizontale.

Cet ensemble est désigné sur la feuille Rapallo de la carte géologique d'Italie par la notation *gl*, « Scisti galestrini con straterelli di calcare palombino e di arenaria ».

A peu de distance au sud d'Uscio, la vallée atteint la série des calcaires avec intercalations de schiste sombre. Ces cal-

caires sont plus redressés que dans la coupe visible le long de la route de Gênes à Torriglia. Les schistes montrent un clivage grossier moins incliné que la stratification.

La présence d'une zone très dérangée au village même d'Uscio pourrait laisser croire que les deux séries à faciès lithologique si différent sont mises en contact par faille. Je n'avais pas le loisir de me livrer à une étude détaillée de la région pour élucider ce point, mon objectif étant tout autre. Il me suffisait d'avoir pu me convaincre que la formation à schiste dominant est surmontée par la série des calcaires avec le niveau à bancs rouges à la partie supérieure.

Cette première partie de mes observations me conduit déjà à une conclusion intéressante: la schistosité va en se développant de plus en plus au fur et à mesure que l'on descend dans la série stratigraphique. Par contre, si au voisinage de Gênes à l'entrée de la route vers Torriglia, le front supérieur de schistosité est approximativement au niveau des calcaires rougeâtres et schistes bigarrés, dans une situation plus septentrionale, telle que les environs immédiats de Torriglia et de Propata, le front supérieur de schistosité m'a bien paru être situé plus bas dans la série stratigraphique: il y passe en plein dans la zone schisteuse, à peu de distance cependant sous la zone calcaire. Le front de schistosité ne correspond donc pas à un niveau stratigraphique constant.

Dans toute cette région, la schistosité présente une pente faible, souvent voisine de l'horizontale. C'est là un argument important lorsqu'il s'agit de déterminer l'orientation des contraintes auxquelles sont dus le plissement et surtout la schistosité.

Je dois rappeler ici un fait remarquable que j'ai signalé récemment dans un autre travail [5]. Alors que, dans la plupart des cas, la schistosité disposée en feuillets parallèles ou en éventail est en relation étroite avec le plan axial des plis secondaires, dans cette partie de l'Apennin j'ai observé la disposition représentée figure 3. On y voit une schistosité voisine de l'horizontale alors que la plan axial des plis secondaires est nettement plus redressé. C'est là une exception à la règle générale; elle s'explique cependant si l'on admet que les contraintes étaient

orientées suivant la verticale, avec tendance à l'étalement de la matière dans le sens horizontal; les plis, par contre, sont en relation avec cette tendance au déplacement général de la matière suivant une surface peu inclinée.

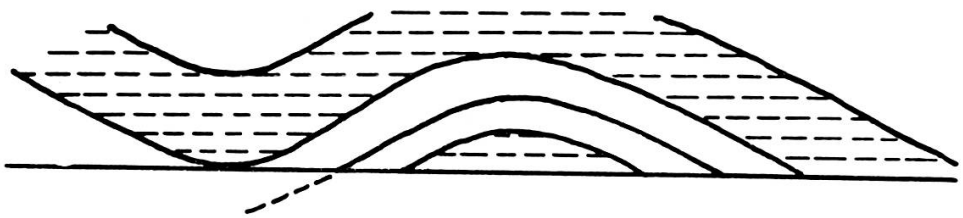


FIG. 3.
Schistosité à pente faible dont l'allure est indépendante de celle des plis. Route de Gênes à Torriglia, entre Prato et Bargagli.

2. AU NORD DE TORRIGLIA (VALLÉE DE LA TREBBIA).

Alors qu'au sud de Torriglia, les plis semblent poussés à l'ouest ou au sud-ouest, la situation est tout autre au nord de cette localité. En divers endroits le long de la route Torriglia-Ottone, j'ai constaté la présence de plis déversés ou déjetés en sens inverse. Celà laisse supposer que Torriglia se trouve sur l'axe d'un large anticlinorium surbaissé. Il est à remarquer aussi que de Torriglia à Ottone, le long de la route, affleurent des schistes foncés avec bancs minces de calcaire, désignés sur la carte géologique (feuille Rapallo) par la notation *gl*, la même que celle usitée pour les roches rencontrées entre Bargagli et Torriglia; toutefois, on constate qu'à partir de cette dernière localité cette formation renferme des massifs de roches vertes (serpentine, ophiolite, diabase). Peu nombreuses au début de la descente vers Ottone, elles atteignent un grand développement en aval de Rovegno, situé à mi-distance entre Montebruno et Ottone. Certains de ces massifs ont un volume considérable.

Les géologues italiens admettent que la présence de ces roches vertes est un caractère typique de la formation qu'ils désignent sous le nom d'« argille scagliose » d'âge principalement éocène-crétacé, et qui serait allochtone dans la plupart des endroits de l'Apennin septentrional où elle se rencontre.

Je n'ai nullement l'intention de discuter ni de l'âge ni du mode de formation et de mise en place de ces terrains d'un aspect si particulier. Je me contenterai de rester dans le domaine de la schistosité et de rechercher si celle-ci s'y présente avec les mêmes caractères que dans les terrains de même nature observés sur l'autre versant de la chaîne, c'est-à-dire entre Bargagli et Torriglia.

Dans les roches affleurant au nord de Torriglia, où l'on voit cependant des plis très bien marqués, je n'ai pas relevé la présence de schistosité oblique, sauf dans de petits plis très écrasés à plan axial voisin de l'horizontale. Cependant, ces roches montrent des traces indiscutables d'écrasement; les bancs minces de calcaire sont traversés par des veines de calcite du type des veines d'étirement; le feuilletage des schistes, même s'il est parallèle à la stratification, indique que la roche a subi des efforts rappelant ceux qui ont conduit à la production de la schistosité. Toute la masse a incontestablement subi des efforts d'écrasement et d'allongement; par contre, il semble qu'elle soit toujours demeurée au-dessus du front supérieur de schistosité, bien qu'elle en ait été probablement très peu éloignée.

Cette différence quant aux déformations intimes entre les massifs situés de part et d'autre de Torriglia laisserait à penser que l'on se trouve en présence de deux massifs étrangers l'un à l'autre du point de vue tectonique, si l'on prenait en considération uniquement la série à schistes dominants. Cependant, j'ai fait remarquer ci-avant que, dans la série à bancs calcaires supérieure à la série des schistes, le front supérieur de schistosité s'abaisse du sud-ouest vers le nord-est, c'est-à-dire du rivage de la mer Tyrrhénienne à Propata situé au nord de Torriglia; en ce dernier endroit déjà, il est en dessous de la zone à bancs calcaires. On peut concevoir que le même phénomène s'accentue au nord de Torriglia et que le front de schistosité descend de plus en plus dans la série stratigraphique au point de se trouver en pleine zone schisteuse.

Les nombreux plis qui affectent les terrains au nord de Montebruno, situé à 7 kilomètres à l'est de Torriglia le long de la route de Piacenza rendent difficile l'estimation de la

distance réelle qui sépare le front supérieur de schistosité de la base de la série à calcaires dominants. Si l'on tient compte de ce que, à l'ouest de la route, ces calcaires affleurent largement à partir d'une certaine hauteur au-dessus de la vallée, on admettra que tout ce qui affleure le long de la grand-route est relativement proche du contact entre les calcaires et les schistes. Or j'ai noté, entre Gorreto (à 4 km en amont d'Ottone) et Ottone, la présence de plis écrasés dans des schistes avec bancs minces calcareux ou siliceux; le feuilletage d'ordinaire parallèle à la stratification, y fait parfois place, à l'endroit des charnières, à une schistosité disposée subhorizontalement comme on le voit au croquis de la figure 4.

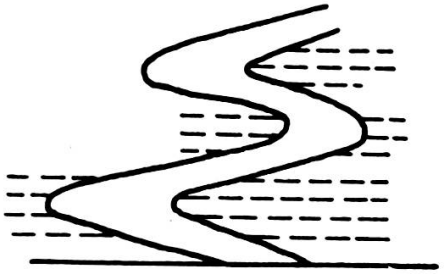


FIG. 4.
Plis couchés avec amorce de schistosité dans une charnière entre Gorreto et Ottone.

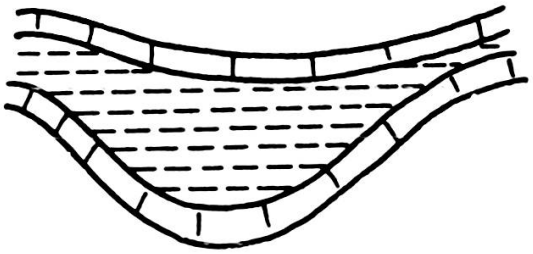


FIG. 5.
Décollement avec schistosité locale, même endroit.

En un autre affleurement (fig. 5), un renflement marqué dans un banc de schiste est également affecté par une schistosité subhorizontale, dont la localisation s'explique par un effort anormal de décollement. Peut-être conviendrait-il de considérer également la schistosité grossière indiquée à la figure 4 comme un cas de schistosité locale en rapport avec un effort anormal.

A 8 km environ au nord d'Ottone, le long de la route, j'ai observé quelques affleurements de schiste sombre avec bancs minces de grès; j'y ai noté la présence d'une schistosité grossière. Ces roches appartiennent, d'après la carte géologique, au sommet de la série *gl*, tandis que la série *al* couronne les hauteurs à l'ouest de la grand-route.

En poursuivant la coupe vers le nord, à l'endroit dénommé Carisasca, à 10 kilomètres au sud de Bobbio, j'ai observé des schistes tendres dont l'allure est assez régulière avec cependant l'amorce de petits plis locaux; les bancs inclinent de 25° au sud-est et le feuilletage de la roche est tantôt parallèle à la stratification, tantôt oblique tout en étant très grossier, et toujours peu incliné.

D'après la carte géologique (feuille Vogherra), il s'agit du niveau marqué *asc* (argiloscisti) qui sont les argiles écailleuses à massifs de roches vertes. Ce niveau doit se trouver au voisinage du front supérieur de schistosité.

Entre Marsiglia, situé à peu près à mi-distance entre Carisasca et Bobbio, et le pont-route à l'entrée sud de Bobbio, la vallée recoupe une série de roches tout à fait différentes. Il s'agit de grès avec intercalations de bancs de schiste souvent assez grossier. Les bancs dessinent un pli déjeté au nord-est (fig. 6). Dans les bancs de schiste, on observe une schistosité

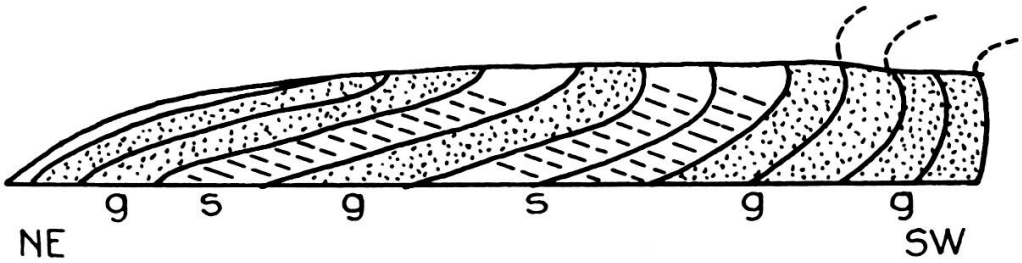


FIG. 6.
Vallée de la Trebbia en amont de Bobbio.
Coupe dans des grès avec schiste montrant une schistosité grossière.
g = grès. *s* = schiste.

grossière, parfois remplacée par un simple débitage en baguettes comme c'est souvent le cas au voisinage du front supérieur de schistosité.

Cette formation gréso-schisteuse est désignée sur la carte italienne par la notation e^{ar} (éocène inférieur). De toute manière, il s'agit d'un niveau antérieur aux roches schisteuses rencontrées en amont de cet horizon gréseux.

Dans la région de Bobbio, la nature des roches est de nouveau différente. D'après la carte géologique, la petite ville est bâtie sur l'Eocène e^{1-2}, mais un peu en aval de l'agglomération apparaissent les « argille scagliose » dans lesquelles sont emballés de volumineux massifs de serpentine. En fait, on trouve au nord de Bobbio des roches comparables à celles situées au sud de la passe de grès grossier figuré ci-avant (fig. 6).

Lorsque, continuant vers le nord, le long de la Trebbia, on atteint Perino, on pénètre dans une zone constituée de schistes tendres (marnes) de teinte claire, avec intercalations de calcaire blanchâtre et des bancs gréseux micacés. Ces roches sont indiquées sous la notation e^{1-2} sur la carte géologique; elles affleurent jusqu'à Rivergaro, où commence la large plaine du Pô.

L'allure de ces roches est relativement tranquille; elles sont affectées de plis ou mieux, d'ondulations dans la plupart des cas, avec tendance à la poussée vers le nord-est. Partout le feuilletage est parallèle à la stratification; il serait difficile, d'ailleurs, de trouver de la schistosité dans des roches dont l'évolution est aussi peu avancée. Si ces formations appartiennent à la série des argiles écailleuses, si leurs couches supérieures sont l'équivalent de la série calcaire de Gênes et de Rapallo, on doit admettre que le front de schistosité est ici plus bas encore, du point de vue stratigraphique, que dans la région située au sud de Bobbio.

Aux environs de cette ville, j'ai parcouru rapidement la région qui s'élève à l'ouest sur la rive gauche de la Trebbia jusqu'à S. Pietro Casasco et le col de Brallo. D'après Schneider, cette région comprendrait une fenêtre tectonique à l'intérieur de laquelle les roches en affleurement seraient de l'Eocène e^{1-2}, tandis qu'à l'extérieur, il y aurait des argiles écailleuses *asc* du côté sud et de l'Eocène e^{1-2} du côté nord [1].

[1] Je fais toute réserve quant à cette interprétation tectonique. La région devrait être soigneusement revue à cet égard.

En aucun point, je n'ai observé de schistosité bien que, dans un ravin (Fosso Turbio), j'ai constaté la présence de plis serrés. Ce n'est que très localement, dans un niveau de schiste rouge intercalé entre deux massifs de roches vertes, que j'ai vu une amorce de schistosité de fracture dans des bancs assez plissés.

La coupe à travers l'Apennin, telle qu'elle vient d'être décrite sommairement entre la mer Tyrrhénienne et la plaine du Pô, apparaît ainsi relativement simple: c'est un large anticlinorium dont l'axe passe à peu près aux environs de Torriglia. A son flanc sud, les plis sont déversés vers la mer Tyrrhénienne; sur l'autre flanc, ils sont poussés vers la plaine du Pô. La schistosité est en général peu inclinée; elle est relativement bien développée sur le versant sud de la chaîne; elle l'est beaucoup moins sur l'autre versant, mais il ne faut pas perdre de vue que le front de schistosité s'abaisse dans la série stratigraphique de l'ouest à l'est.

3. Entre Piacenza et Ferriere (vallée du Nure).

Pour compléter les observations faites dans la vallée de la Trebbia en aval de Bobbio, j'ai suivi la route de Piacenza à Ferriere, suivant la vallée du Nure, où l'on peut relever une coupe de direction sensiblement parallèle.

A la sortie de la grande plaine du Pô, entre Villo et Ponte d'Olio, on pénètre dans une large zone où affleurent des schistes tendres (marnes) de teinte claire, dans lesquels sont intercalés des bancs de calcaire également de couleur claire, parfois blanchâtre, ayant à certains niveaux un développement suffisant pour que des carrières aient pu y être ouvertes en vue de la fabrication du ciment (aval de Bettola, rive gauche). Dans les marnes sont intercalés aussi des bancs généralement minces de grès tendre, micacé.

Le même faciès s'observe jusqu'aux environs de Ferriere. Cependant, avant d'atteindre cette localité, les marnes sont parfois de teinte bleuâtre, différente de la teinte claire observée plus au nord.

Sur la carte géologique d'Italie à l'échelle du 100.000e, les roches visibles en affleurement depuis la plaine du Pô jusqu'à Farini d'Olmo sont désignées par la notation e^{1-2} et rangées dans l'Eocène. Elles sont ainsi considérées comme l'équivalent de la série à calcaires dominants de Gênes et Rapallo. L'observateur est cependant frappé par la différence dans le degré d'évolution des roches de part et d'autre; cette évolution est nettement moins avancée dans la région située au nord de Ferriere et de Bobbio.

Au sud de Farini d'Olmo, la carte géologique indique une grande extension de la formation désignée sous la notation *asc*, qui correspond, si cette détermination est exacte, aux schistes avec bancs de calcaire et de grès observés le long de la grand-route entre Torriglia et Bargagli. On y trouve des massifs de roches vertes, comme dans la région plus méridionale.

Au sud de Farini d'Olmo, le niveau marqué e^{1-2} ne se présente plus que sous forme de lambeaux, isolés par l'érosion.

Depuis la plaine du Pô jusqu'à Ferriere, les terrains sont plissés et les plis sont déjetés vers le nord-est suivant un style qui rappelle celui observé entre Torriglia et Bobbio. On comprend ainsi qu'en allant du nord vers le sud, on puisse rencontrer des niveaux de plus en plus anciens de la série stratigraphique.

Au sud de Farini d'Olmo, les roches sont plus disloquées; j'y ai noté également la présence d'un pli nettement déversé vers l'est.

Dans toute la coupe des terrains entre Ponte d'Olio (près de la plaine du Pô) et Ferriere, je n'ai pas observé trace de schistosité; partout le débitage des schistes s'opère parallèlement à la stratification quelle que soit l'allure de celle-ci; c'est en accord avec l'aspect peu évolué des roches.

J'ajouterai que j'ai suivi la route de Bettola à Perino afin de relier la coupe du Nure à celle de la Trebbia en aval de Perino. On reste dans le même massif de e^{1-2} avec les mêmes roches, les mêmes allures et le même manque de schistosité oblique.

On peut donc affirmer que le front supérieur de schistosité est ici en plein dans la série dite *asc* sous-jacente à la série à bancs calcaires de Gênes-Rapallo. Est-il possible de préciser

davantage? Je voudrais, à cet effet, revenir à la petite région située au sud de Bobbio où la profonde vallée de l'Aveto donne une coupe remarquable entre Salsominore et Boschi.

4. Vallon de l'Aveto.

En cet endroit, l'auteur de la feuille Rapallo de la carte géologique au 100.000e, l'ingénieur D. Zaccagna a figuré une sorte de boutonnière allongée du sud au nord, suivant la vallée de l'Aveto; elle est ouverte dans la formation dont il a été question précédemment, c'est-à-dire dans les argiles écailleuses avec massifs de roches vertes. Dans le fond de la boutonnière, suivant le cours de la rivière, apparaît une formation très différente, désignée sur la carte par la notation *ma* et définie comme suit dans la légende: « Arenaria macigno, talora puddingoide (valle dell'Aveto) e scisti associati ». L'auteur considère cette formation comme appartenant à l'Eocène inférieur. Ce sont des grès bleus ou gris foncé, souvent en gros bancs, accompagnés de poudingue et de schiste sombre parfois rouge.

L'examen de la carte géologique porte à croire que cette formation appartient à un niveau inférieur aux schistes à roches vertes de Ferriere, Ottone et, par conséquent, aux calcaires qui surmontent ces schistes. En effet, une coupe en travers de la partie méridionale de la boutonnière de l'Aveto peut être représentée par le croquis de la figure 7.

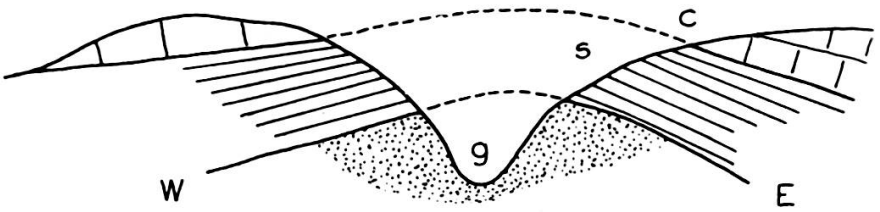


Fig. 7.
Coupe par Boschi dans la partie sud de la boutonnière de l'Aveto.
c = calcaire. *g* = grès et poudingue.
s = schiste.

Pour essayer de mieux comprendre la structure géologique le long de la vallée de l'Aveto, je reprendrai la coupe à partir de S. Stefano d'Aveto en me dirigeant vers le nord.

A S. Stefano, affleurent des calcaires bleus avec intercalations de schiste sombre; ils se prolongent vers l'ouest pour traverser la vallée de l'Aveto entre Ascona (au N. de S. Stefano) et Vicomezzano (près de S. Stefano). Sous ces calcaires apparaissent des schistes sombres avec minces lits gréseux que l'on voit affieurer le long de la route. A 1200 mètres environ, avant d'atteindre le barrage de l'Aveto (Boschi), on entre dans la masse gréseuse, marquée *ma* sur la carte géologique; les deux séries paraissent concordantes.

S'il en est bien ainsi, le niveau de grès et de conglomérat de l'Aveto serait intercalé dans les «argiles écailleuses» à roches vertes, et occuperait la position de la masse gréseuse bien connue au nord de Chiavari le long de la route de Parme et le long de la route de Cichero, où il est désigné sous la notation *as* (arenarie superiore), intercalé dans la grande série des schistes avec bancs de calcaire ou de grès généralement désignés sous le nom d'« argille scagliose » (argiles écailleuses).

Je n'entends cependant pas trancher ici un problème de stratigraphie locale; mes savants collègues italiens le feront mieux que je ne pourrais le faire à la suite d'une visite rapide de la région. Je crois, d'autre part, que les grès, conglomérats et schistes affleurant le long de l'Aveto entre Boschi et Salsominore sont étroitement apparentés aux grès grossiers accompagnés de schiste visibles au sud de Bobbio le long de la route de Torriglia et dont il a été question précédemment.

Je serais même assez porté à croire que la zone des grès grossiers ne se termine pas vers le nord à Salsominore, mais qu'elle se prolonge en une bande très étroite pour se rattacher à la zone gréseuse du sud de Bobbio.

Dans les roches observées dans le fond de la vallée de l'Aveto entre Boschi et Salsominore, j'ai remarqué que les niveaux schisteux sont affectés par une schistosité très grossière, qui fait parfois défaut, remplacée dans ce cas par un débitage en baguettes. Ceci me laisse supposer que le front supérieur de schistosité passe vers le sommet de la masse gréseuse, immédiatement en dessous de la masse schisteuse qui la recouvre.

Malgré quelques irrégularités, les joints de clivage dans les schistes sont ordinairement peu inclinés, ce qui est en harmonie

avec les observations faites dans la vallée de la Trebbia en amont de Bobbio, dans la série gréso-schisteuse qui rappelle celle de l'Aveto.

Dans ce qui précède, j'ai admis implicitement que les grès et poudingues de l'Aveto sont en concordance avec la série schisteuse surimcombante. Une objection se présente cependant à l'esprit: l'observateur qui visite la région ne manque pas d'être frappé par une différence assez sensible dans le degré d'évolution des roches, et spécialement des schistes, suivant que l'on considère la formation gréseuse de l'Aveto entre Boschi-Salsominore et Bobbio ou bien la série à schistes dominants qui couvrent les hauteurs voisines. Aussi pense-t-on immédiatemant à la possibilité d'un important accident tectonique: la série des grès et conglomérats apparaîtrait dans une fenêtre tectonique et non plus par le jeu de l'érosion sur une série en succession normale. Cette hypothèse a été envisagée par Schneider; j'avoue qu'au début, elle a retenu très sérieusement mon attention; actuellement, je serais moins porté à l'accepter. Je laisse à mes collègues d'Italie qui procèdent à la revision de la carte dans cette partie de la chaîne, le soin d'apporter la solution de ce problème.

Ayant montré qu'au nord de S. Stefano d'Aveto, le front supérieur de schistosité descend au niveau des grès de l'Aveto, je vais reprendre une coupe vers le sud, entre S. Stefano et Chiavari, coupe sensiblement parallèle à celle que j'ai faite au sud de Torriglia suivant la route de Gênes. Je pourrai ainsi contrôler si mes conclusions se confirment en ce qui concerne les variations dans la hauteur stratigraphique du front supérieur de schistosité en avançant vers le rivage de la mer Tyrrhénienne.

5. Entre San Stefano et Chiavari.

Au sud du synclinal calcaire de San Stefano d'Aveto, réapparaît le niveau des schistes sombres à bancs calcaires; on y voit une série de plis parfois très accusés, déversés vers le nord-est comme c'est la règle dans la vallée de la Trebbia au nord de Torriglia. Par endroits, dans les plis plus serrés, la

schistosité de fracture apparaît; elle est ordinairement peu inclinée; parfois aussi, dans des plis bien marqués, la schistosité est absente. Il est vraisemblable que ces roches ont évolué au voisinage du front supérieur de schistosité.

Par contre, au sud-ouest de Rezzoaglio, on note la présence d'une schistosité de fracture bien apparente dans des bancs de schiste entre lesquels sont intercalés des bancs calcaires; les plis y sont déversés vers le nord-est, mais lorsqu'on aborde la grande descente où la route décrit une série de lacets, il semble que la schistosité fasse défaut, mais les plis ne paraissent pas aussi écrasés que dans le tronçon de route vu précédemment. Il n'empêche que les roches ont subi un écrasement très apparent, si l'on tient compte des veines d'étirement qui s'y trouvent très développées.

De même entre Borzonasca et Borgonovo sur cette même route, la schistosité se voit par endroits; ailleurs, le feuilletage est parallèle à la stratification. On a l'impression de se trouver ici approximativement à hauteur du front supérieur de schistosité où le développement inégal du clivage oblique tient à des causes diverses, notamment à de faibles différences dans la composition lithologique, à l'allure même des bancs, au serrage plus ou moins accentué des plis.

Dans le cas présent, il faut tenir compte aussi de la variation systématique du niveau stratigraphique du front de schistosité que j'ai déjà signalée antérieurement.

Il est à remarquer qu'au sud de Rezzoaglio on se trouve dans une zone particulièrement riche en massifs de roches vertes et l'on peut se demander si, lors du plissement, ces massifs, plus résistants que les roches encaissantes, n'ont pas pu faciliter le développement de la schistosité dans ces dernières en y provoquant une concentration des efforts.

Dans la dernière partie de la coupe entre Borgonovo et Chiavari, on rencontre d'abord des schistes foncés dans lesquels sont intercalés de minces bancs ou des lentilles de roches arénacées. Cette formation essentiellement schisteuse se voit en amont de Borgonovo, le long de la route de Bedonia et le long de la route de Borzonasca; elle apparaît dans plusieurs tranchées au sud (aval) de Borgonovo, le long de la route de

Chiavari. On y observe des plis déversés vers le sud-ouest ou l'ouest. La schistosité de fracture y est bien développée à certains niveaux alors qu'elle n'apparaît pas à d'autres; elle est souvent en relation avec des plis serrés à plan axial peu incliné. L'inclinaison du clivage schisteux est d'ordinaire très faible.

A proximité de la bifurcation de la route principale et de la route secondaire qui monte vers le nord-ouest et qui conduit à Cichero, on voit s'intercaler dans la masse schisteuse, trois niveaux de grès clair, grossier; sur la feuille Rapallo de la carte géologique au 100.000e, ces grès sont désignés par la notation *as* (arenarie superiore). La coupe, récemment rafraîchie, permet de constater que ces grès sont bien intercalés dans la masse schisteuse qui représente ici le niveau des «argille scagliose» d'après la carte géologique. Je considère cet ensemble comme plus ancien que les calcaires de Gênes-Rapallo.

Entre les bancs de grès, on note parfois la présence d'un banc de schiste qui est affecté par la schistosité. A l'entrée de la route vers Cichero, j'ai pu voir le contact de l'un de ces niveaux de grès avec le schiste sous-jacent. Ce schiste est affecté de plis serrés à axe presque horizontal; à cet endroit, la schistosité est relativement bien marquée et suit l'allure de la surface axiale des plis.

Au sud de Santa Maria de Sturla (entre Borgonovo et Chiavari), dans une belle tranchée, affleurent des grès et des schistes grossiers dont les bancs sont très redressés ou inclinent au sud-ouest; en réalité, il y a là des plis déjetés dans cette direction. Les schistes se débitent en feuillets suivant une schistosité de fracture à pendage de 40 à 45° vers le sud-ouest.

A l'entrée de Chiavari apparaît la zone des calcaires et schistes marqués sur la carte par la notation *al* et que j'ai désignés sous le nom de calcaires de Gênes-Rapallo. Ils sont plus récents que les schistes et grès affleurant au nord.

Je n'y ai pas noté de schistosité, pas plus à la carrière située à l'entrée nord de Chiavari que dans les beaux affleurements visibles à la sortie ouest de cette petite ville, le long de la route de Gênes. Ces roches sont donc ici au-dessus du front supérieur de schistosité, tandis que près de Gênes, elles sont à sa hauteur ou un peu en dessous, pour leur partie supérieure tout au moins.

Si l'on compare les observations faites le long de la grand-route de Gênes à Torriglia-Ottone-Bobbio à celles de la route de Chiavari à San Stefano, on constate que, détails mis à part, les grandes unités sont comparables.

La grande allure anticlinoriale signalée aux environs de Torriglia se prolonge vers le sud-est pour passer au voisinage de Borzonasca. En effet, entre ce village et Chiavari, les plis secondaires sont le plus souvent déjetés ou déversés vers le sud-ouest, tandis qu'au nord, ils sont poussés vers le nord-est.

Partout on se trouve en présence de schistosité de fracture et l'on peut dire que, d'un côté comme de l'autre, on ne voit guère de roches qui aient évolué à une distance importante en dessous du front supérieur de schistosité.

Toutes les irrégularités observées dans le développement et aussi dans l'allure de la schistosité tiennent, à mon avis, à ce fait que les roches observées sont situées au voisinage du front supérieur de schistosité. Les nombreux plis visibles dans la région ont pour effet de ramener constamment en surface des roches appartenant à un même niveau stratigraphique ou à des niveaux très voisins.

Si la schistosité s'est développée de façon irrégulière, on trouve néanmoins dans toute la région des preuves de l'étirement marqué auquel les roches ont été soumises; les veines d'étirement observées partout en sont l'indice le plus sûr.

Quant à sa disposition générale, elle est faiblement inclinée, bien que par endroits sa pente soit relativement forte. Comme je l'ai déjà rappelé, ces irrégularités tiennent à ce que toutes les roches observées sont voisines du front supérieur de schistosité; c'est en quelque sorte une zone de transition entre la zone à schistosité régionale et celle à schistosité locale. C'est là où les efforts se sont manifestés le plus intensément que la schistosité s'est le mieux développée, par exemple dans des plis très écrasés.

La faible inclinaison de la schistosité est l'indice de la prédominance de contraintes verticales lors de la production du plissement. Ceci permet d'expliquer certaines particularités d'allure observées dans des bancs verticaux comme le montre la figure 8.

Les bancs siliceux minces intercalés dans les schistes sont déformés suivant une allure en plis minuscules; ceux-ci sont vraisemblablement en rapport avec l'allure qu'aurait prise la

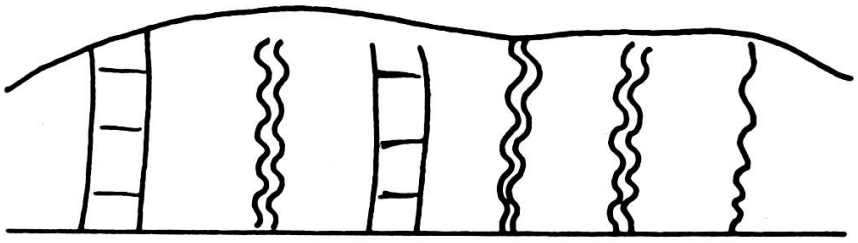


FIG. 8.
Schiste à bancs siliceux minces affectés de plis minuscules.
Route de Chiavari à Borgonovo.

schistosité si elle avait pu se développer normalement. L'allure en accordéon des bancs minces est l'indice de l'intervention d'efforts orientés suivant la verticale.

5. LES ENVIRONS DE SESTRI-LEVANTE.

A Sestri-Levante, la falaise qui domine le petit port est constituée par une masse de grès grossier, de quartzite, de conglomérat, avec intercalations de schiste grossier de teinte sombre. Ces roches rappellent tout à fait celles que j'ai observées au nord de Chiavari le long de la route de Borgonovo et de celle de Cichero, de même que les roches de l'Aveto en amont de Salsominore; sur la carte géologique au 100.000e, elles ont été indiquées sous la notation e^{2a} et rapportées à l'Eocène. Elles me paraissent subordonnées aux schistes sous-jacents aux calcaires de Gênes-Rapallo.

Les couches de la falaise de Sestri-Levante ont la direction N-20 à 40° ouest avec pente sud-ouest de 20 à 35°, mais elles ondulent légèrement. Les schistes sont affectés par un clivage schisteux oblique aux strates; son inclinaison est toujours très faible et ne dépasse pas 20°. Il s'agit d'une schistosité de fracture.

Les mêmes roches se voient à la sortie de Sestri-Levante par la route de Chiavari, à l'endroit où cette voie s'engage dans un tunnel. On y voit une disposition presque identique de la

schistosité, bien que l'orientation des bancs y soit différente de celle des couches de la falaise précédente. Le grès est surmonté par des schistes représentant la partie supérieure de la série schisteuse, immédiatement sous-jacente à la série à bancs calcaires de Gênes-Rapallo.

Sous le grès, un peu à l'ouest de Sestri-Levante, non loin de S. Bernardo, j'ai observé une alternance de bancs schisteux, calcareux et gréseux dans lesquels la schistosité ne s'est développée que localement. Ces roches sont vraisemblablement au voisinage du front de schistosité, situation comparable à celle observée près de Chiavari.

Le long de la via Aurelia (n° 1), à l'est de Sestri-Levante, j'ai pu faire quelques observations intéressantes dans les schistes avec bancs minces de grès ou de calcaire; les plis sont nombreux, j'y ai noté, près de Bracco, des couches redressées avec plis à plan axial fortement incliné; la schistosité ne s'y est pas développée.

Par contre, entre Bracco et le col de Bracco, j'ai observé de beaux plis serrés à plan axial voisin de l'horizontale. A l'endroit des charnières apparaît une schistosité de fracture très nette, comme on peut le voir dans la figure 9.

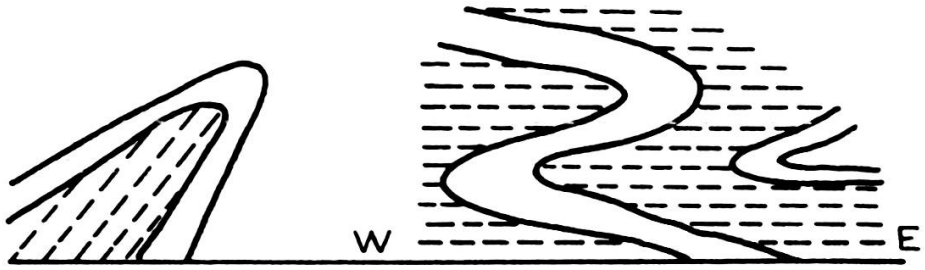


FIG. 9.
Via Aurelia entre Bracco et le col de Bracco.
Deux types de plis serrés avec schistosité.

C'est une disposition que j'ai déjà renseignée antérieurement et qui semble être générale dans toute cette partie de l'Apennin.

On pourrait, certes, y voir un cas particulier de schistosité locale due à une accentuation anormale des efforts subis par les roches.

Cette disposition est d'un grand intérêt, vu sa généralité, pour préciser l'orientation des contraintes qui ont manifesté leur action au moment du plissement.

J'ai constaté une situation identique le long de la route qui conduit à Levanto, dans des roches analogues entre deux massifs de roches vertes.

7. La baie de Levanto.

Plus à l'est, dans la baie de Levanto, j'ai pu observer les roches dans la belle falaise qui domine le petit port. On y voit affleurer le grès grossier que je regarde comme l'équivalent des grès grossiers et poudingue de Sestri-Levante [1]. Dans ce niveau arénacé, se voit une intercalation schisteuse dans laquelle j'ai noté des plis de petite dimension, d'allure assez compliquée (fig. 10); la schistosité s'y est bien développée avec un pendage

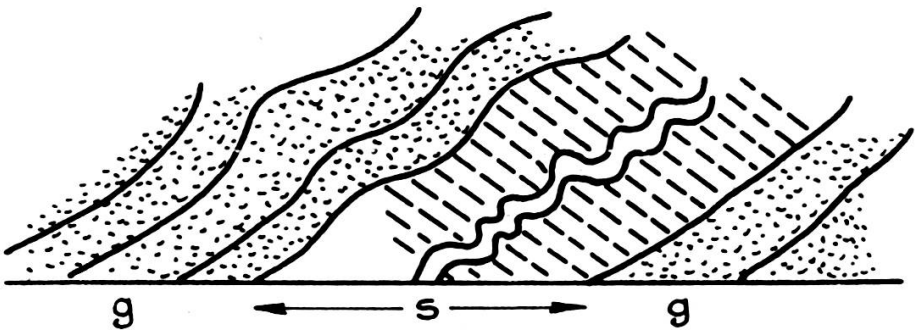


Fig. 10.
Coupe du niveau gréseux avec schistes de la baie de Levanto.
s = schiste. *g* = grès.

assez faible vers le sud-ouest. Au nord-est de cette bande gréseuse de direction générale nord-ouest-sud-est s'étendent les « argile scagliose » avec massifs de roches vertes. Dans ces schistes, existent des plis à plan axial parfois très redressé; la schistosité y est distribuée très irrégulièrement; parfois elle a une inclinaison faible, parfois elle est redressée jusqu'à la

[1] Sur la carte géologique, il porte la notation *as*, « arenarie superiore » de l'Eocène, que surmontent des roches notées *gl* et définies: schistes éocènes à Nummulites et roches vertes. Sur sa carte d'ensemble, Merla en fait l'équivalent du « Macigno ».

verticale; parfois aussi le feuilletage des schistes suit l'allure de la stratification. A d'autres endroits, j'ai vu des plis couchés de peu d'amplitude et la schistosité y est horizontale.

8. Conclusions.

Quatre faits essentiels peuvent être dégagés des observations rapportées ci-avant:

a) Le front supérieur de schistosité ne coïncide pas avec un niveau stratigraphique constant; tantôt il monte jusque dans les formations calcaro-schisteuses de Gênes et Rapallo, notées *al* sur la carte géologique; tantôt il est en dessous de la base de cette formation. En allure générale, le niveau stratigraphique du front supérieur de schistosité s'abaisse vers le nord-est;

b) Si le terrain schisteux, avec lits calcaires ou gréseux, dans lequel sont incluses des roches vertes, appartient à une nappe, la nappe des « argille scagliose », qui a glissé progressivement de l'ouest vers l'est par simple gravité sous son propre poids, il est à remarquer que ces roches ne sont pas exemptes de schistosité. Deux questions se posent alors: ou bien on a réuni à tort dans un même ensemble des roches de faciès très semblable, mais indépendantes les unes des autres, ou bien, après son glissement, la nappe des argiles écailleuses a été recouverte par d'autres sédiments qui ont fourni la charge nécessaire au développement de la schistosité. Mais une troisième hypothèse doit être envisagée aussi très favorablement: dans la région décrite ci-avant, le niveau dit des « argille scagliose » forme-t-il une véritable nappe de glissement ? Je suis tenté de répondre négativement.

c) Dans la vallée de l'Aveto, au sud de Bobbio, on voit affleurer une série de bancs de grès et de schistes dans laquelle il y a de la schistosité de fracture. Sur ces roches reposent les argiles écailleuses avec roches vertes dont la base paraît avoir été elle-même affectée par le clivage schisteux. On peut croire que le développement du feuilletage oblique à

la stratification s'est opéré simultanément dans les deux formations superposées. S'il y a réellement une nappe des « argille scagliose », il faut admettre que sa mise en place a précédé le stade final du plissement et qu'elle a ainsi fourni une partie de la charge nécessaire pour que la schistosité put se développer. Mais cette nappe existe-t-elle vraiment ?

On se rend compte, par ces considérations, de l'intérêt que présente l'étude de la schistosité pour comprendre l'évolution tectonique de la chaîne de l'Apennin septentrional;

d) Enfin, j'insisterai à nouveau sur ce fait important, à savoir que la schistosité, considérée en allure très générale, est peu inclinée; on en tirera argument pour préciser l'orientation des contraintes intervenues lors de la surrection de cette partie de l'Apennin. Il me paraît en tous cas difficile de s'en tenir à la théorie classique de la formation de la chaîne à la seule intervention des efforts tangentiels, ou par glissement superficiel sous l'action de la gravité.

Chapitre II

LA RÉGION DE LA SPEZIA

En parcourant le pays voisin de La Spezia, j'ai pu observer des terrains plus anciens que ceux dont il a été question au chapitre précédent.

Le promontoire qui ferme à l'ouest la baie de La Spezia correspond à un anticlinal, ou plus exactement à la moitié ouest d'un anticlinal dont le flanc est a été supprimé par une faille longitudinale. L'orientation du pli est nord-ouest–sud-est; il présente un abaissement d'axe vers le nord-ouest. Près de La Spezia, le cœur du pli est formé par le Trias supérieur (Rhétien) comprenant à son sommet le niveau de marbre exploité sous le nom de Portoro. La masse des calcaires rhétiens a ici une grande épaisseur; on y trouve aussi des alternances de calcaire et de schiste sous-jacents au niveau de marbre exploité.

Le Rhétien est surmonté par des calcaires bleus ou noirs accompagnés de schiste qui sont attribués au Jurassique; l'épaisseur de cet étage est faible. Par-dessus vient un niveau de schiste rouge à gros nodules calcaires avec bancs associés de calcaire argileux, d'âge crétacique et éocène, connu sous le nom de « scaglia rossa ».

En concordance sur le schiste rouge, repose la formation désignée ici sous le nom de « Macigno » constituée principalement de niveaux gréseux alternant avec des schistes. Le faciès arénacé est très développé, tandis que vers le nord, par exemple près de Chiavari, le facies est principalement schisteux; c'est ce facies qui est renseigné sur les cartes géologiques par la notation *gl* (feuille Rapallo) ou *asc* (feuille Vogherra) qui est celle des « argille scagliose » avec les intercalations de roches vertes.

Au nord de La Spezia, le niveau du « Macigno » est suivi vers l'ouest par une formation ayant le facies des « argille scagliose »; c'est le prolongement des couches dont il a été question précédemment lorsque j'ai parlé de la schistosité aux environs de la petite ville de Levanto; ce facies occupe là le centre d'un synclinal.

Les résultats de mes recherches relatives à la schistosité dans cet ensemble de couches ont été assez décevants.

Dans les schistes intercalés entre les bancs de calcaire rhétien sous le niveau du Portoro, je n'ai pas vu de schistosité oblique; il en fut de même dans le Jurassique superposé à ces roches à proximité du sommet de l'anticlinal près de Pignone.

Par contre, sur le flanc ouest renversé ou en allure normale du pli anticlinal, j'ai noté, dans le niveau des schistes rouges et calcaires, la présence d'une schistosité grossière (schistosité de fracture) assez nette cependant pour avoir donné à certains bancs de calcaire argileux une allure lenticulaire comme on l'observe souvent dans des couches de cette nature. C'est ce que met en évidence le dessin de la figure 11.

Cependant, à côté de bancs de schiste présentant un clivage normal, j'en ai observé d'autres qui sont affectés de plis minuscules, lesquels ont certainement la même signification que le clivage, sauf que ce mode de déformation s'est développé dans des bancs incapables, du fait de leur nature lithologique,

de prendre la schistosité, mais qui sous le même effort ondulent comme déjà indiqué à la figure 11 sans que les joints de schistosité se marquent autrement que de façon virtuelle.

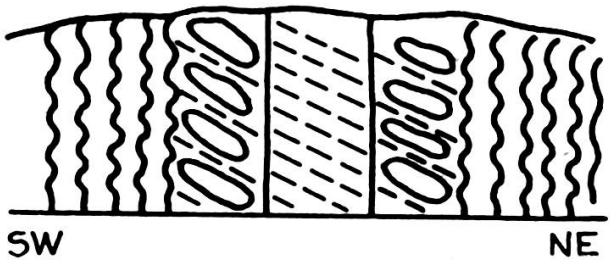


FIG. 11.
Coupe à l'ouest de Pignone montrant la disposition du clivage schisteux et des plis minuscules dans certains bancs.

J'ai remarqué que la schistosité s'est développée, dans le niveau à schistes rouges, jusqu'à son contact avec la formation appelée « Macigno ». La nature lithologique de cette dernière n'a pas permis à la schistosité de prendre naissance. Je n'ai pas pu observer les « argille scagliose » dans cette même coupe, mais je les ai vues à peu de distance au nord, près de Levanto; il en a été question au chapitre précédent; le grès grossier affleurant dans la baie de Levanto est en dessous du front supérieur de schistosité car une intercalation schisteuse dans la masse de grès est marquée par un clivage oblique très apparent, comme je l'ai indiqué à la figure 10.

La figure 12 donne une vue d'ensemble schématique de la tectonique et de l'allure de la schistosité dans une coupe à l'ouest de La Spezia. On notera que la schistosité a une inclinaison faible vers l'est, parfois vers l'ouest; elle est aussi subhorizontale. J'insiste à nouveau sur ce caractère de faible pente du clivage schisteux.

Au sud-est de La Spezia, le long de la route de Lerici qui longe la côte orientale de la baie, affleurent des quartzites blanchâtres, des séricitoschistes, parfois aussi des conglomérats. Ces roches sont considérées par Ippolito comme faisant partie de l'Autochtone apparaissant en fenêtre tectonique sous la nappe ligure qui comprend les terrains environnants [6].

La présence de ce Cristallophyllien sous les calcaires du Trias porte d'autres géologues à le considérer comme appar-

tenant à la même unité tectonique que les roches voisines; ce serait le cœur d'un anticlinal parallèle à celui de La Spezia.

Quoi qu'il en soit, j'ai constaté que les séricitoschistes sont affectés par le microplissement, ce qui semble indiquer qu'il s'agit d'une autre unité tectonique que celle de La Spezia. Faut-il en tirer la conclusion qu'un accident tectonique sépare le soubassement de sa couverture ? Ne s'agit-il pas plutôt d'une disposition analogue à celle dont il sera question à propos des Alpes Apuanes ?

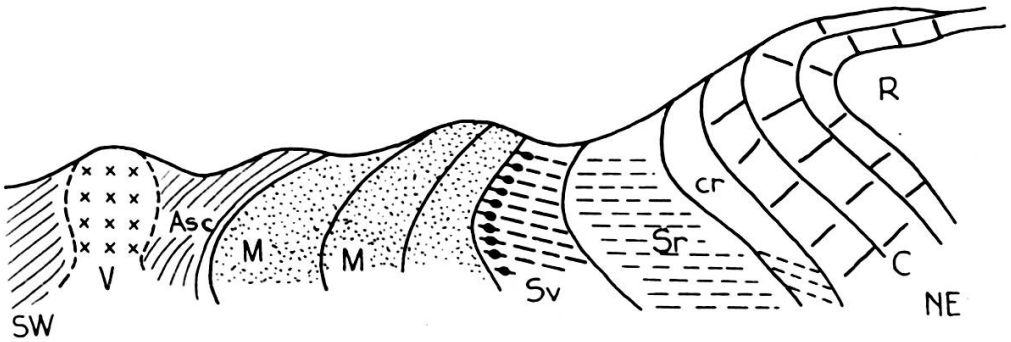


FIG. 12.

Coupe à l'ouest de La Spezia.

As = « argille scagliose » avec roches vertes (V).
M = « Macigno ».
Sv = schiste vert } Eocène-Crétacique.
Sr = schiste rouge }
Cr = calcaire rouge } Jurassique.
C = calcaire bleu et noir }
R = Rhétien (calcaire).

J'ai dit précédemment que le promontoire bordant du côté ouest la baie de La Spezia correspond à un anticlinal faillé. De l'avis des professeurs Merla et Trevisan, les terrains de la rive orientale de la baie appartiennent à l'autre flanc de ce pli anticlinal, dont la clef de voûte se serait effondrée pour donner naissance à une dépression dont la baie de La Spezia serait le prolongement.

Pour mieux me documenter encore, j'ai visité la région située à l'est de La Spezia et j'ai suivi à cet effet la route de Pontremoli et de Berceto. Tout ce territoire est constitué, d'après la carte géologique par des lambeaux étendus de « Macigno » (Oligocène ?), c'est-à-dire de grès plus ou moins

grossier avec intercalations schisteuses, accompagné parfois aussi de calcaire. Entre ces lambeaux s'étendent de larges plages désignées sur la carte de G. Merla [7] par la notation *as*: « Formazione delle argille scagliose (alloctono de frane orogeniche) » dont le rôle est si important dans tout l'Apennin septentrional.

Le long de l'itinéraire suivi, j'ai été frappé par l'allure tranquille des bancs du niveau dit « Macigno »; on y voit des ondulations, mais pas de plis bien accusés. Dans les bancs de schiste intercalés entre les bancs de grès je n'ai pas trouvé trace de schistosité oblique.

Le niveau dit des « argille scagliose » se compose de schiste souvent de teinte gris-foncé ou noirâtre, avec intercalations de bancs calcaires et de bancs siliceux; j'ai été frappé aussi par sa disposition en couches généralement peu inclinées, quelque peu ondulées. J'ai cependant noté que, par endroits, ces roches paraissent assez disloquées, donnant l'impression d'avoir été écrasées ou entraînées; malgré cette irrégularité apparente, je n'y ai pas vu de schistosité au sens propre du mot, en tous cas pas de schistosité oblique même là où le laminage paraît avoir été le plus fort.

Bien que mes observations n'aient pu y être que sommaires, la coupe entre La Spezia et Berceto m'a laissé l'impression d'une région d'apparence très tranquille du point de vue tectonique, où le métamorphisme ne s'est pas développé, pas plus que la schistosité; de ce fait, cette zone contraste singulièrement avec la constitution des Alpes Apuanes, bien qu'elle soit dans son prolongement direct vers le nord-ouest [1].

[1] Dans la région de Fivizzano (28 km au NE de La Spezia) les mêmes roches ne montrent la schistosité que très localement. Dans les environs de Sassalbo, à 8 km plus à l'est, une ride parallèle à celle des Apuanes a une structure complexe; la schistosité y est bien marquée dans la « scaglia rossa » de l'Eocène-Crétacé, mais elle fait défaut dans les « argille scagliose » et dans le « Macigno » [14]. *(Note ajoutée pendant l'impression.)*

Chapitre III

LES ALPES APUANES

Les Alpes Apuanes [6, 8] sont une particularité remarquable de l'Apennin septentrional. On y distingue une zone de forme elliptique orientée nord-ouest–sud-est, caractérisée par un métamorphisme très avancé des terrains qui s'y rencontrent; elle constitue le noyau de la troisième ride de Merla et Trevisan [7]. Elle apparaît en fenêtre tectonique dans des terrains approximativement de même âge, non affectés par le métamorphisme, appartenant à une grande nappe qui s'est avancée de l'ouest vers l'est; grâce au bombement de la troisième ride, l'érosion a pu faire apparaître sous la nappe les terrains métamorphiques: c'est ce que j'appellerai la « fenêtre de Carrara ».

La limite nord-ouest de la fenêtre est facile à tracer; la terminaison sud-orientale est moins bien précisée à cause de complications tectoniques.

1. Les terrains métamorphiques.

J'ai procédé à une série d'observations dans la partie septentrionale de la fenêtre, entre Carrara (Massa) et Castelnuovo. La série va du Permo-Carbonifère au niveau dit du « Macigno ». Le terme le plus ancien, c'est-à-dire le Permo-Carbonifère, est formé de schistes phylladeux parfois ottrélitifères (Carbo-

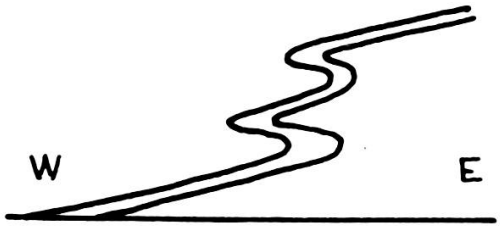


Fig. 13.
Petits plis écrasés dans le Permien
au sud d'Altagnana.

nifère); par-dessus viennent les schistes siliceux avec conglomérat de base rapportés au Verrucano (Permien). Ces roches sont d'ordinaire très laminées et l'on y observe par places de petits plis ayant, par exemple, la disposition représentée à la figure 13.

Le Permo-carbonifère formant le terme le plus ancien de la série métamorphique esquisse, dans les grandes lignes, une allure en voûte surbaissée; il est très laminé comme s'il avait été soumis à une charge verticale considérable. C'est ainsi que là où les bancs devraient normalement être redressés, ils sont repliés sur eux-mêmes, en accordéon, en formant une suite de petits plis écrasés.

Près de l'extrémité sud de la galerie de Cipollaio, j'ai observé de beaux exemples de ce type de déformation, comme je l'ai indiqué dans la figure 14.

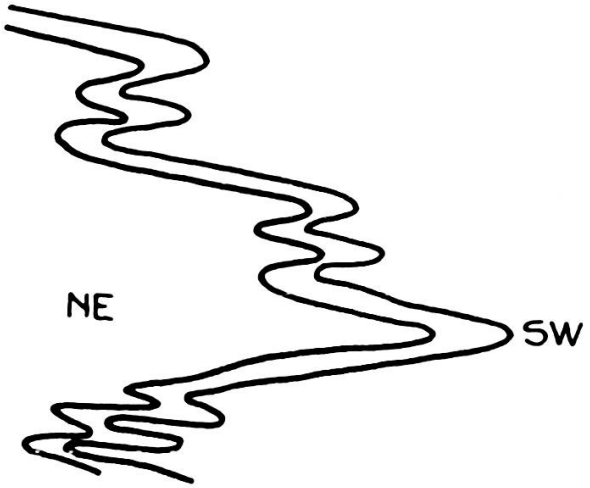


FIG. 14.
Petits plis dans les schistes permo-carbonifères à l'entrée sud du tunnel-route de Cipollaio.

On remarquera que les plans axiaux de ces plis, quelle que soit leur taille, sont horizontaux ou faiblement inclinés vers le sud-ouest comme dans la figure précédente.

Dans les charnières de certains de ces plis, j'ai noté la présence d'un peu de schistosité conforme à l'allure de leur plan axial.

Il semblerait à première vue que l'on ne doive pas trouver de schistosité dans les niveaux de marbre du Trias, compte tenu de la nature lithologique de ces roches. Cependant, il suffit de voir les belles plaques de marbre cipolin venant de la région de Carrare pour se rendre compte des complications de leur structure intime. On y note la présence de plis serrés bien mis en évidence par les lits plus riches en minéraux verts. On

constate qu'un clivage, marqué par l'orientation de ces minéraux, est disposé parallèlement au plan axial de ces petits plis, comme il est de règle dans des déformations de cette nature.

Il s'agit de schistosité de flux, bien différente de la schistosité grossière signalée dans les terrains décrits aux chapitres précédents.

A la carrière de Ponti de Vara, qui exploite le niveau plus local de marbre supérieur au cipolin, j'ai observé que la partie centrale d'un banc très épais inclinant de 55° vers le sud-ouest prend une teinte un peu plus sombre, résultant du développement de minéraux phylliteux en plus grande abondance. Cette zone passe progressivement, vers le haut, comme vers le bas, au marbre blanc. Elle est caractérisée en outre par une amorce de clivage schisteux inclinant faiblement vers l'ouest; les minéraux phylliteux y sont orientés suivant des joints obliques à la stratification (fig. 15)

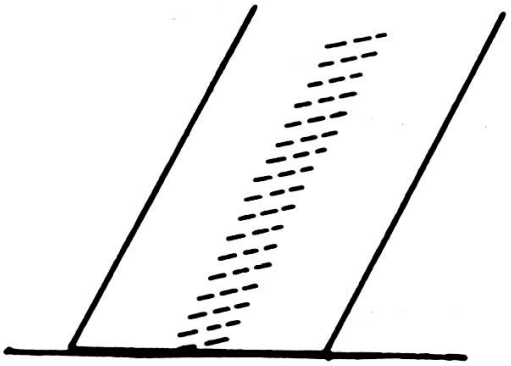


FIG. 15.
Clivage oblique dans la partie centrale d'un banc de marbre à Ponti de Vara (Carrara).

Il n'y a pas de doute qu'il s'est produit ici une schistosité rendue plus facile par la composition lithologique de la partie centrale du banc. Mais il y a lieu de faire observer aussi que la schistosité est peu inclinée comme dans la partie des Apennins décrite antérieurement, au nord de la fenêtre de Carrara.

Au niveau du marbre cipolin, près de Campagrina, j'ai relevé la petite coupe représentée à la figure 16.

On remarque que dans le marbre massif, les joints soulignant la stratification présentent des chiffonnages comme il est courant dans le cipolin de la région.

Les schistes calcareux sous-jacents ne sont pas clivés, mais ils sont affectés par des chiffonnages plus serrés que les petits plis visibles dans le calcaire. Il s'agit vraisemblablement d'un cas particulier de microplissement.

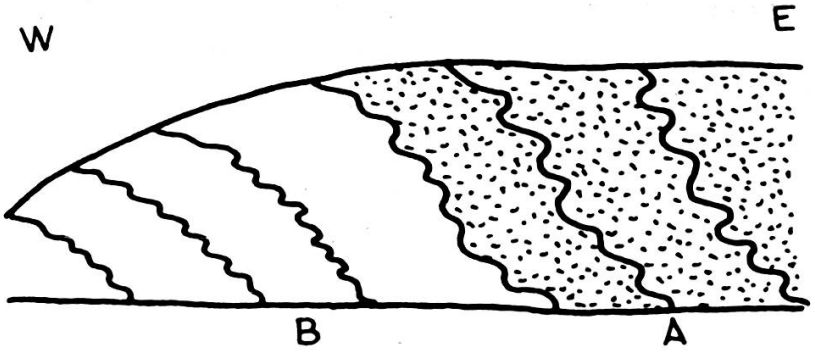


FIG. 16.

Coupe à Campagrina au niveau du cipolin.
A = calcaire massif (cipolin) avec chiffonnage des joints qui soulignent la stratification.
B = schistes calcareux avec plis minuscules très développés.

Dans les schistes de la partie supérieure du Trias, il y a parfois schistosité oblique, mais j'ai relevé dans une même coupe l'allure représentée à la figure 17.

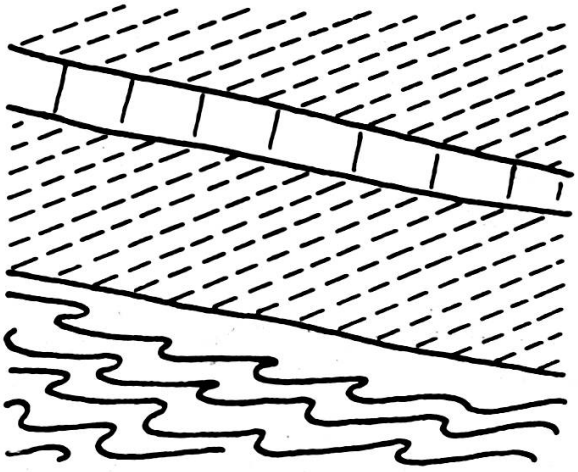


FIG. 17.

Deux aspects différents des déformations intimes dans les schistes du Trias — Grotta nera, valle del Gardino.

Alors que les bancs supérieurs ont une schistosité normale, un banc immédiatement sous-jacent est affecté de petits plis qui peuvent représenter soit du véritable microplissement, soit

des plis minuscules analogues à ceux signalés ci-avant dans le Permo-Carbonifère; on sait qu'en profondeur dans les roches feuilletées, le microplissement et les plis minuscules se confondent.

Dans les calcaires à silex qui surmontent ce niveau, j'ai vu des exemples non moins typiques de plis serrés à plan axial très peu incliné, comme l'indique la figure 18.

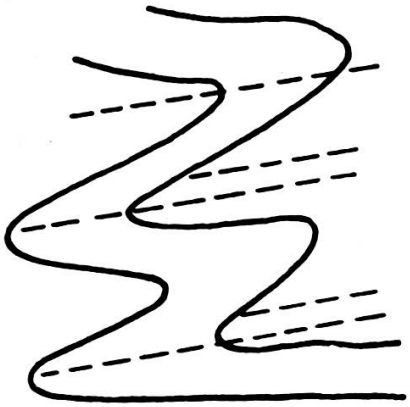


FIG. 18.
Plis serrés à plan axial peu incliné
dans le niveau de calcaire à silex du Jurassique.

Dans un affleurement de ces roches, j'ai noté le détail de structure représenté à la figure 19.

Un banc mince de silex est divisé en tronçons par des fissures peu inclinées et le déplacement relatif des fragments indique un allongement du banc.

FIG. 19.
Lit de silex avec joints marquant un étirement.

Dans des bancs schisteux surmontant le niveau à silex, on constate également la présence du même type de plis minuscules.

Au nord-est de la zone des marbres de la région de Carrara, on connaît aussi le niveau des schistes polychromes du Crétacique-Eocène; dans la zone atteinte par le métamorphisme,

ces schistes décrivent des ondulations et l'on y observe, par places, des plis minuscules.

Par-dessus vient un niveau dit du « Macigno »; dans les schistes qui y sont intercalés et qui ont l'aspect phylladeux, en rapport avec le métamorphisme de la zone, j'ai constaté le long de la route de Castelnuovo, la présence d'une belle schistosité oblique.

La retombée de la nappe empêche de voir d'autres termes de la série métamorphique dans la fenêtre de Carrara.

Dans une partie plus méridionale de la fenêtre de Carrara, j'ai pu examiner, sous la direction de mon distingué collègue, le professeur Trevisan, les terrains de l'Autochtone, entre Corvaia (au nord de Pietrasanta) et Cardoso, situé à environ 7 kilomètres à l'est de la localité précédente.

Dans cette coupe, on voit clairement l'Autochtone recouvert par la nappe suivant une surface de contact anormal inclinant à l'est; dans son ensemble, l'Autochtone esquisse une allure en voûte surbaissée. Sur le flanc sud, à la bordure de l'Apennin affleure le Verrucano métamorphique formé de phyllades, sous lesquels se trouve une zone à bancs de conglomérat. Toutes ces roches sont fortement laminées; leur feuilletage parallèle à la stratification incline de 65 degrés environ vers le sud-ouest.

Ce Verrucano est mis en contact avec des marbres cipolins (Jurassique métamorphique) par une surface de fracture inclinant au sud-ouest. Cette écaille est limitée vers le nord-est par une autre fracture inclinant dans le même sens; il s'agit donc d'un lambeau de poussée coincé entre le Verrucano situé au sud-ouest et le Permo-Carbonifère (?) métamorphique qui s'étend au nord-est. C'est dans ce dernier que se forme la voûte surbaissée signalée ci-avant.

Ce Permo-Carbonifère est formé de phyllade sombre passant au séricitoschiste, voire même au micaschiste. Malgré l'allure d'ensemble très régulière, ces roches montrent parfois de petits plis qui laissent apparaître un peu de schistosité, alors que la masse se feuillette parallèlement à la stratification. On peut penser, par conséquent, que ce feuilletage correspond pour le moins à de la pseudofoliation.

Sur le flanc nord-est de la voûte reposent les « grezzoni », c'est-à-dire les dolomies du Trias supérieur; par-dessus viennent les marbres blancs de l'Hettangien à structure parfois bréchiforme.

A Cardoso, affleurent des roches phylladeuses métamorphiques faisant partie de la série dite du « Macigno ». La pente est faible vers le nord-est, concordante avec celle des terrains sous-jacents.

Le feuilletage est lui-même parallèle à la stratification. Là encore, on pourrait hésiter, à première vue, sur le point de savoir si ce débitage en feuillets est un vrai clivage schisteux ou une sorte de foliation. La solution m'a été donnée dans une carrière dans le village de Cardoso, où la roche est exploitée comme ardoise. Un échantillon m'a permis de voir un petit pli bien marqué dont la charnière montre nettement une schistosité oblique aux strates. Cependant, eu égard à la concordance parfaite entre le feuilletage et la stratification, *sauf à l'endroit des charnières*, on admettra plutôt que le stade de pseudofoliation a été atteint par suite de l'étirement considérable de la matière.

J'ajouterai que certains feuillets montrent une surface gaufrée qui laisse supposer que les roches pourraient avoir été portées à proximité de la zone de microplissement.

La disposition en voûte très surbaissée oblige à admettre que cet étirement n'a pu être réalisé qu'à l'intervention de contraintes orientées plutôt suivant la verticale que suivant l'horizontale.

A ce point de vue, la coupe de Corvaia à Cardoso confirme les observations faites suivant l'itinéraire précédent.

2. Les terrains de la nappe.

Ces terrains contrastent avec ceux de la fenêtre par l'absence de métamorphisme. Au voisinage de la fenêtre, ils vont du Rhétien au « Macigno » (?). Ils sont comparables à ceux décrits aux environs de La Spezia.

Les roches sont, en général, assez disloquées, mais plutôt faillées que plissées. On n'y voit le plus communément que

d'assez larges ondulations plutôt que des plis quelque peu serrés sauf pour des déformations locales à petite échelle. D'après les observations que j'ai faites en 1953 au nord de Carrara sous la direction de MM. Merla et Trevisan, j'ai considéré que le front supérieur de schistosité passe vers la base de l'Eocène; en effet, dans les schistes polychromes qui appartiennent à ce niveau, on n'observe qu'une apparence de schistosité grossière. Par contre, dans les schistes intercalés dans des bancs calcaires au niveau des schistes à Posydonomies (sommet du Dogger), j'ai observé une schistosité de fracture très régulière, très apparente, sur le flanc sud de l'ondulation en forme de voûte de la nappe au sein de laquelle le métamorphique des Alpes Apuanes apparaît en fenêtre.

Le long de la route de Castelnuovo, on atteint la retombée nord-est de la nappe; dans les schistes polychromes de l'Eocène, je n'ai pas vu de schistosité; j'ai seulement eu l'impression que ces schistes, comme sur le versant sud-ouest de l'ondulation de la nappe sont proches du front supérieur de schistosité.

A l'est de Castelnuovo, en allant vers la plaine du Pô, sur le versant nord-oriental de l'Apennin, on rencontre des terrains plus récents dont l'évolution lithologique est moins avancée. Nulle part je n'y ai vu trace de schistosité.

3. Conclusions.

Je crois utile d'indiquer dès à présent les conclusions essentielles que je pense pouvoir tirer des faits observés dans cette partie si remarquable de l'Apennin septentrional.

a) La brèche tectonique jalonnant la surface de contact entre la nappe et son soubassement autochtone a livré des fragments de calcaire hettangien non métamorphique de la nappe en même temps que des éléments de marbre cristallin arrachés à l'Autochtone. Le charriage s'est donc produit après l'achèvement de la phase de métamorphisme proprement dit.

En outre, le long de la surface de charriage, il a été signalé la présence d'un lambeau de poussée constituée par des roches du type « argille scagliose » et des roches vertes

englobées dans cette formation; les roches de ce lambeau ont subi un métamorphisme comparable à celui du marbre sous-jacent.

Je rappellerai ici que, dans l'opinion des géologues italiens, le métamorphisme dans la fenêtre de Carrara résulte de la montée de matériel magmatique en rapport avec des actions de granitisation ou de migmatitisation en progondeur.

b) La schistosité et les déformations connexes semblent être disposées de la même manière dans la nappe et dans son substratum: allure peu inclinée en général tendant à esquisser la forme en large dôme. On serait tenté au premier abord de penser que le clivage schisteux s'est produit en même temps dans la nappe et dans l'Autochtone, et cela sous l'action des mêmes contraintes.

Je ne crois pas pouvoir me rallier à cette interprétation parce que la différence dans le développement de la schistosité est trop grande entre les deux unités tectoniques en présence: Dans l'Autochtone, les marbres montrent une schistosité de flux; à Cardoso, les schistes de la série dite du « Macigno » sont affectés par une schistosité de flux passant à la pseudofoliation. Par contre, dans les terrains de la nappe, la schistosité est du type du clivage de fracture.

En outre, au cours de l'excursion dirigée en 1953 par les professeurs Merla et Trevisan, j'ai constaté que, dans des roches schisteuses de l'Autochtone situées tout à proximité de la surface de charriage, les feuillets semblent déformés et leur allure est irrégulière. Il paraît probable que le cheminement de la nappe en a dérangé la disposition originelle.

Dans ces conditions, je pense que l'analogie entre la disposition de la schistosité dans la nappe d'une part, dans l'autochtone d'autre part, là où leur superposition est visible directement sur le terrain, tient à la cause générale déjà signalée dans les pages précédentes: dans tout l'Apennin septentrional, au voisinage de la mer Tyrrhénienne, la schistosité est peu inclinée, sauf exceptions locales, au point

que s'impose à l'esprit l'idée de l'intervention de contraintes subverticales.

Les terrains de la nappe et ceux de l'Autochtone appartenaient originellement à deux rides voisines sensiblement contemporaines; dans l'une le métamorphisme a été exagéré et les déformations intimes ont pris le caractère plus profond à cause d'actions de granitisation à faible profondeur; par après, le charriage, de type cisaillant, s'est produit et a superposé deux unités tectoniques évoluées dans des conditions différentes.

c) Dans les pages précédentes, il a été question de l'Apennin au nord de la fenêtre de Carrara. Une coupe relativement simple passant par Torriglia et Bobbio a mis en évidence l'allure générale en large anticlinorium, des formations géologiques et celle de leurs déformations intimes. On a pu se rendre compte de ce que ces dernières sont plutôt la conséquence d'un écrasement et d'un étirement de la matière à l'intervention de contraintes dirigées de haut en bas.

La coupe passant par les Alpes Apuanes rappelle, dans ses traits essentiels, la structure générale de la coupe précédente, avec en plus, l'influence du métamorphisme résultant probablement de la mise en place d'un massif granitique en profondeur. Cette influence se marque par une déformabilité plus grande de la matière au point de faire apparaître la schistosité à une profondeur où normalement devrait exister simplement la schistosité de fracture.

Je rappellerai ici pour mémoire les plis serrés si caractéristiques des marbres de la région de Carrara, spécialement des cipolins. La déformabilité de cette matière en apparence massive me paraît avoir atteint un taux extrêmement élevé. J'ai noté, en effet, que les marbres métamorphiques sont pratiquement dépourvus de veines d'étirement; par contre, les bancs calcaires intercalés dans la grande série schisteuse non métamorphique sont caractérisés par un développement considérable de telles veines, même quand les bancs schisteux voisins ne montrent pas de schistosité.

Chapitre IV

LA RÉGION DU MONTE PISANO

A l'est de Pisa, à la bordure de l'Apennin, le Monte Pisano [10] correspond à un massif de Permo-Carbonifère assez étendu, de forme grossièrement carrée. A sa bordure se trouve du Trias et du Jurassique, qui ont peut-être été quelque peu déplacés par rapport au Permo-Carbonifère [1]. Cet ensemble à tectonique complexe est, en quelque sorte, le prolongement de l'Autochtone de Carrare réapparaissant par érosion de la nappe des Apuanes.

Dans la partie sud du massif, je n'ai observé qu'une schistosité grossière, dont le développement est, d'ailleurs, fort inégal.

Dans le nord du massif, l'évolution des roches paraît un peu plus avancée. J'y ai vu des schistes ardoisiers et des schistes satinés; à S. Maria del Giudice (le long de la nouvelle route de Lucca), j'ai trouvé des débris de schiste phylladeux renfermant des cubes de pyrite avec halo d'étirement, preuve de ce que ces roches ont subi un certain laminage.

Par endroits, les schistes présentent un clivage oblique à la stratification; son inclinaison varie dans d'assez larges limites; dans plusieurs affleurements, elle est assez faible.

En examinant les calcaires qui bordent le massif permo-carbonifère du Monte Pisano, au voisinage de S. Giuliano Terme, j'ai été frappé de voir qu'à l'intérieur de bancs d'apparence massive, de petits plis serrés se sont développés; ceci laisse à penser que la matière devait être douée d'une plasticité notable, qui rappelle, à un degré moindre, celle des marbres cristallins de la région de Carrara.

C'est ainsi qu'à l'ouest de S. Maria del Giudice, au hameau d'Imaginetta, les calcaires jurassiques ont un aspect cristallin;

[1] Le long de la petite route de S. Giuliano Terme à Asciano, j'ai vu sous le calcaire jurassique, la dolomie et les cargneules du Trias reposer sur le Carbonifère. Il ne semble pas qu'il soit possible de faire passer en cet endroit un accident important entre le Permo-Carbonifère et sa couverture.

grâce à la présence de zones peu épaisses de teintes différentes, la stratification apparaît nettement; l'allure est caractérisée par de petits plis déversés vers l'ouest; en relation avec ceux-ci, j'ai relevé une amorce de schistosité (fig. 20).

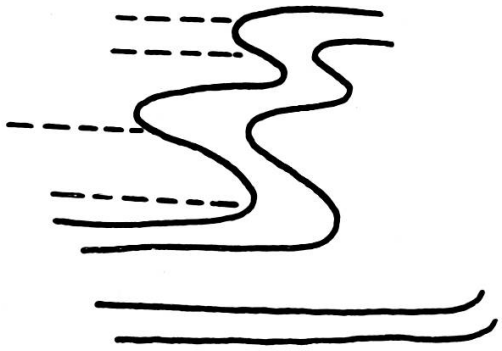


FIG. 20.
Petits plis dans le calcaire jurassique de la carrière d'Imaginetta. L'amorce de la schistosité est indiquée en traits interrompus.

A l'entrée de la nouvelle route de S. Giuliano Terme à Lucca, en aval du tunnel, j'ai observé dans le calcaire massif de petits plis serrés qui pourraient faire croire à l'existence d'un microplissement. J'ai vu aussi des déformations analogues à celle représentée à la figure précédente, dans la carrière ouverte le long de l'ancienne route de Lucca à la sortie du village de S. Giuliano Terme.

C'est dans cette même carrière que j'ai prélevé un échantillon déjà figuré antérieurement [9]; je reproduis ici ce croquis qui montre fort bien la relation entre le plissement, la schistosité et l'étirement des bancs (fig. 21).

Tous ces faits confirment l'hypothèse qu'au moment où le calcaire a pris son allure définitive, il était doué d'une déformabilité bien supérieure à celle qui existait dans les régions plus normales de l'Apennin. On constate en même temps que ces calcaires paraissent, tout comme le Permo-Carbonifère du nord du Monte Pisano, avoir atteint un stade d'évolution plus avancé que dans le sud du Monte Pisano ou dans la région de Lucca ou entre Pisa et Pietrasanta.

Près de Molina de Quosa, l'Autochtone du flanc ouest du massif est constitué par les schistes avec bancs de calcaire

siliceux du « Macigno ». Ces roches ne montrent qu'une schistosité de fracture assez fruste, bien visible à l'endroit d'un pli serré. A leur voisinage, les schistes rouges de la « Scaglia rossa » sont finement feuilletés au contact de la nappe qui refoule le Trias sur l'Autochtone, et qui est l'équivalent de la nappe des Apuanes. On notera que le métamorphisme et la schistosité sont ici très peu marqués comparativement à ce qu'ils sont près de S. Giuliano Terme.

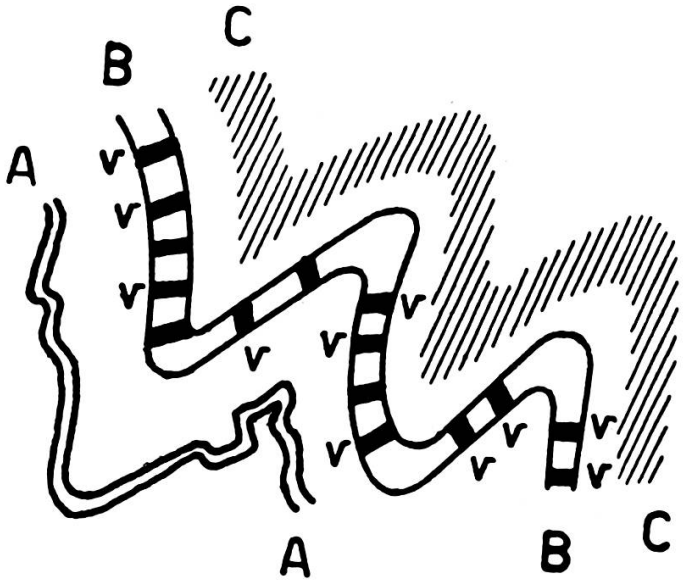


FIG. 21.
Coupe schématique au voisinage de San Giuliano pour montrer les relations entre les plis serrés, les veines d'étirement et la schistosité.

J'ai l'impression qu'il faut envisager pour la région du Monte Pisano et ses abords immédiats, une explication analogue à celle mise en avant à propos du développement du métamorphisme dans la fenêtre de Carrara, à savoir l'influence plus ou moins lointaine de phénomènes magmatiques, ou actions de granitisation en profondeur.

CHAPITRE V

LA RÉGION A L'EST DE LA FENÊTRE DE CARRARA

Il n'est pas douteux que les terrains métamorphiques des Alpes Apuanes apparaissent en fenêtre tectonique sous une

nappe constituée par des terrains dont l'évolution lithologique est beaucoup moins avancée.

La question se pose de savoir où se trouve, vers le nord-est, le front de cette nappe; la solution ne paraît pas en être trouvée. Un contact anormal observé à Ponte di Corfino, au nord de Castelnuovo, pourrait marquer le passage de cet accident tectonique; il faudrait admettre dans ce cas que les roches métamorphiques de l'intérieur de la fenêtre de Carrara passent rapidement vers l'est à des roches non métamorphiques de même position stratigraphique. Une variation aussi brusque serait en harmonie avec l'intervention d'une cause locale qui expliquerait le métamorphisme et, par le fait même, le développement et l'aspect de la schistosité à l'intérieur de la fenêtre, tout comme au massif du Monte Pisano.

Quand on s'avance vers l'est, dans le bassin de S. Marcello notamment, on voit de larges zones occupées par les «argille scagliose» mises en contact avec de larges plages du « Macigno ».

J'ai été frappé par la différence d'aspect et d'évolution que présente le niveau dit «argille scagliose» (voir carte dressée par Merla au 400.000e [7]) suivant qu'on l'envisage dans cette région située à l'est de la fenêtre de Carrara ou bien dans le territoire dont j'ai parlé antérieurement.

Alors que, dans ce dernier, j'ai trouvé un développement de la schistosité, restreint sans doute, mais répondant généralement aux règles usuelles, à l'est de la fenêtre de Carrara, par contre, les masses désignées sous le nom d'«argille scagliose» ne présentent pas trace de schistosité; elles emballent des blocs exotiques parfois énormes; elles donnent l'impression d'avoir participé à un vaste glissement superficiel sous l'action de la gravité. A mon avis, la partie de l'Apennin que j'ai visitée au nord de La Spezia a fait son évolution d'une autre manière, sous une charge plus grande; il me paraît difficile d'en expliquer les caractères tectoniques suivant le principe du glissement par gravité.

Peut-être l'examen de la zone de passage de l'Apennin aux Alpes apportera-t-il des arguments en faveur de ma manière de voir. C'est ce que je vais essayer d'établir dans le chapitre suivant.

Chapitre VI

ZONE DE TRANSITION DE L'APENNIN AUX ALPES

J'ai publié antérieurement les résultats de mes recherches dans la zone pennique des Alpes [3]. L'Apennin en constitue le prolongement. Il est intéressant, par conséquent, de rechercher comment se comporte la schistosité au passage d'une chaîne à l'autre.

La zone de transition s'étend du val de Scrivia (Gênes), au massif ancien de Savona. Du point de vue spécial qui m'occupe, les observations y sont très sporadiques à cause de l'extension énorme des massifs de roches vertes. La carte géologique au 100.000e levée par F. Sacco, L. Peretti et G. Rovereto permet de juger de l'importance de ces venues entre lesquelles les terrains sédimentaires, très métamorphiques, n'occupent qu'une place restreinte. D'autre part, au nord du parallèle de Voltaggio, les formations du Cénozoïque récent [1] s'étendent largement, avec inclinaison modérée vers la plaine du Pô; il en résulte que les plis de la phase tectonique majeure de l'Apennin ne peuvent être observés suivant le méridien que sur une largeur relativement faible, une vingtaine de kilomètres, entre le rivage de la mer et la couverture discordante de Cénozoïque récent.

Pour essayer de préciser le mieux possible les changements qui s'opèrent dans la nature et l'allure des déformations intimes des roches dans la zone de passage Apennins-Alpes, je partirai de la coupe envisagée précédemment entre Gênes-Rapallo, Torriglia, Bobbio et Piacenza. Je rappellerai sommairement que l'on se trouve là en présence d'un large anticlinorium très surbaissé dont la partie centrale est occupée par la masse des schistes avec bancs calcaires et siliceux avec intercalations de masses plus ou moins puissantes de grès grossier et de poudingue

[1] Sur la carte géologique au 100.000e, ces terrains sont indiqués comme appartenant à l'Oligocène-Miocène; ils sont probablement plus récents.

qui vont se développant vers le sud-est, tandis qu'elles s'atténuent vers le nord (« arenarie superiore » de la carte de Rapallo). Sur les deux flancs de ce pli de premier ordre, affleure largement la série plus récente du calcaire de Gênes-Rapallo, en bordure de la mer Tyrrhénienne d'une part, en bordure de la plaine du Pô, d'autre part.

Le long de la route de Gênes à Piacenza, la série schisteuse affleure depuis Bargagli jusqu'à quelques kilomètres au nord de Bobbio.

A l'ouest de la route, le niveau des calcaires s'étend de façon presque continue sur les hauteurs, son contact avec les schistes sous-jacents esquissant une allure en voûte surbaissée qui correspond à l'anticlinorium dont il vient d'être question. Cette répartition des deux grandes formations est la conséquence de l'allure générale de la tectonique de l'Apennin, de l'érosion différentielle et probablement aussi d'un très léger ennoyage de l'anticlinorium vers l'ouest.

Quoi qu'il en soit, du fait de cette disposition, la série schisteuse s'enfonce vers l'ouest sous le calcaire, pour réapparaître ensuite dans la profonde dépression de la Scrivia et du T. Verde que suivent la route et la voie ferrée de Gênes à Milan.

Si on longe le contact de la série calcaire et des schistes sous-jacents, il est au niveau de la mer à Gênes (San Pier d'Arena); il monte vers 600 mètres à hauteur de Busalla pour redescendre à environ 300 mètres à Giacobini (à 7 kilomètres au nord de Busalla) où les bancs de la série calcaire inclinent au nord-est, pour décrire ensuite quelques ondulations avant leur contact avec la couverture discordante de Cénozoïque récent.

Si la formation calcaire n'atteint pas la dépression de la Scrivia prolongée au sud du col de Giovi par le torrent Verde, c'est dû au fait que l'érosion a creusé une profonde dépression de direction méridienne en cet endroit; mais il faut ajouter aussi que l'anticlinorium présente là un léger relèvement d'axe vers l'ouest; les plis secondaires de la série calcaire s'ennoyent vers l'est ou le sud-est de façon très apparente.

Il n'est pas dans mes intentions d'entrer ici dans des considérations sur la tectonique de détail de la région située à

l'ouest de la zone occupée par les calcaires. C'est en effet là que, d'après la dernière carte tectonique de Staub [11], se fait le contact entre l'Apennin et les Alpes. Un travail détaillé de P. Grettaz [12] a paru récemment sur cette question.

Je ferai simplement observer que, dans la bande des roches schisteuses où passe la route Gênes-Milan, la direction dominante des bancs est généralement voisine du méridien; il en est déjà ainsi, d'ailleurs, dans la zone calcaire à l'est de Gênes-col de Giovi, où la direction des bancs tend à se rapprocher de la ligne nord-sud au flanc sud-ouest des plis secondaires à ennoyage vers l'est ou le sud-est.

J'en arrive à la question de la schistosité qui m'occupe spécialement dans ce travail. J'examinerai d'abord, à cet effet, la couverture des terrains calcaires sur les deux flancs et au sommet de l'anticlinorium surbaissé; j'envisagerai ensuite la série schisteuse qui en forme le noyau.

A Gênes même, j'ai observé la série calcaire au port et sur la hauteur qui domine la ville, à proximité d'anciennes fortifications. On y voit des calcaires avec intercalations de calcschiste. Les bancs de nature plus argileuse sont souvent affectés par une schistosité grossière, dont la distribution est, d'ailleurs, fort irrégulière; des bancs de même composition lithologique en apparence présentent le clivage schisteux alors qu'il n'apparaît pas dans d'autres. En allure générale, les joints de schistosité sont peu inclinés; on se trouve là dans le prolongement des terrains observés à la sortie de Gênes par la route de Torriglia (ci-avant p. 13). D'un côté comme de l'autre, on peut croire que les roches ont évolué au voisinage du front supérieur de schistosité.

Il en est de même dans la zone axiale de l'anticlinorium ainsi que j'ai pu m'en assurer en suivant la route de Gênes à Busalla par Montoggio. Le long de cette route, en approchant de Busalla, on voit une très belle schistosité de fracture dans les schistes sombres à bancs de calcaire situés immédiatement en dessous de la grande série des calcaires. De même près de Scrivia dans la vallée de la Scrivia, j'ai relevé une coupe intéressante dans des schistes avec bancs minces de calcaire, affectés par des plis minuscules. La schistosité à fort pendage

nord est en relation avec ces déformations de faible amplitude (fig. 22).

Les calcaires qui surmontent ce niveau sont en bancs épais avec minces intercalations de schiste noir; ils inclinent de 30° vers le nord-est et ne montrent pas de schistosité. Mais, dans les bancs supérieurs visibles de la série calcaire, où la roche est plus argileuse, on voit réapparaître un peu de schistosité de fracture.

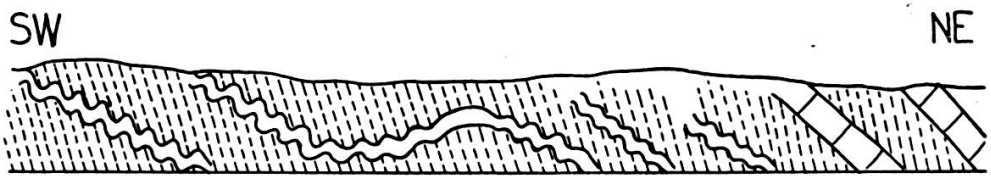


FIG. 22.
Coupe au nord de Busalla (Apennin septentrional) montrant la relation de la schistosité avec des plis minuscules.

Là encore, on se trouve au voisinage du front supérieur de schistosité. Je ferai remarquer à cette occasion que le front est ici plus haut dans la série stratigraphique qu'il ne l'est dans la coupe passant par Torriglia-Bobbio décrite antérieurement. Dans cette partie de l'Apennin, j'ai montré en effet que le front supérieur de schistosité est situé plus bas au flanc nord de l'anticlinorium qu'au flanc sud; dans la coupe de la Scrivia et du T. Verde, il paraît être au même niveau au nord qu'au sud.

J'ajouterai que l'allure redressée, parfois jusqu'à la verticale, du clivage schisteux sur la retombée nord de l'anticlinorium est en contradiction avec la faible pente observée aux environs de Gênes. Il faut en conclure que l'orientation des contraintes agissant au moment du plissement n'était pas identique sur les deux flancs de l'anticlinorium, dans la région proche de Gênes-Busalla.

J'en arrive à l'exposé des observations que j'ai faites dans la zone à roches schisteuses dominantes qui, suivant la route de Gênes à Milan, forme le cœur du grand pli de premier ordre.

Tout le long de l'autostrade comme de l'ancienne route de Milan, j'ai observé de nombreux plis secondaires; certains de ceux-ci, principalement au voisinage de Gênes sont des plis

écrasés à plan axial subhorizontal. Dans ce cas, on y voit un clivage schisteux voisin lui aussi de l'horizontale. Toutefois, la plupart du temps, les plis sont redressés et dans plusieurs affleurements, j'ai vu une belle schistosité dont les feuillets sont aussi très inclinés. Il est à remarquer que les roches ont ici un caractère plus phylladeux que dans la partie de l'Apennin située plus à l'est; de même, la schistosité est déjà du type de la schistosité de flux, comme l'indiquent les feuillets minces avec surface luisante. On voit ainsi se produire rapidement une modification dans l'aspect des roches quand on passe de l'est à l'ouest.

J'ai cependant été frappé par le fait qu'un peu au sud du col de Giovi, à l'entrée du chemin conduisant à Fumeri, j'ai vu des schistes sombres très feuilletés avec bancs plus siliceux soulignant la stratification, laquelle est voisine de la verticale; l'allure se complique cependant par la présence de quelques petits plis à l'extrémité est de la coupe; un seul banc de schiste m'a montré une schistosité oblique nette, à forte inclinaison ouest.

Peut-être, pour expliquer cette anomalie apparente, faut-il faire intervenir la nature lithologique elle-même. Mes observations dans les Alpes, notamment à la Via Mala et près de Tiefenkastel, m'ont montré qu'une stratification en lits minces, relativement mobiles les uns par rapport aux autres, peut empêcher la schistosité, ces bancs se déformant en une série de plis minuscules. Je ne puis toutefois pas affirmer que cette règle soit bien d'application dans le cas présent.

J'ai eu mon attention attirée par une particularité curieuse. Le long de l'autostrade, vers le km 15,3 j'ai vu des phyllades se débitant en feuillets luisants, parallèles à la stratification au point de faire douter de l'existence de schistosité; or, un échantillon de ce phyllade se débite en feuillets extrêmement minces, dont la surface montre un gaufrage typique; en examinant cet échantillon suivant la tranche, perpendiculairement à la direction du gaufrage, j'ai pu voir que celui-ci correspond à des microplis, lesquels se propagent de feuillet en feuillet.

J'ai eu ainsi l'impression de me trouver à proximité et même en dessous du front inférieur de schistosité, là où appa-

raît le microplissement, c'est-à-dire dans une zone évoluée dans des conditions bien différentes de celles observées à l'est de la vallée où passe l'autostrade de Milan.

Pour m'assurer que les faits signalés ne sont pas exceptionnels, j'ai complété les observations recueillies le long de l'autostrade Gênes-Milan en examinant la coupe de la route de Gênes à Voltaggio par Pontedecimo et le col de Bocchetta, y compris l'embranchement vers Isoverde, localité située un peu à l'ouest. J'y ai vu des schistes phylladeux noirs, affectés de nombreux plis serrés; en général, la pente des couches est forte et à première vue le feuilletage des schistes semble parallèle à la stratification; en réalité, un examen attentif permet de voir qu'il y existe un clivage schisteux permettant le débitage de la roche en feuillets très minces, à caractère ardoisier par endroits. Comme les plis sont très serrés, l'angle du feuilletage et de la stratification est très faible, ce qui explique l'erreur que l'on est porté à commettre. En réalité donc, le long de cette coupe, les schistes sont affectés par une schistosité que l'on peut considérer comme schistosité de flux. L'aspect luisant de la surface des feuillets indique que ces roches ont été fortement écrasées. Certains de ces plis ont leur plan axial vertical et il en est de même de la schistosité [5].

Il y a lieu d'ajouter que les bancs montrent très fréquemment des traces nettes d'étirement marqué, notamment, par des diaclases fortement élargies et minéralisées dans les calcaires et les grès (veines d'étirement).

J'ai représenté dans la figure 23 un aspect un peu particulier de ces veines; dans un banc calcaire, il s'agit de veines épaisses; dans un banc de schiste, les veines sont plus minces, mais elles sont plus rapprochées. Dans leur ensemble, elles donnent l'apparence de la disposition d'un clivage schisteux. Cependant, je possède un échantillon du banc schisteux, qui est un beau phyllade noir, fin. A côté d'une veine d'étirement, on y voit un débitage en feuillets minces disposés à peu près normalement à la stratification; il est figuré en traits interrompus à la figure 23.

A partir de Sestri, à l'ouest de Gênes, la situation se modifie rapidement, car les roches sont essentiellement des séricito-

schistes accompagnés de calcaires cristallins dont les joints de stratification sont couverts de mica. Il semble que le métamorphisme aille en croissant rapidement vers l'ouest, quelle que soit la structure tectonique détaillée. A Arenzano affleurent des calcaires massifs et des roches grossières qui appartiennent vraisemblablement au Trias.

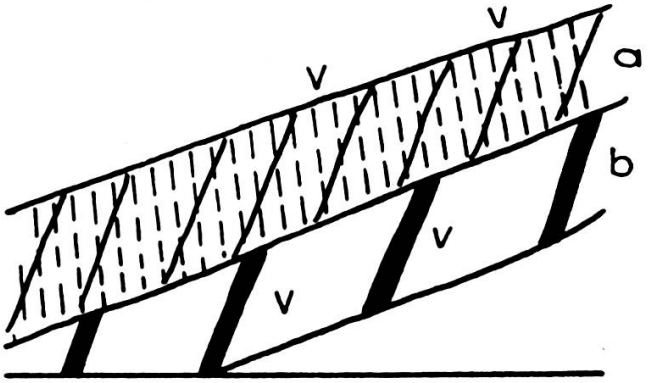


FIG. 23.
Veines d'étirement.
a = banc schisteux. *b* = banc calcaire.
v = veines d'étirement.
Le clivage schisteux est en traits interrompus.
Autostrade de Gênes à Milan au kilomètre 6.

En réalité, entre Gênes et Voltri, la série est redoublée si l'on en juge d'après les derniers travaux réalisés dans la région [12]. Le Trias apparaîtrait déjà en une bande assez continue sous les schistes du Lias, entre Sestri et Voltaggio; vers l'ouest, ce Trias est en contact avec les Bundnerschiefer à massifs de roches vertes, considérés par divers auteurs comme représentant le Lias. Il y aurait là, d'après Grettaz, un accident important mettant en présence les facies de l'Apennin avec ceux des Alpes.

Ayant parcouru antérieurement les routes de Voltri à Campo-Ligure-Rossiglione et de Varazze-Sassello-Urbe-Rossiglione, j'ai pu compléter récemment (1956) mes observations sur cette partie du territoire alpin en visitant des tranchées de la nouvelle autostrade de Voltri à Arenzano. Dans toute cette région, j'ai été frappé par l'accentuation de degré d'évolution lithologique des roches; c'est ainsi que le long de l'autostrade Voltri-Arenzano, j'ai trouvé un niveau de schiste très grenati-

fère. J'ai observé une roche identique le long de la grand-route ancienne à 1 km à l'est d'Arenzano. Les calcaires intercalés dans les roches schisteuses sont généralement cristallins et micacés; s'ils sont plus purs, ils ont l'aspect bleuté normal mais les joints de stratification sont enduits de mica.

Je ne puis entreprendre de décrire en détail les observations que j'ai faites dans cette région à la recherche de la schistosité; elles sont à première vue décevantes. L'observateur est frappé de voir que le débitage des schistes est, de façon très générale, parallèle à la stratification. Par endroits, cependant, j'ai noté la présence d'une schistosité oblique mais sa répartition est loin d'être systématique.

Par contre, j'ai vu du microplissement en divers endroits. A la sortie de Voltri, il se rencontre dans des schistes sériciteux grossiers formant de petits plis serrés à axe subvertical; ce microplissement tient la place d'un clivage subhorizontal. Ailleurs, la foliation domine et dans les couches inférieures de la série schisteuse, finement litée, j'ai observé des plis minuscules finement serrés.

Dans l'ensemble, les roches sont très laminées et cet écrasement affecte largement la plupart des massifs de roches vertes, certaines serpentines, par exemple, ont une texture schisteuse.

Il semble que, entre Voltri et Varazze, et au nord de cette localité, le clivage schisteux, le feuilletage des serpentines écrasées, le microplissement sont assez peu inclinés, voire subhorizontaux.

A cet égard, je serais tenté d'établir un parallélisme avec les allures que j'ai observées le long de la Stura de Demonte et le long de la route de Cuneo au col de Tende, où les roches situées à l'est du massif du Mercantour montrent aussi des traces très apparentes d'un laminage énergique sous l'action de contraintes orientées à peu près suivant la verticale; du clivage de flux et du microplissement sont bien développés dans les terrains de la Stura de Demonte. Le changement relativement rapide qui se manifeste dans l'évolution des roches à l'ouest de la route de Gênes au col de Bochella pourrait faire croire à l'existence d'un accident tectonique important. Je ne désire pas aborder ce problème. Je me contenterai de dire que mes

observations sur la schistosité ne me donnent pas confirmation de cette hypothèse. Je vois plutôt un passage progressif mais relativement rapide de la zone à schistosité de flux à la zone à microplissement et à foliation. Aussi, je me suis demandé si la série schisteuse avec bancs calcaires, tout comme les Bundnerschiefer (calcschistes du Piémont) avec laquelle elle est en contact d'après Grettaz [11] n'a pas été influencée par d'autres facteurs de métamorphisme que les actions dynamiques sous charge. Dans ce cas, il conviendrait peut-être de penser à des interventions analogues à celles invoquées pour expliquer le métamorphisme des Alpes Apuanes, sans exclure, bien entendu, l'influence des actions dynamiques prouvées par l'étirement considérable des roches, de même qu'une augmentation de la charge marquée par une épaisseur croissante des formations de l'Apennin aux Alpes.

Ces observations et les conclusions qui s'imposent, obligent à repenser le problème de la schistosité et de la microtectonique en général, dans la zone de passage des Alpes à l'Apennin.

Je terminerai cet exposé en rappelant qu'au delà de Voltaggio, comme de Pietrabissara, un conglomérat très épais, à galets souvent volumineux [1], repose en discordance sur la série calcaire ou sur la série schisteuse; il incline faiblement vers le nord et est surmonté de marnes tendres ne présentant aucune trace de schistosité.

Chapitre VII

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Des faits exposés, il est possible de tirer quelques conclusions:

1° La schistosité proprement dite est relativement peu développée dans l'Apennin septentrional. Après y avoir relevé une série de coupes en travers de la chaîne, on a l'impression

[1] Sur les feuilles de la carte géologique d'Italie au 100.000e, ce conglomérat est indiqué comme étant d'âge oligocène, mais je pense qu'il doit être plus récent.

que la plupart des roches visibles en affleurement sont au voisinage du front supérieur de schistosité ou au-dessus de ce niveau-repère.

2° Cependant dans les Alpes Apuanes, le substratum autochtone métamorphique, apparaissant en fenêtre tectonique sous les terrains qui l'entourent, est caractérisé par un développement plus marqué de la schistosité; on y voit de la schistosité de flux, comme dans le marbre cipolin, par exemple, voire même un début de microplissement. On constate quelque chose d'analogue au voisinage du massif granitique de Campiglia, situé au sud de la région faisant l'objet de ce travail.

Le métamorphisme plus marqué de certaines parties de l'Apennin paraît bien être en rapport avec la mise en place du granite; c'est le cas à Campiglia et peut-être aussi pour les terrains de la fenêtre de Carrara.

Il est établi que la mise en place du granite peut avoir pour effet de resserrer les zones de schistosité et de déformations connexes. Le cas m'a été signalé dans les Pyrénées [13]. Je pense qu'il en est de même dans les parties à métamorphisme plus développé de l'Apennin septentrional. On comprend ainsi que le développement de la schistosité puisse varier grandement d'une partie à l'autre de la chaîne[1].

3° Cette constatation est intéressante quand on cherche à établir les relations entre l'Apennin et les Alpes du point de vue comportement des déformations de microtectonique (schistosité et déformations connexes). Ceci fait penser que,

[1] Au cours d'un récent voyage en Toscane en compagnie du professeur L. Trevisan, j'ai pu, entre Siena et Massa Maritima, m'assurer de l'existence d'une fenêtre tectonique laissant apparaître le calcaire hettangien métamorphique (marbre blanc), les dolomies du Trias et les phyllades du Verrucano, sous une nappe de terrains non métamorphiques. C'est une situation comparable à celle de la région de Carrara. Il s'agit, d'ailleurs, du prolongement de la ride du Monte Pisano et de Carrara.

Suivant l'axe de cette ride, il existe par conséquent des centres à métamorphisme plus avancé, qui sont aussi des centres à resserrement des zones de microtectonique. L'interdépendance des deux types d'évolution des roches apparaît évidente dans cette partie de l'Apennin. *(Note ajoutée pendant l'impression.)*

dans la zone pennique des Alpes à laquelle se rattache l'Apennin, il n'est peut-être pas nécessaire de supposer l'existence initiale d'une très grande épaisseur de roches [3]. Celle-ci pourrait être compensée par une élévation anormale de température due à la mise en place du granite, ou plus simplement aux actions de granitisation à grande échelle. A ce point de vue, il y a passage progressif de l'Apennin aux Alpes comme on peut le voir dans la région de Genova.

Il n'est cependant pas douteux que l'épaisseur des formations mézosoïques et cénozoïques va en augmentant largement de l'Apennin à la zone pennique de la Suisse, en même temps que se modifie le faciès lithologique de ces formations.

4° L'Apennin septentrional est caractérisé du point de vue tectonique par des plis à échelle relativement réduite, de telle manière que leur courbe enveloppe donne une allure tranquille dans ses traits généraux, par exemple une disposition en grand anticlinorium comme entre Gênes et la plaine du Pô.

Les plis de taille réduite ont un caractère particulier en ce sens qu'à côté d'allures tranquilles où les couches ont une pente moyenne assez faible, il y a des plis isoclinaux de faible amplitude à plan axial horizontal. A ces endroits, la schistosité est plus développée. En allure générale, celle-ci est peu inclinée, au moins du côté de la mer Tyrrhénienne.

Malgré ce développement restreint du clivage schisteux, les roches de l'Apennin montrent partout des indices d'étirement indiscutables mis en évidence notamment par les veines élargies si caractéristiques de beaucoup de bancs de grès et de calcaire (veines d'étirement). Les roches argileuses, même là où le clivage oblique ne s'est pas développé, donnent l'impression d'avoir été écrasées et laminées à l'intervention d'une charge verticale dans la majeure partie des cas.

Quand on cherche à tenir compte de ces faits, on a l'impression que les roches de l'Apennin au moment de

leur déformation ont été soumises à des contraintes voisines de la verticale, dont l'origine semble devoir être cherchée principalement dans le poids de la chaîne elle-même. En d'autres termes, les roches visibles actuellement en surface ont été écrasées sous le poids des masses aujourd'hui disparues par l'érosion. Pour la partie de la chaîne que j'ai spécialement étudiée, je ne pense pas que la tectonique résulte en ordre principal de glissement superficiel par gravité sur les flancs de la ride soulevée. On se trouverait, au contraire, en présence d'une zone tectonique un peu plus profonde où le poids même de cette ride joue le rôle capital.

Je ne voudrais cependant pas nier l'intervention des glissements superficiels par gravité, notamment dans la partie de la chaîne située à l'est du territoire que j'ai parcouru. Les glissements superficiels des « argille scagliose » à l'intervention de la pesanteur paraissent avoir joué là le rôle capital ainsi que l'ont fait voir les professeurs Merla et Trevisan au cours de la réunion internationale tenue à Pisa et à Firenze en 1953. Dans les masses déplacées de cette manière, je n'ai pas trouvé de schistosité.

5° On connaît des charriages importants dans l'Apennin septentrional, avec superposition de nappes sur un substratum considéré, provisoirement tout au moins, comme autochtone (Alpes Apuanes). Le problème se pose de savoir de quand date la schistosité.

Au contact de l'autochtone de la fenêtre de Carrara et de la nappe qui s'est avancée par-dessus, la solution est difficile à donner à cause du développement très inégal du métamorphisme et de la schistosité de part et d'autre de la surface de contact. Il faudrait procéder à cet effet à de nouvelles observations sur la microtectonique de cette région et à une étude pétrographique attentive des roches en contact. A mon avis, la mise en place de la nappe est postérieure à la schistosité comme elle est postérieure au développement du métamorphisme.

6° Dans la première coupe que j'ai décrite, entre Genova et Piacenza, j'ai fait remarquer que la disposition de la chaîne

y est sensiblement symétrique. Il faudrait se garder cependant de croire qu'il s'agit là d'une règle parfaitement établie. En réalité, même en cet endroit, la symétrie n'existe que dans l'orientation des efforts et, dans les très grandes lignes de la répartition des terrains, avec notamment la disposition transgressive du Cénozoïque récent au nord-est comme au sud-ouest.

Il ne faut pas perdre de vue, en effet, que suivant les vues des savants italiens, l'Apennin s'est édifié progressivement par la surrection d'une série de rides se succédant de l'ouest vers l'est; s'il peut y avoir symétrie pour chacune d'elles, la disposition symétrique d'ensemble ne peut exister qu'en apparence, notamment pour les mouvements plus récents, de type épirogénique ajoutant leurs effets à ceux qui ont donné les premiers caractères à la tectonique de la chaîne.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

1. P. Fourmarier, « Observations sur le comportement de la schistosité dans les Alpes ». *Ann. Hébert et Haug. Livre jubil. Ch. Jacob*, Paris, 1949.

2. —— « La schistosité dans les terrains de la bordure externe des Alpes entre l'Ubaye et la Méditerranée ». *Publ. Congr. Toulouse. Assoc. franç. Avanc. Sciences*, 1950.

3. —— « Essai sur le comportement et l'allure de la schistosité dans la zone pennique des Alpes franco-suisses ». *Arch. Sciences*, vol. 5, fasc. 6, Genève, 1952.

4. —— « Aperçu sur les déformations intimes des roches en terrains plissés ». *Ann. Soc. Géol. Belgique*, t. LXXV, *Bull.* 1952.

5. —— « Schistosité et forme des plis ». *Ann. Soc. Géol. Belgique*, t. LXXIX, *Bull.* 1956.

6. Fel. Ippoloto, « Le Alpi Apuane ». *Memorie et note dell'Istituto di Geologia applicata dell'Università di Napoli*, vol. III, 1949-1950, Rome.

7. G. Merla, *Carte géologique de l'Apennin septentrional* au 400.000e. Notice relative à l'excursion de 1953.

8. A. Rittman, « Geologia della regione Apuana ». *Mem. e Note dell' Istituto di Geol. Applic. dell'Univers. di Napoli.* vol. III, 1949-1950, Rome.

9. P. Fourmarier, « L'influence des déplacements relatifs dans la production de la schistosité ». *Ann. Soc. Géol. Belgique*, t. LXXIV, *Bull.* 1951.

10. F. Ippolito, « Il Monte Pisano ». *Mem. e Note dell' Ist. di Geol. applic. dell' Univ. di Napoli*, vol. III, vol. III, 1949-1950.

11. R. Staub, « Der Bau des Apennins und seine Stellung im alpinen Gebirgssystem Sudeuropas ». *Eclog. geol. Helv.*, vol. 44, 1951.

12. Pierre Grettaz, *Geologische Untersuchungen an der Alpen-Apennin Grenze in Liguren (Italie)*. Thèse, Zurich, 1955.

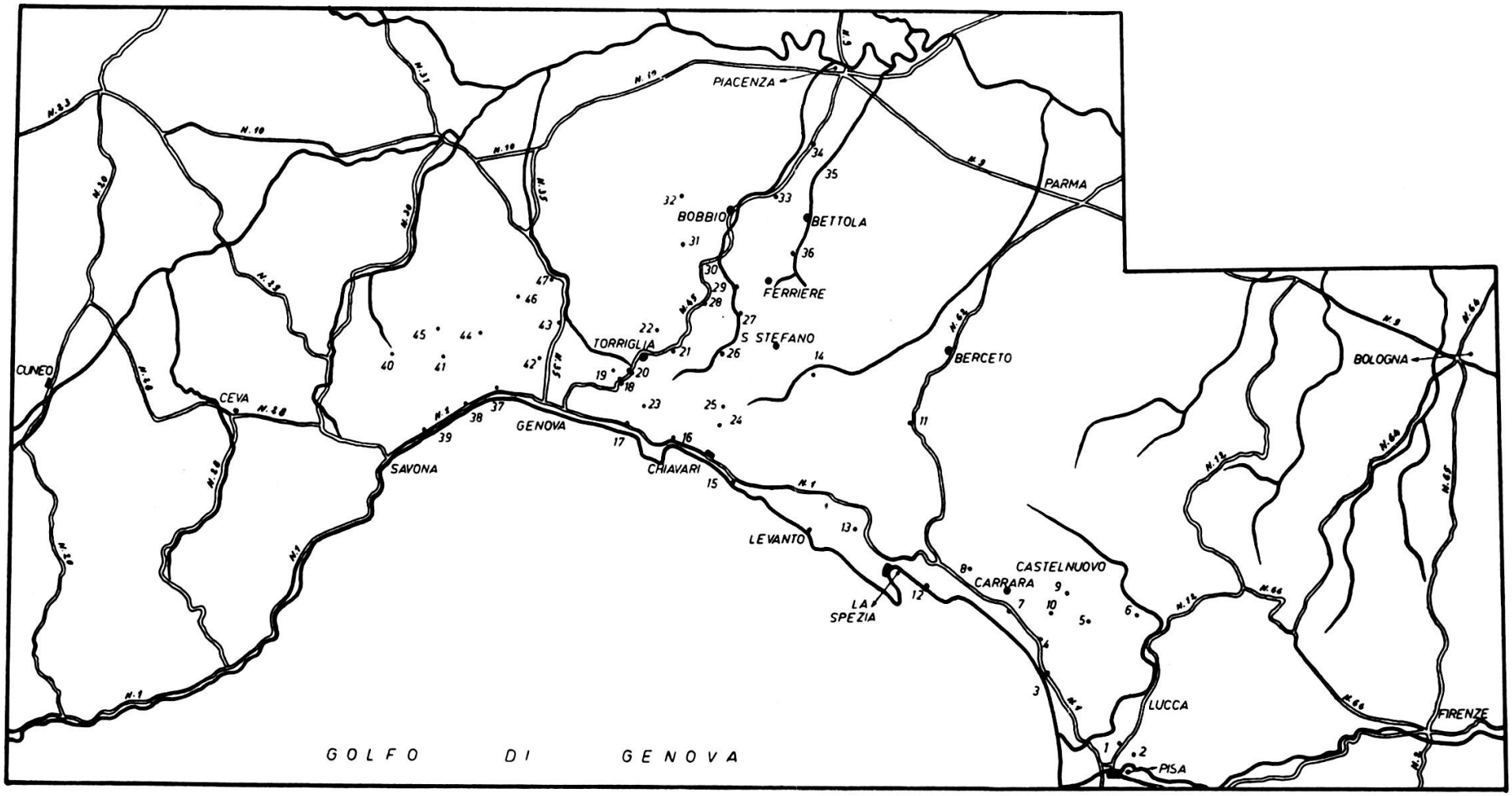
13. P. Fourmarier, « Remarques au sujet de la distribution de la schistosité dans les Pyrénées (note préliminaire) ». *Bull. Soc. Géol. France*, 6e sér., t. I.

14. A. Azzaroli, Tettonica della catena principale dell' Appennino lunigianese tra il passo di Gradarena e il passo di Lagastrello. *Bull. Soc. geol. italiana*, t. LXIX, 1950.

1. S. Giuliano Terme.
2. Asciano.
3. Viareggio.
4. Piétrasanta.
5. Cardoso.
6. Cardoso s/Serchio.
7. Massa.
8. Castelnuovo di Magra.
9. Campagrina.
10. C.d. giardino.
11. Pontremoli.
12. Lerici.
13. Pignone.
14. Bedonia.
15. Sestri Levante.
16. Rapallo.
17. Recco.
18. Bargagli.
19. Davagna.
20. P^so^ della Scoffera.
21. Montebruno.
22. Propata.
23. Uscio.
24. Borgonovo.
25. Borzonasca.
26. Rezzoaglio.
27. Boschi.
28. Ottone.
29. Salsominore.
30. Carisasca.
31. Brallo.
32. S. Pietro Casasco.
33. Perino.
34. Rivergaro.
35. Ponte d'Olio.
36. Farini d'Olmo.
37. Voltri.
38. Arenzano.
39. Varazze.
40. Sassello.
41. Urbe.
42. Ponte decimo.
43. Busalla.
44. Campo Ligure.
45. Olbicella.
46. Voltaggio.
47. Pietrabissara.

Arenzano	38	Perino	33
Asciano	2	Pietrabissara	47
Bargagli	18	Pietrasanta	4
Bedonia	14	Pignone	13
Borgonovo	24	Pontedecimo	42
Borzonasca	25	Ponte d'Olio	35
Boschi	27	Pontremoli	11
Brallo	31	Propata	22
Busalla	43	Rapallo	16
Campagrina	9	Recco	17
C. di Giardino	10	Rezzoaglio	26
Campo Ligure	44	Rivergaro	34
Carisasca	30	Salsominore	29
Cardoso	5	S. Giuliano Terme	1
Cardoso-sur-Serchio	6	S. Pietro Casasco	32
Castelnuovo di Magra	8	Sasello	40
Davagna	19	Sestri Levante	15
Farini d'Olmo	36	Urbe	41
Lerici	12	Uscio	23
Massa	7	Varazze	39
Montebruno	21	Viareggio	3
Olbicella	45	Voltaggio	46
Ottone	28	Voltri	37
Passo della Scoffera	20		

Les principales routes ont été figurées avec leur numéro, pour servir de repères.


PIACENZA
PARMA
BOBBIO
BETTOLA
FERRIERE
S STEFANO
TORRIGLIA
BERCETO
BOLOGNA
CUNEO
CEVA
GENOVA
SAVONA
CHIAVARI
LEVANTO
LA SPEZIA
CASTELNUOVO
CARRARA
LUCCA
PISA
FIRENZE
GOLFO DI GENOVA