

SESSION SPÉCIALE

DE LA SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE, DE PALÉONTOLOGIE
ET D'HYDROLOGIE

ET DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE BELGIQUE

tenue à Genève, Cogne et Domodossola, du 7 au 14 septembre 1962.

COMPTE RENDU

par J.-M. GRAULICH.

Ont pris part aux travaux de la Session : MM. P. DE BÉTHUNE, A. DELMER, I. DE MAGNÉE, J. DE ROUBAIX, J.-M. GRAULICH, P. DUMON, P. FOURMARIER, L. LAMBRECHT, N. LYKIARDOPOULO, P. PRUVOST, membres des deux Sociétés; M. A. AMSTUTZ, membre de la Société géologique de Belgique, et MM. J. CRUYS-SAERT, M. DELIENS, L. DOYEN, V. FACON, A. GOSSEYE, membres de la Société belge de Géologie; les personnes suivantes ont également participé aux travaux de la Session : M^{me} A. AMSTUTZ, M. E. BENE0, Directeur du Service géologique d'Italie, M^{me} E. BENE0, M. J. DEBELMAS, Professeur à l'Université de GRENOBLE, M^{me} P. DUMON, M. E. LANTERNO, Conservateur principal au Muséum d'Histoire naturelle de Genève.

SÉANCE DU VENDREDI 7 SEPTEMBRE 1962.

M. et M^{me} ANDRÉ AMSTUTZ ont eu l'amabilité de convier chez eux les participants le 7 septembre à la soirée, pour un cocktail de bienvenue.

M. FOURMARIER, doyen d'âge des membres présents, prit la parole pour remercier leurs hôtes et proposer, suivant la coutume, la nomination du bureau de la session.

A l'unanimité furent élus :

Président : M. P. PRUVOST;

Vice-président : M. E. BENE0;

Directeur des excursions : M. A. AMSTUTZ;

Secrétaire des séances : M. J.-M. GRAULICH;

Trésorier : M. L. LAMBRECHT.

M. PRUVOST remercie au nom du bureau de la session. Il donne immédiatement la parole à M. A. AMSTUTZ pour exposer les grandes lignes du programme qu'il a mis sur pied.

M. AMSTUTZ, en suivant sur la carte l'itinéraire prévu, indique les grands traits et diverses particularités de la structure des Alpes occidentales, et récapitule non seulement les principaux faits qu'il se propose de faire voir rapidement ou d'examiner attentivement, mais aussi les conclusions qui s'en dégagent. Il indique en outre les différences très importantes qui existent entre le segment valaisan-valdotain et le segment Ossola-Tessin, dont la traversée permet de faire deux coupes particulièrement typiques des Alpes :

« 1. Les vastes et classiques recouvrements Saint-Bernard/Mont-Rose sont antérieurs aux déversements Sesia et résultent des premiers grands mouvements de la tectogenèse alpine. Les attribuer à une phase tectogène tardive, comme on l'a fait d'une manière si générale pendant une quarantaine d'années et comme certains géologues continuent à le faire aujourd'hui encore, c'est aboutir à une conception illogique, pleine de contradictions, et c'est maintenir la géologie alpine dans une impasse. Tandis qu'en les concevant comme des *déversements de masses Saint-Bernard dans une fosse Mont-Rose lors d'une première phase tectogène, à la fin du Jurassique*, on les insère d'une manière simple et logique dans la tectogenèse alpine et l'on voit cette notion (tout à fait nouvelle lorsque je l'ai énoncée en 1949) pleinement confirmée par les retroussements qui caractérisent les écailles Saint-Bernard près de la mine et en d'autres endroits de la vallée de Cogne (retroussements évidemment dus au passage des masses Sesia lors d'une deuxième phase tectogène).

» 2. A l'ajustement isostatique qui a formé la coupole Grand-Paradis est due l'inversion de pendage des recouvrements Saint-Bernard/Mont-Rose. Au lieu des inclinaisons qui ont permis aux masses Saint-Bernard de fluer dans la fosse Mont-Rose, on a aujourd'hui ces pendages Nord qui caractérisent les vallées de Cogne et de Valsavaranche.

» 3. La nappe Emilius ne doit plus être envisagée comme une simple masse de roches prétriasiques d'âge indéterminé et son mode de formation n'est plus un problème irrésolu. Elle est faite de plusieurs grandes écailles : à la base, une écaille méso-

zoïque en majeure partie ophiolitique et, au-dessus, des écailles permocarbonifères avec copeaux de trias calcaire entre elles. Et sa structure imbriquée provient vraisemblablement de subductions cisailantes *éocrétacées*, faites successivement et côte à côte dans la zone Sesia; cette structure s'étant grosso-modo maintenue lors d'un glissement en bloc, en paquet, sur les sédiments mésozoïques (marnes se transformant en schistes lustrés) du complexe Saint-Bernard/Mont-Rose, pendant la période d'écoulement qui a fait suite aux subductions. Il est plus que probable, en effet, qu'il y a eu ici un processus créateur de nappes analogue à celui que j'ai mis en évidence dans l'aire des nappes simploniques : subductions cisailantes (*phénomène primordial*) suivies d'écoulement par gravité dans la dépression créée par les subductions elles-mêmes (*phénomène complémentaire et amplificateur*).

» 4. Les plis en S ou en Z qui caractérisent le bord méridional et le bord occidental de la nappe Emilius ont été très bien remarqués par EM. ARGAND, qui les reliait les uns aux autres par une « giration » et les considérait donc comme contemporains. Mais, en dissociant complètement ces plis, j'attribue celui du bord sud, pli longitudinal, à un cheminement plus rapide des parties supérieures de la nappe (cf. la complication du Monte-Leone), tandis que les plis transversaux du bord ouest *et de l'intérieur* de la nappe sont, à mon sens, postérieurs et résultent vraisemblablement d'un écoulement latéral dû au soulèvement que montre la masse paléozoïque du bas de la vallée de Cogné (cf. le pli transversal d'Antronapiana).

» 5. La genèse du géosynclinal alpin ressort des faits suivants :

» a) Le trias calcaréo-dolomitique, lagunaire ou néritique, est d'épaisseur restreinte dans la zone Grand-Paradis-Mont-Rose et il fait même complètement défaut dans la partie médiane de cette zone, remplacé à la base de la série mésozoïque par des ophiolites; tandis que ce trias est au contraire bien développé dans la zone Saint-Bernard.

» b) La proportion d'ophiolites est beaucoup plus grande dans le Mésozoïque Grand-Paradis-Mont-Rose que dans le Mésozoïque Saint-Bernard.

» Or, la proportion d'ophiolites correspond évidemment à l'importance du volcanisme basaltique géosynclinal, qui est lui-même fonction directe de l'intensité des fissurations de l'écorce terrestre que créent les distensions ou étirements de

cette écorce. Et il appert donc, dans ces conditions de répartition des ophiolites et des calcaires dolomitiques, que non seulement la zone Mont-Rose s'est affaissée et immergée d'une manière relativement rapide, dès le début du géosynclinal alpin, mais qu'elle s'est en même temps étirée et fissurée intensément, de bas en haut de l'écorce terrestre, pour livrer passage au magma basaltique subcrustal. Autrement dit, c'est dans la zone Mont-Rose que s'est rapidement établie la fosse principale du géosynclinal alpin, avec un fort volcanisme basaltique; tandis que régnaient des conditions épicontinentales dans l'avant-pays, des conditions intermédiaires dans la zone Saint-Bernard et, dans la zone Sesia, un affaissement et un volcanisme apparemment moindres que dans la zone Mont-Rose. On voit donc nettement que les conditions préliminaires du *déversement Saint-Bernard dans la fosse Mont-Rose lors d'une première phase tectogène* étaient réalisées dès le début du géosynclinal alpin, et l'on voit aussi tout ce qu'il y a d'absurde dans la *Reliefumkehrung* que certains géologues invoquent aujourd'hui encore.

» 6. En plus des différences précédentes dans le Mésozoïque des zones Mont-Rose et Saint-Bernard, je dois mettre en évidence celles-ci :

» a) Des calcaires gris plus ou moins micacés s'intercalent très fréquemment entre calcaires dolomitiques et schistes lustrés de la zone Saint-Bernard, tandis que la transition est toujours brusque dans la zone Mont-Rose;

» b) Des schistes lustrés conglomératiques et bréchiques apparaissent dans la zone Saint-Bernard, tandis que je n'en ai jamais rencontré lors de mes levés dans la zone Mont-Rose.

» Ceci résulte évidemment d'un approfondissement beaucoup moindre de la zone Saint-Bernard, et corrobore ce qui a été dit plus haut à propos d'évolution du géosynclinal et de Première phase tectogène.

» 7. Le Paléozoïque Saint-Bernard de la vallée de Cogne (*Arch. Sc.*, 1951) et le Paléozoïque Saint-Bernard du large secteur médian Etroubles-Liddes (*Arch. Sc.*, 1959) doivent tous deux être considérés comme des éléments d'une « couverture postorogénique hercynienne, permocarbonifère » et sont essentiellement faits de :

» α) gneiss albitiques à grain fin (gneiss minuti) dérivant de volcanites acides, en majeure partie rhyodacitiques, tufs ou ignimbrites, remaniées ou non;

» β) micaschistes, quartzites, arkoses, conglomérats, phyllades, etc. provenant de la désagrégation des volcanites précédentes ou du socle antécarbonifère, dans des conditions post-orogéniques continentales que montrent aussi les intercalations charbonneuses ou graphiteuses;

» γ) granodiorites plus ou moins diaphtorisées en gneiss albitiques non minuti : restes de cheminées d'appareils volcaniques permocarbonifères ou restes de foyers subvolcaniques connexes des montées diapiriques de magmas acides résultant de la fusion du bourrelet infracrustal à la fin de la tectogenèse hercynienne (la grande masse de Cogne-Valsavaranche notamment).

» Lorsqu'en 1951 pour le val d'Aoste et en 1954 pour l'Ossola, j'ai envisagé les *gneiss albitiques minuti* comme des *roches volcaniques diaphtorisées*, en basant cette notion sur une série de raisons d'ordre minéralogique, chimique, lithologique, paléogéographique et tectonique, on a pu se rendre compte, d'une part, de la grande extension du volcanisme permocarbonifère dans les zones Saint-Bernard, Mont-Rose et Sesia, et l'on a pu, d'autre part, comprendre qu'on s'était longtemps égaré en attribuant les gneiss albitiques des Alpes à un métamorphisme allochimique, à des venues sodiques, alpines ou hercyniennes. Il n'y a là aucun allochimisme; il n'y a qu'une simple diaphtorèse épi- ou mésozonale de roches volcaniques.

» 8. Le Paléozoïque de la coupole Grand-Paradis, jumelle de la coupole Mont-Rose, est fait de ces deux complexes :

» α) un ensemble de roches plus ou moins migmatisées pendant l'hercynien et diaphtorisées pendant l'alpin, dérivant probablement de sédiments dévoniens ou siluriens, avec peut-être quelques restes de cycles orogéniques antérieurs;

» β) sur les bords de la coupole, une « couverture postorogénique hercynienne, permocarbonifère » analogue à celle de la zone Saint-Bernard.

» On est donc loin de la « série cristallophyllienne formant une unité géologique homogène » édifiée par R. MICHEL dans sa volumineuse étude du Grand-Paradis.

» 9. Ce qu'on connaissait des roches de la nappe Emilius se limitait à ces deux lignes de la carte au 100.000^e : *gneiss minuti varii anche prasinitici, micascisti, micascisti eclogitici a granato ed omfacite, gneiss psamitici grigi*, et ces deux lignes d'ARGAND, 1911 : *micaschistes ou gneiss grenatifères à amphibole sodique avec noyaux éclogitiques souvent riches en omphazite*. De leur âge, on ne connaissait rien.

» Il importe donc de savoir maintenant que la plupart des roches Emilius sont tout à fait analogues à celles du Permocarbone des zones Mont-Rose et Saint-Bernard, et qu'elles proviennent aussi de la « couverture postorogénique hercynienne ». Elles n'en diffèrent que par une proportion plus grande de roches à faciès glaucophanique, qui les rend plus proches de l'ensemble pétrographique Sesia.

» Dans les gneiss albitiques minuti Emilius, qui sont prédominants, les projections volcaniques indiquées ci-dessous confirment pleinement ce que j'ai dit plus haut quant à l'origine des gneiss albitiques, qui occupent un tel espace dans les Alpes :

» α) xénolithe fait d'une roche métamorphique plissotée antécarbonifère, inclus dans un gneiss albitique à grain fin dérivant d'une cinérite et présentant encore, au point de chute, sous l'ancienne base du bloc, une incurvation des lits;

» β) fragments de bloc projeté, inclus dans un gneiss albitique à grain fin et formés de lave pantelleritique, encore vacuo-laire, qu'A. RITTMANN a étudiée d'une manière très complète;

» γ) autres xénolithes; lapilli;

» δ) projections de lave dans cendres, ayant créé les structures pipernoïdes qui sont discernables aujourd'hui encore dans quelques gneiss albitiques minuti.

» De même, le morcellement et la dispersion d'ophiolites dans ce Permocarbone confirment ce qui a été dit plus haut; car, dès les premiers diastrophismes, les dykes basaltiques alpins ont dû se briser, se morceller, et leurs fragments ont dû se disperser facilement dans le milieu ambiant peu cohérent que constituaient les tufs permocarbone pas encore métamorphosés en gneiss albitiques.

» 10. Dans les Alpes, la schistosité résulte essentiellement, à mon sens, de laminages effectués au-dessous des surfaces principales de cisaillement pendant les subductions (phénomène primordial) ou de laminages opérés pendant les glissements ou écoulements consécutifs (phénomène complémentaire et amplificateur). Autour de Cogne et Valsavaranche, les conditions de gisement ne permettent pas d'analyser et de comprendre les causes premières de la schistosité d'une manière aussi complète que dans l'aire des nappes et racines simploniques; mais dans la nappe Emilius il y a de remarquables exemples de roches ayant été transportées en paquets, sans ou presque sans déformations lors de l'écoulement, et se trouvant aujourd'hui dans un proche voisinage de roches très fortement laminées.

» Pour le métamorphisme épi- ou mésozonal effectué pendant les deux premières phases tectogènes, avec le rôle si important qu'ont tenu alors le mouvement et la trituration des roches, et pour les nombreux cas de métamorphisme de contact faits antérieurement entre marnes mésozoïques et basaltes ou péridotites, toutes les paragenèses décrites dans la notice sont typiques et significatives.

» 11. Dans le glacière de la vallée de Cogne, qui n'avait auparavant jamais été étudié et analysé, j'ai fait les distinctions suivantes, avec toutes les indications cartographiques nécessaires et suffisantes :

» α) restes de surface wurmienne avec résidus de moraines lessivées;

» β) phase de Gimillian, correspondant peut-être au Buhl;

» γ) phase de Champlong, correspondant peut-être au Gschnitz;

» δ) phase de Valnontey, correspondant peut-être au Daun.

» Quant aux nombreuses masses écroulées, glissées, affaissées, des vallées de Cogne et Valsavaranche (environ une centaine sur la carte), elles sont de genres très divers et quelques-unes d'entre elles auraient pu servir de termes de comparaison lors des décisions pour l'emplacement du barrage de Valgrisanche.

» 12. La curieuse moraine de Gressan, près d'Aoste, dérive d'un glacier descendant de la crête Valetta-Drinc et comporte, à la suite l'une de l'autre, une crête morainique originelle et une crête résiduelle d'érosion. Elle ne provient pas, comme on l'a cru, d'une phase Gschnitz des glaciers réunis du Grand-Paradis et du Mont-Blanc.

» Telles sont, dans le segment valaisan-valdotain, les conclusions qui se dégagent des principaux faits à observer au cours de notre première traversée des Alpes.

» Pour notre seconde traversée des Alpes, voici les autres principaux faits à considérer et les conclusions qui doivent aujourd'hui logiquement s'en dégager :

» 1. Les déversements Saint-Bernard/Mont-Rose de la Première phase tectogène (fin Jurassique) occupent dans l'Ossola le vaste espace compris entre le massif Mont-Rose, la Bogna, la Melezza et la bande ophiolitique passant à Villadossola. Cet espace n'appartient pas du tout aux parties radicales des nappes simploniques, comme on l'a prétendu et enseigné systématiquement pendant une quarantaine d'années.

» 2. Le front de ces déversements Saint-Bernard/Mont-Rose a été coupé par les subductions Sesia de la Deuxième phase tectogène; cette Deuxième phase ayant eu cependant beaucoup moins d'ampleur dans le segment Ossola-Tessin que dans les segments contigus valaisan-valdotain et grison.

» 3. Les nappes simploniques résultent de quatre subductions cisailantes faites successivement lors d'une Troisième phase tectogène, mésocrétacée. Elles ont été taillées dans le complexe Saint-Bernard/Mont-Rose, et leurs parties radicales apparaissent merveilleusement dans le val Bognanco et le val Diveria, tandis que plus au Nord, le régime d'écoulement par gravité est mis en évidence par l'involution Monte-Leone/Wasenhorn. Dans le val Vigizzo la première des quatre subductions simploniques coupe les subductions Sesia de la Deuxième phase avec un angle d'environ 30°.

» 4. Sur le flanc est du massif Mont-Rose apparaît un très grand pli transversal en forme de S, qui dérive d'une surrection et d'un débordement latéral lors des ajustements isostatiques qui ont succédé à la Troisième phase tectogène.

» 5. Les subductions simploniques donnent une explication claire et complète des faits suivants qui, jusqu'à ces dernières années, s'expliquaient mal ou ne s'expliquaient pas du tout :

» a) La minceur extraordinaire de la nappe Lebendun par rapport à son extension. Elle résulte de deux subductions cisailantes faites successivement et côte à côte.

» b) Le manque de racines à l'arrière de cette nappe et de ses équivalents orientaux, les nappes Lucomagno et Nara. C'est évidemment le résultat de la coupure de 3_2 par 3_3 .

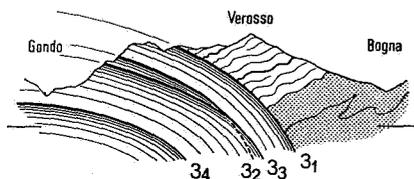
» c) L'allure approximativement parallèle des surfaces-limites et des schistosités dans toutes les nappes qui s'étagent au-dessous de la nappe Verosso; laminage et cisaillement étant connexes.

» d) La coexistence de ce parallélisme et du sectionnement des strates Verosso à leur base; ces subductions simploniques n'ayant laminé que les parties inférieures à la surface principale de cisaillement et n'ayant donc pas détruit la structure des parties sus-jacentes.

» e) La diminution graduelle de la schistosité lorsqu'on passe ud dos à la base des nappes Monte-Leone et Antigorio; les effets

de la subduction s'amortissant graduellement lorsqu'on s'éloigne de la surface de cisaillement.

» f) La coupure des surfaces Saint-Bernard/Mont-Rose et Sesia/Saint-Bernard au dos de la nappe Monte-Leone, dans le val Bognanco, le val Vigezzo et près de Roveredo.



Quatre subductions cisaillantes dans le complexe SB/MR lors d'une Troisième phase tectogène, 31 créant la N.Verosso, 32 la N.Monte-Leone, 33 la N.Lebundun, et 34 la N.Antigorio.

NB. Le dos des nappes Monte-Leone, Lebundun et Antigorio s'est formé avant leur base! avec une schistosité parallèle à la surface de cisaillement et graduellement décroissante lorsqu'on s'en éloigne.

» 6. Pour les contractions faites au front des nappes simploniques, et pour les zones Courmayeur-Airolo et Chamonix-Urseren et les rapports de celles-ci avec les nappes helvétiques et préalpines, voir *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 26 novembre 1962.

» 7. Dans le segment Ossola-Tessin, la sédimentation mésozoïque détritique et le volcanisme basaltique connexe ont été beaucoup moins abondants que dans les segments voisins valdotain et grison, et c'est vraisemblablement de ces différences en alimentation et épaisseur du géosynclinal alpin que résultent, d'une part, les grandes différences dans l'évolution tectonique du segment Ossola-Tessin par rapport aux segments voisins et, d'autre part, les plis transversaux d'Antronapiana, du Splügen et du San Bernardino (voir pour ces questions *C. R. Ac. Sc.*, 12 mai 1952, *Arch. Sc.*, 1954, fasc. 6 et 1955, fasc. 4).

» 8. Pour la pétrographie de l'Ossola, voir *Archives des Sciences*, 1954 et *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 24 octobre 1955. »

M. FOURMARIER demande à ses confrères d'examiner avec attention la carte de la région de Cogne dont M. AMSTUTZ a remis à chacun un exemplaire. Ils pourront se rendre compte du soin et de la minutie avec lesquels cette carte a été dressée. M. AMSTUTZ peut être fier de l'œuvre qu'il a réalisée.

M. PRUVOST, président, remercie M. AMSTUTZ de ses explications et de l'exposé si intéressant qu'il vient de faire de la tectonique des régions qui seront visitées au cours de la session.

Ensuite, les participants à la Session se retrouvent pour dîner dans un restaurant au bord du lac Léman.

PREMIÈRE JOURNÉE. — SAMEDI 8 SEPTEMBRE 1962.

M. le Prof^r DEBELMAS de l'Université de Grenoble a bien voulu se charger d'exposer les caractéristiques de l'itinéraire suivi en territoire français, de Genève au col du Petit-Saint-Bernard. Il a remis le texte ci-après pour relater les observations faites en cours de route.

1. De Genève à Annecy, traversée du bassin mollassique périalpin.

Les marnes gréseuses de l'Oligocène apparaissent par places sous les moraines. A Cruseilles et au pont de La Caille, la route entaille l'Urgonien du Salève, apparu en anticlinal sous la molasse.

2. D'Annecy à Ugine, traversée des massifs subalpins.

L'excursion longe la rive nord du lac d'Annecy. La vue est surtout belle sur la rive opposée du lac, où synclinaux et anticlinaux subalpins se succèdent régulièrement, d'Ouest en Est, en dessinant des crêtes parallèles :

— *L'anticlinal du Semnoz* (à ossature urgonienne) qui aboutit à Annecy même.

— *Le synclinal perché d'Entrevernes*, refoulé sur le précédant et le chevauchant. Son ossature est faite de calcaires urgoniens qui plongent jusqu'au lac (Duingt) et, probablement après quelques cassures transversales, émergent au Roc de Chère, sur la rive nord.

— *Le synclinal perché de la Montagne du Charbon*, de structure analogue au précédent.

— *L'anticlinal jurassique de Giez* contre lequel se termine le lac en amont.

L'origine du lac est due à de multiples facteurs : ensellement des plis et fractures transversales ont déterminé la cluse originelle dans laquelle le surcreusement glaciaire à l'amont du

promontoire de Duingt, d'une part, et de l'anticlinal du Semnoz, d'autre part, a aménagé les cuvettes du petit et du grand lac d'Annecy.

A Faverges, l'excursion atteint le rebord ouest d'un vaste synclinal dont l'ossature est faite de calcaires urgoniens (la Tournette à l'Ouest, les Aravis à l'Est) et le remplissage de molasse oligocène. Sur celle-ci repose la klippe préalpine de Sulens dont on aperçoit l'extrémité sud (écailles Jurassique supérieur et Crétacé inférieur de Nambellet — Flysch nummulitique de la côte de Marlens).

Entre Marlens et Ugine, traversée du rebord oriental du synclinal de Faverges. Ce rebord culmine au mont Charvin dominant Ugine : l'immense face est de cette montagne montre successivement les calcaires du Sénonien, de l'Urgonien et de l'Hauterivien.

Le bassin d'Ugine est entaillé dans les marnes tendres du Dogger et du Lias, couverture normale du Cristallin de Belledonne.

3. D'Ugine à Aigueblanche (Tarentaise) : traversée du massif cristallin externe de Belledonne.

Un seul arrêt au pont d'Albertville pour examiner la « Combe de Savoie », vaste dépression longitudinale entre le massif cristallin à l'Est et sa couverture sédimentaire à l'Ouest. L'origine de cette dépression est encore mal expliquée : simple sillon d'érosion, déchirure tectonique dans une couverture en glissement ou fossé structural en cours d'effondrement.

4. Aigueblanche : limite des zones externes et internes alpines.

— La *zone externe* est représentée ici par la couverture liasique orientale du massif cristallin de Belledonne. Sa structure tectonique est complexe : on y voit, par exemple, poindre une barre anticlinale de Houiller (Petit-Cœur). La position anormale de cette barre de Houiller au milieu des schistes liasiques provoqua, à la fin du siècle dernier, des discussions passionnées.

— La *zone interne* est représentée ici par l'unité subbriançonnaise que R. BARBIER a désignée sous le nom de *nappe des Brèches de Tarentaise*. Rappelons que R. BARBIER a pu montrer que cette nappe correspondait à une cordillère (*C. tarine*), car sa série stratigraphique est très incomplète. Parmi

les lacunes figure celle de tout niveau plastique capable de provoquer des décollements à l'intérieur de la série. De plus cette unité a subi de violents mouvements anténummulitiques (plissements arvinches). Ces deux derniers caractères expliquent que le style tectonique de cette nappe subbriançonnaise soit très cassant et chaotique : des écailles allant du Cristallin au Nummulitique s'y empilent de façon complexe. D'autre part, par suite de variations stratigraphiques, R. BARBIER a été amené à découper cette nappe en deux digitations respectivement dites du Niélard et de Moûtiers.

La première se distingue de la seconde par son Nummulitique bien daté par des Nummulites (Lutétien à la base, Priabonien au sommet) et par son Lias plus fossilifère et plus différencié. Elle n'affleure pas sur notre parcours.

La digitation de Moûtiers montre un Flysch important souvent bréchique dont l'âge n'a pas encore été définitivement établi. On le considère jusqu'ici comme nummulitique (bien qu'aucune nummulite n'y ait été trouvée), mais il est possible qu'il soit plus ancien, crétacé (R. TRUMPY). Le Lias est entièrement recristallisé et peu fossilifère.

5. D'Aigueblanche à Aime : traversée de la zone subbriançonnaise.

L'excursion traverse successivement :

— d'Aigueblanche à Moûtiers, le Flysch bréchique de la digitation de Moûtiers;

— de Moûtiers à Aime, des lames de terrains variés formant l'ancien substratum de ce Flysch : Cristallin, Houiller permien et Lias près de Moûtiers (Hautecour), Lias (étroits du Saix et Villette) et à nouveau Houiller formant une bande assez importante à la sortie aval d'Aime.

La zone subbriançonnaise se termine à Aime même, le long d'une bande de gypse triasique, après laquelle on pénètre dans un Houiller différent, appartenant à la zone briançonnaise.

6. D'Aime à Bourg-Saint-Maurice : la zone briançonnaise.

Elle est réduite à une masse de schistes et de grès houillers, non métamorphiques en rive droite de l'Isère, mais qui, en rive gauche, vont le devenir progressivement, pour passer finalement aux gneiss de Bellecôte et de la Vanoise.

En présence du bel affleurement de Houiller observé à la sortie d'Aime, M. FOURMARIER croit utile de faire remarquer la grande différence entre la disposition des roches à l'Ouest de cette localité, d'une part, à l'Est, d'autre part. Dans le premier cas, les terrains sont fortement laminés avec apparition d'un clivage schisteux faisant un angle faible avec les strates dont l'inclinaison est d'une trentaine de degrés vers l'Est; dans le second cas, au contraire, le Houiller est disposé en couches subverticales affectées par une schistosité oblique grossière (schistosité de fracture). La coupe montre ainsi, au voisinage l'une de l'autre, deux unités tectoniques distinctes qui semblent avoir été soumises à des contraintes différentes.

7. De Bourg-Saint-Maurice au col du Petit-Saint-Bernard.

L'itinéraire de l'excursion se situe exactement à la limite de deux zones : à l'Est, le Houiller briançonnais (non métamorphique) sur lequel se déroulent les lacets de la route du col; à l'Ouest, un ensemble de schistes métamorphiques ophiolitifères dont l'interprétation est discutée :

— Classiquement, ces schistes sont considérés comme des « schistes lustrés » penniques, conservés là grâce à une involution de nappe, entre le Flysch subbriançonnais des Chapieux et le Permo-Houiller briançonnais.

— Mais, récemment, a été proposée une autre hypothèse : ces schistes du Versoyen représenteraient un « Flysch » subbriançonnais, métamorphique, dépendant de la nappe des Brèches de Tarentaise. Leur origine ne serait plus piémontaise, mais proprement tarine (ou « valaisanne » plus au Nord). Il y aurait donc deux sillons ophiolitifères sur cette transversale des Alpes, le sillon « piémontais » et le sillon « valaisan ». Ce complexe du Versoyen serait donc dans sa position structurale normale, entre un Subbriançonnais non métamorphique et le Permo-Houiller briançonnais.

En tout cas, la section finale rectiligne de la route du col du Petit-Saint-Bernard puis celle du col à la Thuile, suivent exactement le contact entre ces schistes lustrés du Versoyen (massif de Lancebranlette) à l'Ouest, et le Permo-Houiller à l'Est (mont Valezan). Le contact est jalonné d'écaillés de dolomies triasiques, surtout nettes sur le versant italien du col.

M. FOURMARIER croit devoir insister spécialement sur le changement d'aspect des roches du Versoyen entre Bourg-Saint-Maurice et le col du Petit-Saint-Bernard. Il regrette que le manque de temps n'ait pas permis d'observer cette formation géologique tout à proximité de Bourg-Saint-Maurice. D'après les idées en cours, le Versoyen est considéré comme l'équivalent des schistes lustrés que nous aurons l'occasion d'observer à plusieurs reprises en pleine zone pennique où, avec ses roches vertes, ses calcaires, ses dolomies, il constitue un excellent repère. Or, à Bourg-Saint-Maurice, le Versoyen se présente à l'état de phyllade affecté par une schistosité oblique à la stratification. A l'approche du col, le même terrain a un aspect plus métamorphique : ce sont des schistes micacés renfermant par endroits des grenats; la foliation y remplace la schistosité oblique. Il s'agit cependant de la même bande de Versoyen pincée entre l'Helvétique et le Pennique.

La différence dans le degré d'évolution des roches ne peut pas être attribuée, semble-t-il, ni à un accroissement anormal des efforts tectoniques, ni à une augmentation considérable de la charge supportée par le Versoyen au moment de la tectogenèse; la distance est trop courte pour qu'il puisse en être ainsi. M. DEBELMAS a souligné le changement rapide dans le degré d'évolution du Carbonifère à l'Est de Bourg-Saint-Maurice, c'est-à-dire parallèlement à ce qu'on observe dans le Versoyen.

Aussi, convient-il sans doute de faire appel à un autre facteur que la charge; ce ne peut être qu'une action en profondeur; il est probable qu'il y a lieu de faire appel au développement de la granitisation dont l'intervention a été de réduire la valeur du gradient géothermique; la conséquence serait l'apparition de la zone de foliation à peu de distance de la zone de schistosité dans un même niveau stratigraphique. Les études faites récemment dans le massif armoricain permettent d'envisager avec quelque faveur une telle hypothèse.

Il rappelle à ce sujet avoir observé des variations de même nature dans le Permo-Carbonifère aux environs de Pralognan.

Du col du Petit-Saint-Bernard à Pré-Saint-Didier, la route suit les bancs en direction; en allure générale, au Nord-Ouest, affleure le Mésozoïque tandis qu'à l'Est s'étend le Houiller de la Thuile où subsistent encore quelques exploitations de charbon anthraciteux.

De Pré-Saint-Didier à Courmayeur, l'excursion recoupe le Mésozoïque subbriançonnais (nappe des Brèches de Tarentaise), depuis les couches les plus élevées (néocrétacées ?) jusqu'au Trias. Au-delà de cette localité apparaît la lame cristalline du mont Chétif formée de porphyre quartzifère. Entre ce massif et le Mont-Blanc affleurent une série jurassique dont l'appartenance structurale est discutée, car elle repose en contact anormal sur le Cristallin du Mont-Blanc ou sa couverture sédimentaire.

A propos du Mésozoïque de Courmayeur et de ses rapports avec les nappes helvétiques et préalpines, M. A. AMSTUTZ expose ce qui suit :

« L'enracinement de nappes helvétiques dans la zone de Courmayeur est une habitude qui dure depuis longtemps mais qui me paraît erronée et gênante pour la compréhension du mécanisme orogénique de la chaîne alpine. En effet, par les coupes et cartes d'ARGAND et LUGEON cette jonction tectonique est devenue une conception classique dont il ne faut pas s'étonner, car à l'époque on manquait de données et même d'aussi grands géologues que LUGEON et ARGAND pouvaient alors, dans ces conditions, faire une jonction erronée, mais en continuant aujourd'hui encore dans la voie ainsi tracée M. TRUMPY (esquisse tectonique de la feuille Saint-Bernard parue en 1958) et quelques autres auteurs méconnaissent les faits chronologiques et géométriques suivants :

» Les nappes helvétiques comportent toutes de l'Oligocène inférieur; l'Ultrahelvétique contient du Priabonien; et dans la zone de Chamonix il a été trouvé du Nummulitique probablement priabonien. Tandis que dans les « nappes préalpines » et dans la zone de Courmayeur, le Tertiaire ne monte pas au-delà du Flysch paléocène, malgré que cette zone ait été fouillée par plusieurs géologues. Autrement dit, sur une carte de l'Helvétique et du Préalpin qui grouperait par définition en vert : les éléments comportant du Tertiaire jusqu'au Priabonien ou à l'Oligocène inférieur, et en bleu : ceux qui ne comportent pas de Tertiaire au-delà du Paléocène, on aurait d'une part : Helvétides, Ultrahelvétique et zone de Chamonix en vert, et d'autre part : nappes préalpines et zone de Courmayeur en bleu (bleu et vert étant les teintes adoptées pour ces éléments sur une carte tectonique parue dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* du 13 mai 1957).

» Comment s'expliquer clairement et complètement cette répartition stratigraphique si ce n'est par deux groupes de diastrophismes, deux séries de subductions, l'une éocène, l'autre oligocène ? Il appert, en effet, par la discrimination chronologique faite ci-dessus, que les diastrophismes tertiaires se sont passés comme s'ils avaient créé, *par une série de subductions éocènes*, les nappes préalpines dans un état embryonnaire et la zone radicale de Courmayeur dans son état actuel (abstraction faite, bien entendu, des ajustements isostatiques) et comme si les Helvétides, l'Ultrahelvétique et la zone de Chamonix étaient postérieurs et dus à *une série de subductions oligocènes*; un écoulement subséquent ayant porté et étalé encore plus au Nord les nappes préalpines qu'avaient créées, dans leur état embryonnaire, les subductions éocènes (1).

» Les faits géométriques suivants corroborent cette explication :

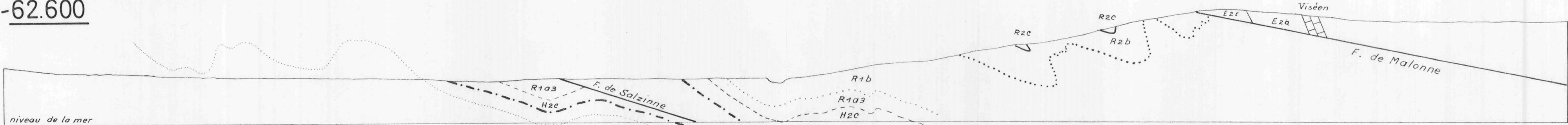
» Venant de la Maurienne (beau travail de R. BARBIER) et du vallon de Contamines, la bande mésozoïque et tertiaire Chamonix-Urseren s'allonge sur le flanc méridional des Aiguilles-Rouges jusqu'à la vallée du Rhône, apparaît d'une manière encore meilleure près de Sion, et se poursuit jusqu'à l'Urseren et au-delà, traçant sur la carte une ligne relativement continue si l'on tient compte des profondeurs à l'origine.

» La bande mésozoïque et paléocène Courmayeur-Airolo présente, par contre, de très importantes discontinuités. Elle atteint 5 km d'épaisseur près de Courmayeur et se poursuit dans le val de Ferret et le bas du val de Bagnes avec une épaisseur qui est aussi très grande; tandis que près du Rhône son épaisseur se réduit brusquement et n'a guère plus de 1 km près de Sion. De plus, en rencontrant près du Rhône la bande Chamonix-Urseren, sa direction varie brusquement d'environ 30° et devient parallèle à celle-ci, exactement comme si la bande tectoniquement éocène Courmayeur-Airolo avait été coupée et en grande partie détruite par la première des subductions oligocènes Chamonix-Urseren.

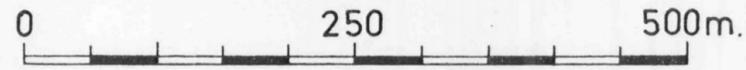
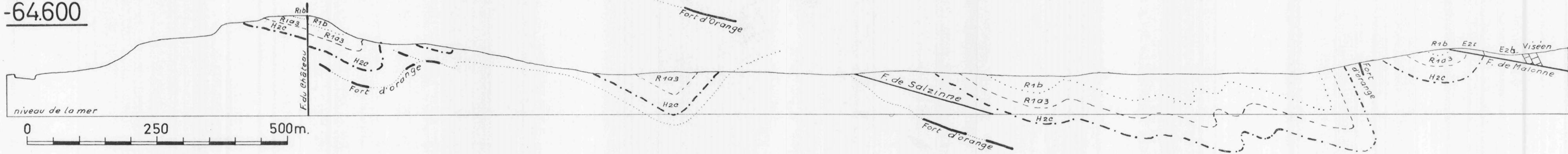
» Il ne faut donc plus enraciner les Helvétides à Courmayeur; elles sont à raccorder à la bande tectoniquement oligocène

(1) LUGEON a noté quelque part qu'une ébauche de nappes préalpines existait probablement sur le dos des nappes helvétiques lors de la naissance de celles-ci, mais sans préciser davantage spatialement et chronologiquement. De plus, la distribution des schistosités étudiées par P. FOURMARIER s'accorde très bien avec cette conception.

-62.600



-64.600



Pont de Ronet

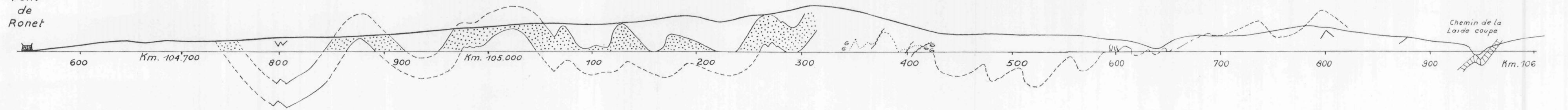


FIG. 2.

Chamonix-Urseren; tandis que les nappes préalpines, elles seules, proviennent de la bande tectoniquement éocène Courmayeur-Airolo. Le changement de direction et l'amincissement de celle-ci près du Rhône résultent de sa destruction partielle par les subductions oligocènes Chamonix-Urseren. »

M. A. AMSTUTZ ajoute : « Quant aux structures, pendages et schistosités que nous avons observées ce matin près d'Aime, soit dans le Mésozoïque Courmayeur en aval d'Aime (laminage et schistosité parallèle à la surface-limite sus-jacente), soit dans le Paléozoïque Saint-Bernard qui affleure à la sortie nord-est du village (strates non laminées, probablement coupées par la surface-limite sous-jacente), remarquons qu'elles correspondent tout à fait à ce que l'on voit d'une manière générale au-dessous et au-dessus des surfaces de cisaillement dérivant de subductions (lorsqu'elles ne sont pas proches d'une subduction antérieure).

» En effet, comme je l'ai dit dès 1954 et comme on peut le vérifier dans toutes les zones de subductions, dans toutes ou presque toutes les zones radicales de nappes, les parties surmontant la surface principale de cisaillement présentent (lorsqu'elles ne sont pas proches d'une subduction antérieure) des phénomènes de contraction et de coupure avec des angles variant de 0 à 90°; tandis que les parties sous-jacentes sont toujours laminées, étirées, avec une schistosité parallèle à cette surface de cisaillement mais graduellement décroissante avec l'éloignement. »

M. ED. LANTERNO (qui a suivi les travaux du tunnel du Mont-Blanc et échantillonné pour le Musée de Genève) fait remarquer que tout le Mésozoïque extrait du tunnel, sur une distance de 1.300 m, a été étudié d'une manière détaillée par BAGGIO, ELTER, MALARODA (*Ac. Lincei*, avril 1960) et ne comporte, d'après cette étude, aucun Tertiaire. Ceci s'ajoute aux recherches de SCHOELLER, BARBIER, ELTER, CITA, TRUMPY, GRASMUCK, FRICKER, BURRI pour montrer qu'il n'y a vraisemblablement pas de Tertiaire dans la zone de Courmayeur, si ce n'est peut-être un peu de Paléocène.

Après cette Zone mésozoïque de Courmayeur, M. AMSTUTZ nous indique les particularités de la Zone Saint-Bernard que nous traversons dans toute sa largeur, de Morgex à Cogne.

De Morgex aux débouchés du Valgrisanche et du Valsavaranche, nous sommes dans le Paléozoïque Saint-Bernard, qui est plus que probablement analogue à celui que M. AMSTUTZ a étudié un peu au Nord-Est d'ici, d'Étroubles à Liddes, sur les deux versants du Grand-Saint-Bernard; c'est-à-dire :

a) en majeure partie des gneiss albitiques à grain fin (gneiss minuti de la carte 100.000^e italienne) dérivant de la diaphthorèse de rhyodacites et autres volcanites acides permocarbonifères;

b) quelques granites ou granodiorites probablement subvolcaniques;

c) des micaschistes, quartzites, arkoses, conglomérats, phyllades, parfois avec charbons (la Thuile, par exemple) qui accompagnent les volcanites précédentes et dérivent probablement en grande partie de la désagrégation de ces volcanites dans des conditions continentales permocarbonifères (voir *Arch. Sc.*, 5 novembre 1959).

Du débouché du Valsavaranche jusqu'à Sarre et jusqu'aux parties basses de la vallée de Cogne, nous traversons une partie de la couverture mésozoïque de cette zone Saint-Bernard faite de :

a) quartzites, cargneules et gypses, calcaires blancs plus ou moins dolomitiques, triasiques;

b) calcaires gris plus ou moins micaacés, dans lesquels NOVARÈSE a trouvé quelques restes de Bélemnites;

c) schistes lustrés jurassiques ou triasiques;

d) entre les diverses roches précédentes, des intercalations très subordonnées d'ophiolites, prasinites ou serpentines, qui dérivent d'intrusions ou d'éruptions basaltiques ou péridotiques. Dans les parties basses de la vallée de Cogne, de nouveau du Paléozoïque Saint-Bernard, que nous examinerons demain plus attentivement.

DEUXIÈME JOURNÉE. — DIMANCHE 9 SEPTEMBRE 1962.

Durant la matinée, du piton serpentineux dominant Gimillian, nous avons examiné, carte en main, les nombreuses parties de la vallée visibles de là. Puis, en nous montrant les structures des principaux éléments géologiques, M. AMSTUTZ nous a retracé l'évolution géosynclinale, les phases tectogènes et les ajustements isostatiques qui ont créé ces structures. Les restes de

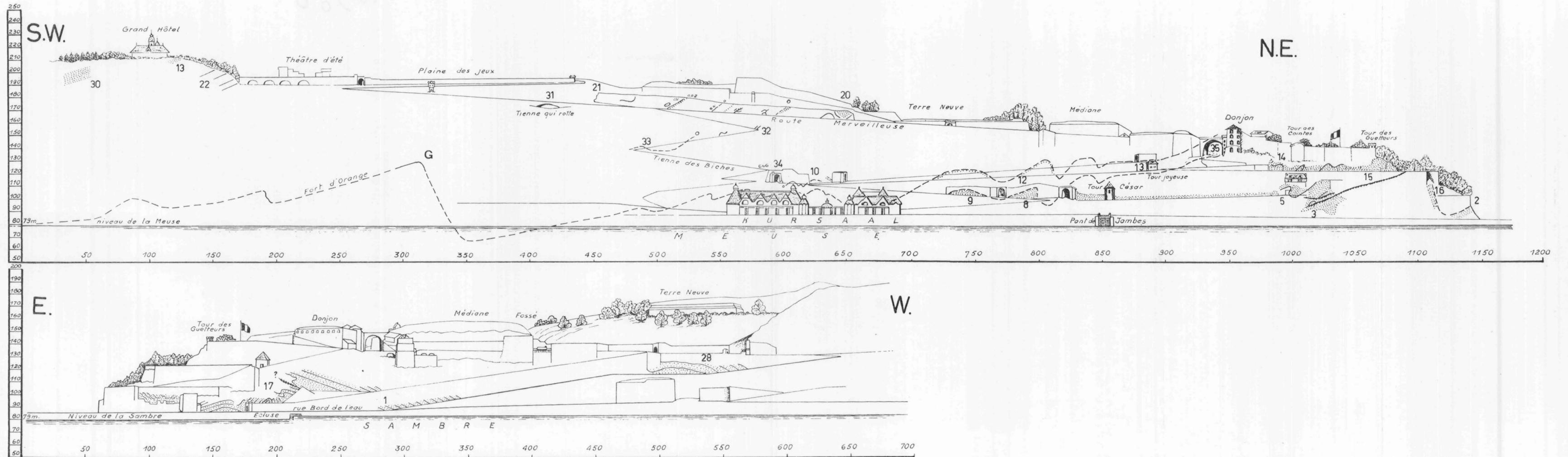


Fig. 4.

l'extension wurmienne et de trois phases postwurmiennes furent aussi décrits d'une manière aussi complète que possible.

L'après-midi fut consacré à un peu de pétrographie : ophiolites, schistes lustrés, et, au Sud de Lillaz, rhyodacites permocarbonifères diaphtorisées en gneiss albitiques à grain fin (gneiss minuti de la carte italienne) et migmatites antécarbonifères, exemptes de laminages, probablement dans leur état originel, avec d'abondants porphyroblastes d'orthose, grands et petits, quelques restes de stratification et de petites enclaves finement grenues et très biotitiques, donnant lieu à des discussions à propos de leur origine.

TROISIÈME JOURNÉE. — LUNDI 10 SEPTEMBRE 1962.

Un groupe se rend dans les cirques de Grauson et Lussert pour examiner la base de la nappe Emilius, avec ses écailles, ses copeaux gneissiques et une lentille calcaréo-dolomitique enserrés dans le substratum mésozoïque, des plis transversaux, divers types de roches permocarbonifères, en majeure partie d'ex-rhyodacites, les blocs projetés et les structures pipernoïdes notés sur la carte.

Un autre groupe examine dans les alentours de Valnontey les gneiss ceillés dérivant de migmatites laminées, les arkoses et gneiss albitiques permocarbonifères, qu'on peut observer sur le chemin du Lauson.

L'après-midi nous allons de Cogne à Aoste et Péroulaz, en examinant le long de la route :

a) D'une part, les gneiss albitiques minuti du bas de la vallée de Cogne, ex-rhyodacites permocarbonifères de la zone Saint-Bernard, constituant une « couverture post-orogénique hercynienne » analogue à celle de la zone Mont-Rose-Grand-Paradis et, d'autre part, les gneiss albitiques non minuti affleurant là en une très grande masse et dérivant des granodiorites qui constituaient vraisemblablement le foyer magmatique des rhyodacites;

b) La moraine de Gressan qui ne dérive pas comme on l'a cru d'une phase Gschnitz des glaciers réunis du Grand-Paradis et du Mont-Blanc, mais qui est un dépôt du glacier Valetta-Drinc, avec reprise d'éléments granitiques wurmiens;

c) Un court arrêt à la carrière d'Aymaville, dans la vallée d'Aoste, permet d'observer des calcaires finement cristallins triasiques.

d) Au-dessus de Peroulaz, on peut voir par temps clair le beau panorama qui s'étend du Mont-Blanc au Mont-Rose. Malheureusement l'heure tardive et le brouillard ne permirent pas de voir ce panorama dans de bonnes conditions.

A propos des calcaires d'Aymaville, M. FOURMARIER fait remarquer l'allure des bancs exploités dans cette carrière. Dans l'ensemble, ils inclinent faiblement vers la vallée et donnent l'impression d'une tectonique tranquille. Mais à plusieurs endroits, on peut voir dans l'épaisseur d'un même banc, une mince intercalation de nature plus schisteuse repliée sur elle-même en plis serrés dont l'axe est parallèle à l'allure générale des bancs. De cette observation, on peut tirer la conclusion que les efforts verticaux ont joué un rôle considérable à cet endroit, comme dans bien d'autres de la zone pennique, en même temps que se développait le métamorphisme. C'est là un fait dont il faut tenir compte pour l'explication de la tectogenèse de cette partie de la chaîne alpine.

QUATRIÈME JOURNÉE. — MARDI 11 SEPTEMBRE 1962.

Pour les observations faites en allant d'Aoste à Ivrée puis à Domodossola, relatons celles-ci :

a) Dans l'ensellement Grand-Paradis-Mont-Rose, la couverture mésozoïque Mont-Rose est surtout faite d'ophiolites, avec peu de schistes lustrés (bref arrêt à la carrière d'ophicalces de Tofo).

b) A Barme, au Sud de Verrès, subduction de ce mésozoïque Mont-Rose sous des gneiss Sesia, puis les autres subductions Sesia créant ici des structures plus ou moins monoclinales et constituant les amorces des nappes Emilius, Mont-Mary et Dent-Blanche, avec les subdivisions que comportent celles-ci. Près de Bard, le renversement des racines qu'avait très justement distingué ARGAND et qui provient d'une reprise du courant subcrustal primordial. Près de Donnaz et du reste de route romaine, structure ondulée, car on est là au-dessus de la première des surfaces de cisaillement Sesia.

c) A Montalto, la bande synclinale dite du Canavese, entre Zone Sesia et Zone d'Ivrée, faite de volcanites et granodiorites permocarbonifères, de calcaires triasiques et d'autres sédiments mésozoïques étudiés par NOVARESE. A remarquer que ces calcaires ont un aspect moins métamorphique que dans la carrière d'Aymaville.

d) Près d'Ivrée et de Biella, diorites et kinzigites de la Zone d'Ivrée. Et le bel amphithéâtre wurmien, qui, au débouché du Val d'Aoste, atteint 400 m de hauteur et 15 km de largeur, avec moraine rissienne sur le bord externe.

e) De Biella à Gattinara, au débouché du Val Sesia, trajet monotone dans les alluvions antéwurmiennes et, entre les terrasses, les alluvions récentes. Le temps manque pour examiner les particularités tectoniques et pétrographiques du val Sesia, mais au débouché de la vallée, près de Gattinara, on peut observer d'intéressants tufs permocarbonifères avec beaucoup de matériel de projection.

f) Autour du lac d'Orta, de beaux cordons wurmiens, des volcanites et granites permocarbonifères, des micaschistes et gneiss strombolitiques de la Zone dite des Lacs par NOVARESE. Sur l'autre versant du Mottarone, rapide incursion au granite de Baveno, permocarbonifère, avec auréole de contact étudiée par NOVARESE.

g) De Gravellona à Rumianca et Vogogna, encore la Zone d'Ivrée, avec ses kinzigites et diorites, et ses intercalations de calcaires probablement paléozoïques des carrières du dôme de Milan. Plus au Nord, de nouveau la bande dite du Canavese, large ici d'environ 2 km, résultant d'une subduction probablement éocène de la Zone d'Ivrée sous la Zone Sesia. Ensuite, jusqu'aux calcaires triasiques de Palanzeno, les gneiss de la Zone Sesia. Puis, jusqu'aux ophiolites de Villadossola, les gneiss de la Zone para-Sesia.

h) Pour préparer l'excursion du lendemain et s'orienter topographiquement, nous montons au point de vue que donne la carrière dominant Domodossola, à l'Est du grand pont.

A cette carrière, M. FOURMARIER s'exprime en ces termes :

« Je signale ici l'importance d'une observation faite par M. AMSTUTZ : la surface des joints de stratification est marquée par la présence de fines cannelures donnant à première vue l'impression de stries de glissement comme on en observe en maints endroits dans les régions plissées. Pour M. AMSTUTZ, il s'agit plutôt de la trace, sur les joints de stratification, d'un clivage secondaire en rapport avec les derniers efforts tectoniques auxquels ces gneiss ont été soumis.

» A première vue, j'ai été très réticent en ce qui concerne cette interprétation. Cependant, l'examen de sections perpen-

diculaires aux stries, dans des lits minces, montre certainement que ces bancs sont affectés de petites ondulations dont la trace sur les joints de stratification se marque par des cannelures de même ampleur.

» En d'autres endroits de la région, j'ai observé des cannelures plus marquées; j'ai pu me convaincre qu'elles correspondent à des joints faisant un angle assez fort avec la stratification. J'ai été tenté d'établir un rapprochement avec des déformations que j'ai observées dans des bancs très minces des calcaires jurassiques à l'extrémité sud du tunnel routier du col de Tende entre la France et l'Italie; je les ai comparées aussi à des déformations d'aspect semblable que m'a montrées M. GRAULICH dans le Trémadocien du massif de Stavelot en Ardenne.

» Je dois ajouter cependant qu'après un examen plus attentif de quelques échantillons, je ne puis pas rejeter l'idée de l'existence de stries dues au glissement des bancs les uns sur les autres. Il est remarquable cependant que cannelures et stries de glissement sont strictement parallèles.

» Ces déformations mineures ne sont pas sans intérêt du point de vue de la tectonique générale de la région. En effet, dans la carrière située à l'entrée du val Vigizzo, leur inclinaison est de l'ordre de 25 à 30° vers l'Est. Cette allure reste constante sur une distance notable vers l'Ouest; cependant, dans cette direction, leur inclinaison finit par diminuer progressivement, au point qu'elles sont subhorizontales, précisément en face de la zone axiale du pli transversal marqué par l'apparition des terrains anciens du Mont-Rose. Le changement observé pour les cannelures est dû précisément à ce soulèvement transversal.

» J'ajouterai encore que, dans la carrière, on note la présence de plusieurs filons de quartz disposés systématiquement de façon à se rapprocher de la normale à la striation. J'y vois, pour ma part, des veines d'étirement en relation avec le glissement des bancs les uns sur les autres.

» En confirmation de cela, je dirai que j'ai récolté autrefois, dans cette même carrière, un échantillon provenant d'un filon de quartz. On y voit des cristaux assez grands de tourmaline, lesquels sont traversés par de minces fissures parallèles remplies de quartz. J'y vois la preuve de l'étirement des bancs au cours du dernier effort qu'ils ont subi, étirement qui a provoqué des ruptures dans les cristaux de tourmaline. »

Puis, revenant sur les observations faites près de Donnaz, à la route romaine, M. FOURMARIER ajoute :

« Je désire attirer spécialement l'attention de mes confrères sur le fait que, dans la tranchée de la route romaine, les gneiss de la Zone Sesia, en allure générale, sont subhorizontaux, ce qui contraste avec l'allure redressée observée dans ces mêmes roches au voisinage immédiat des schistes lustrés avec serpentine vus précédemment. Il y a, d'ailleurs, passage progressif d'une allure à l'autre comme si les couches étaient disposées en un anticlinal à plan axial inclinant au Sud.

» Toutefois, un examen attentif des gneiss à l'endroit de la route romaine permet de constater la présence de petits plis très serrés, presque isoclinaux, à plan axial voisin de l'horizontale. Ces déformations secondaires indiquent clairement l'intervention d'une contrainte dirigée approximativement suivant la verticale.

» Dans la carrière de Tofo (ophicalces), située au Nord de la Zone Sesia, la roche se feuillette aussi suivant des joints presque horizontaux; certains lits renferment des veines d'étirement, parfaitement en accord avec l'intervention d'une telle contrainte.

» Dans les parties en couches redressées de la Zone Sesia, il existe également des déformations de minime amplitude; toutefois, les feuillets du gneiss, correspondant vraisemblablement à la stratification originelle, sont déformés par des petits plis en accordéon à axe généralement assez voisin du plan horizontal.

» On voit par là que toutes les roches de cette partie du Val d'Aoste ont été soumises à des efforts orientés approximativement suivant la verticale, quel que soit le massif tectonique auquel elles appartiennent; si l'on compare cette disposition à celle observée à la carrière d'Aymaville, on doit admettre qu'il ne s'agit pas d'un phénomène local, mais d'une action à caractère régional, au moins sur une étendue appréciable dans la zone pennique.

» Il y a là une distinction importante à faire à ce point de vue entre la zone pennique et la région des racines telle qu'elle a été observée entre Courmayeur et Pré-Saint-Didier. »

GINQUIÈME JOURNÉE. — MERCREDI 12 SEPTEMBRE 1962.

Le matin est consacré au val Bognanco. M. AMSTUTZ nous fait observer au dos de la nappe Monte-Leone ce qu'est devenue

la couverture mésozoïque des gneiss paléozoïques. De Cisore, au débouché de la vallée, à Arza, cette couverture est laminée, réduite par endroits à 10 m environ, faite de schistes lustrés et ophiolites écrasés, avec de petites lentilles gneissiques et calcaréo-dolomitiques triasiques, et parfois des mylonites extrêmement biotitiques dérivant du mélange d'éléments gneissiques (K) et basaltiques (fémiques). Au-dessous de la surface principale de cisaillement, tout le dos de la nappe Monte-Leone est laminé, étiré, avec une schistosité parallèle à cette surface, tandis qu'au-dessus de celle-ci, les strates basales de la nappe Verosso sont coupées avec des angles variant de 0 à 90° et présentent, à Arza notamment, de multiples froncements et autres signes de contraction.

Les excursionnistes purent se rendre compte admirablement de cette disposition le long du chemin de San Marco, ainsi qu'au sommet de celui-ci, le long de la route.

En approchant de Bognanco, les micaschistes très écrasés sont affectés de petits plis serrés à axe voisin de l'horizontale, ce qui est en harmonie avec les allures observées dans le val d'Aoste.

A San Lorenzo, nous faisons un tour d'horizon et nous voyons ces quatre quadrants :

a) Du Nord à l'Est, le dos convexe de la nappe Monte-Leone, incurvé par un renversement ultérieur des racines, qu'ARGAND avait très justement distingué.

b) De l'Est au SSW, les masses gneissiques Saint-Bernard déversées au Sud lors d'une Première phase tectogène, qui occupent dans le val d'Antrona tout l'espace compris entre Prabernardo et Domodossola, et qui montrent bien que les racines simploniques biscornues que l'on croyait exister dans l'espace Prabernardo-Domodossola n'étaient que pure imagination, cette conception classique ayant duré de 1911 jusqu'à l'établissement de la jonction mésozoïque Arza-Cisore en 1954.

c) Du SSW à l'Ouest, les ophiolites avec bancs subordonnés de schistes lustrés du complexe San Lorenzo-Montalto, qui constituent la couverture mésozoïque de la zone Mont-Rose et qui ont été ici replissées postérieurement au déversement de masses Saint-Bernard vers le Sud.

d) De l'Ouest au Nord, au-dessus des ophiolites San Lorenzo-Montalto, les gneiss de la nappe simplonique Verosso-Bérisal.

De San Lorenzo, avec la carte et la coupe d'AMSTUTZ (*Arch. Sc.*, 1954) on peut donc voir les principaux éléments du com-

plexe Saint-Bernard/Mont-Rose, qui résultent d'une Première phase tectogène (fin Jurassique) et dans lequel ont été taillées les quatre nappes simploniques lors d'une Troisième phase tectogène (mésocrétacée).

Les structures de ces divers éléments doivent être aujourd'hui d'autant plus observées, d'autant mieux comprises, et leur coupe doit être considérée comme d'autant plus importante, que c'est là dans le val Bognanco qu'est le point de départ du système Argand-Staub, qui prévaut aujourd'hui encore dans l'esprit de nombreux géologues alpins. C'est là, en effet, qu'ARGAND a établi son profil primordial, et qu'il a voulu, en poursuivant cylindriquement ses structures, expliquer les Alpes jusqu'à la Méditerranée. Et c'est donc de là aussi que STAUB, adoptant complètement ou presque complètement les idées et le système d'ARGAND, a voulu ensuite expliquer les Alpes jusqu'à Vienne.

Déjeuner à l'auberge de San Lorenzo.

L'après-midi, dans le val Vigizzo pour se rendre compte de la coupure des diastrophismes de la Deuxième phase tectogène, phase Sesia, par la Troisième phase, simplonique (une bande serpentineuse de la Deuxième phase étant cisailée au dos amphibolitique de la nappe Monte-Leone près de Toceno), et dans le haut du val Canobbio pour y retrouver la zone dite du Canavese, avec ses volcanites acides permocarbonifères et ses calcaires mésozoïques, et un peu plus loin pour voir des péridotites accompagnant les diorites et kinzigites de la zone d'Ivrée.

SIXIÈME JOURNÉE. — JEUDI 13 SEPTEMBRE 1962.

Dans le val d'Antrona, pour la nature des gneiss paléozoïques Prabernardo-Domodossola, leur coupure au Sud par la Deuxième phase tectogène, et l'immense pli transversal en forme de S qui borde à l'Est le massif Mont-Rose et qui résulte de la sur-rection de ce massif lors des ajustements isostatiques.

M. FOURMARIER conduit ses confrères dans les escarpements de la rive droite de la vallée à hauteur du coude de la route située en amont du lac. On y voit les gneiss d'âge paléozoïque disposés suivant la direction méridienne conformément à l'orientation du pli transversal d'Autronapiana. Ces gneiss sont affectés de petits plis fortement écrasés, à banc axial voisin de l'horizontale; ces plis sont déversés vers l'Est, ce qui est conforme à la disposition du pli transversal. Encore une fois, la dispo-

sition même de ces accidents mineurs de la tectonique est l'indice de l'intervention de contraintes proches de la verticale. Sur ces gneiss reposent des basaltes triasiques transformés en amphibolites. Le contact n'est pas souligné par la présence de gypse, de cargneules, de calcaire ou de dolomie comme dans la zone Saint-Bernard.

Ensuite, les participants se réunissent pour déjeuner dans la petite auberge d'Autronapiana.

Après le déjeuner, une séance de récapitulation et de conclusions est tenue sous la tonnelle de l'auberge.

Le président P. PRUVOST ouvre la séance et donne la parole à M. FOURMARIER, qui résume et interprète les données acquises au cours des journées précédentes :

« Durant les quatre premières journées de la Session, nous avons effectué le parcours de Genève à Ivrée, ce qui nous a permis de faire une coupe méridienne à travers les Alpes occidentales, depuis leur avant-pays jusqu'à proximité de la plaine du Pô. Nous avons pu procéder ainsi à une étude comparative des diverses unités entre lesquelles se partage la chaîne plissée. Nous avons eu sous les yeux les faits essentiels sur lesquels est basée la thèse exposée par M. AMSTUTZ pour expliquer la genèse des Alpes.

» D'Ivrée, nous sommes passés à l'Ossola et, reprenant notre route vers le Nord, nous avons traversé à nouveau ces mêmes unités tectoniques, dont l'aspect est quelque peu différent de celui observé dans le Val d'Aosta et à Courmayeur, bien que leur agencement paraisse régi par les mêmes règles. Nous achèverons demain la seconde coupe méridienne par un examen rapide de la structure des nappes simploniques et leur contact avec les helvétides qui s'étendent au Nord.

» Qu'il me soit permis tout d'abord de souligner une fois encore le soin avec lequel notre Directeur d'excursion, le Docteur ANDRÉ AMSTUTZ, a mis au point le programme de ces deux traversées des Alpes. Grâce à lui nous en retirerons le maximum de profit scientifique.

» Quelques données de grand intérêt me paraissent se dégager de ce qu'il nous a été possible d'observer sur le terrain.

» Je m'arrêterai seulement à quelques considérations d'ordre général concernant la genèse de la grande chaîne plissée des Alpes.

» Pour nous, géologues belges, habitués aux facies et aux structures de l'Ardenne, les Alpes apparaissent, au premier abord, comme une zone plissée de caractère très spécial, faisant en quelque sorte exception parmi les orogènes antérieurs tels que nous les connaissons en Europe, en Asie, en Amérique. Ce n'est que par une pratique assez longue de la géologie alpine que nous finissons par trouver des analogies.

» Quant à expliquer la genèse de la chaîne des Alpes, nous sommes loin des conceptions antérieures : théorie de la contraction du globe par suite de son refroidissement, théorie du « traîneau écraseur » de PIERRE TERMIER, application du principe de la dérive des continents d'ALF. WEGENER, hypothèse d'un glissement superficiel par le jeu de la gravité, etc.

» Notre confrère, A. AMSTUTZ, nous propose une explication tout autre, basée sur l'influence prépondérante des courants subcrustaux, tels qu'ils ont été envisagés par A. RITTMANN. Il nous a fait part de ses idées au cours de la séance d'ouverture et le compte rendu de la Session reproduira des passages des notes qu'il a publiées sur ce problème.

» Certains d'entre nous ont peut-être été quelque peu désorientés au début par cette conception nouvelle. J'avoue que j'ai été moi-même assez réticent quand M. AMSTUTZ m'a exposé ses idées pour la première fois. Mais après des discussions renouvelées à diverses reprises, après des courses en commun sur le terrain, j'ai été de plus en plus séduit par le principe des subductions. Je crois qu'il y a là un grand fond de vérité.

» M. ANDRÉ AMSTUTZ admet l'influence prépondérante des courants subcrustaux. Il les estime capables de produire les phénomènes de *subduction* (on a dit aussi *sous-charriage*) marqués par l'entraînement de masses plus ou moins épaisses, de nappes d'écaillés, de lambeaux, suivant des surfaces peu inclinées. Ces surfaces peuvent, d'ailleurs, être modifiées par des mouvements en sens inverse qui provoquent le redressement des bancs notamment dans les zones dites de racines.

» Les géophysiciens nous disent que de tels déplacements sous-crustaux sont non seulement possibles, mais qu'ils sont assez puissants pour provoquer des actions tectoniques considérables. Nous devons leur faire confiance jusqu'à preuve du contraire.

» Cependant, de tels courants ne peuvent se produire, semble-t-il, que dans un milieu visqueux, c'est-à-dire au contact de la croûte solide et de son soubassement comme dans les expé-

riences de GRIGGS; cela revient à dire à plusieurs dizaines de kilomètres plus bas que les niveaux où leur intervention est supposée produire les subductions alpines. Il semble y avoir là une contradiction entre la théorie et les faits d'observation.

» L'étude des déformations mineures des roches que je pratique depuis longtemps, est peut-être de nature à jeter quelque lumière.

» Comme je l'ai déjà fait remarquer en cours de route, il existe une différence notable entre l'apparence de ces déformations mineures suivant que l'on considère la partie centrale du géosynclinal alpin, dans les régions de Cogne et de Domo-dossola par exemple, ou bien dans la bordure de ce grand pli.

» Dans la zone centrale, les roches du niveau bien connu des *schistes lustrés* se débitent en feuillets correspondant à la stratification originelle, c'est-à-dire suivant la foliation; de plus, leur métamorphisme est très apparent. Par contre le même horizon (Trias et Lias) est affecté par le clivage schisteux proprement dit, oblique à la stratification, dans toute une zone externe correspondant à la bordure des Pennides, aux Helvétides, au Briançonnais, au col du Cenis; la même variation s'observe en bordure de la Méditerranée, de part et d'autre du massif de Savona. A l'Est de l'Ossola, on note un changement comparable lorsqu'on approche de Hinterrhein et de la Via Mala, même dans la zone axiale du géosynclinal.

» Ces variations sont remarquables. Elles pourraient être attribuées à une différence notable de la charge statique existant au moment du plissement, suivant que l'on considère la zone profonde de l'aire géosynclinale ou ses abords.

» M. AMSTUTZ n'a pas manqué de nous dire l'importance de cette fosse géosynclinale dont la zone axiale est soulignée approximativement dans la situation actuelle, par l'alignement des massifs du Mont-Rose et du Grand-Paradis.

» Les variations de facies des terrains secondaires, par exemple, soulignent parfaitement cette disposition géosynclinale. M. AMSTUTZ la met en relation avec la distribution des « roches vertes » ainsi qu'il nous l'a fait voir sur le terrain.

» A première vue, la cause des différences dans la tectonique mineure, soulignées aussi par un degré de métamorphisme différent des « schistes lustrés » ou de leur équivalent stratigraphique, est en relation avec l'épaisseur inégale de remplissage du géosynclinal suivant qu'il s'agit de sa zone axiale ou de sa bordure, conformément à une règle souvent observée.

» Peut-être dans l'estimation de la charge statique faut-il faire intervenir le poids des nappes sus-jacentes, comme je l'ai montré pour d'autres parties des Alpes.

» Il paraîtra cependant raisonnable de rappeler aussi que les phénomènes de granitisation en profondeur peuvent avoir pour conséquence de rendre plus déformables les roches surincombantes. Certes, il ne me serait pas possible de donner des arguments positifs en faveur de cette hypothèse. On connaît des granites alpins, relativement proches de la région visitée; on s'étonnerait cependant que si la granitisation profonde était vraiment en cause, il n'y aurait pas de massifs de granite intrusif dans le pays de Cogne et le val d'Aoste.

» Toutefois mes observations antérieures dans la zone de passage de l'Apennin aux Alpes (P. FOURMARIER, Observations sur le développement de l'allure de la schistosité dans l'Apennin septentrional, *Arch. Sc.*, vol. 10, fasc. 1, Genève, 1957) me conduisent à envisager sérieusement, pour cette partie de la chaîne, l'influence des actions de granitisation en profondeur.

» Je n'entends pas m'appesantir sur cette question; j'estime cependant utile de ne pas la perdre de vue lorsqu'il s'agit d'expliquer la tectonique alpine. Je rappellerai ce que j'ai dit précédemment, au col du Petit-Saint-Bernard, où le changement dans le développement des déformations mineures et du métamorphisme est si rapide qu'il serait vraiment bien difficile de l'attribuer uniquement à une différence de charge.

» On est frappé tout autant du laminage et de l'écrasement considérables des roches dans la zone centrale du géosynclinal. On est frappé aussi par le fait que le feuilletage si marqué des schistes est, très fréquemment, voisin du plan horizontal; les petits plis secondaires fortement écrasés et étirés ont leur surface axiale très peu inclinée de façon générale; l'aspect de ces petits plis est différent aussi suivant que les bancs sont redressés ou horizontaux. On y voit un indice certain de l'intervention marquée des contraintes verticales dans la tectogenèse de cette partie de la chaîne. De toute façon, il convient de tenir compte de ces faits si l'on veut mieux comprendre les conditions dans lesquelles la zone plissée s'est formée. Aux efforts résultant de l'intervention des courants subcrustaux, il faut ajouter les contraintes dirigées suivant la verticale. Il est évident, d'ailleurs, que l'effet de laminage dû aux subductions doit être d'autant plus marqué que la charge supportée est plus grande.

» A cet égard, la distinction d'une série de phases successives est d'un très grand intérêt.

» Les beaux travaux des géologues suisses et notamment les levés très précis dus à M. A. AMSTUTZ ont mis en évidence l'existence d'une série de nappes superposées. Dans les Pennides, comme dans les Helvétides, on peut dire que ces nappes sont d'autant plus anciennes qu'elles sont situées plus haut dans la série.

» Mais il faut insister aussi sur le fait qu'après leur mise en place les nappes ont été déformées; on en a la preuve dans les Helvétides; nous le verrons admirablement demain dans les nappes simploniques.

» Les observations sur le métamorphisme des terrains et sur les déformations mineures des roches conduisent à dire que la zone pennique a pris son évolution définitive à plus grande profondeur que la zone helvétique, c'est-à-dire sous une charge plus grande de sédiments, à moins que l'on fasse appel à d'autres facteurs susceptibles d'accroître la déformabilité des terrains. La première explication serait en accord avec l'opinion de M. AMSTUTZ quant au développement d'une aire géosynclinal dans la zone Mont-Rose. Peut-être conviendrait-il de faire intervenir à la fois la charge statique plus grande en cet endroit et les actions de granitisation en profondeur.

» La déformabilité fortement accrue des terrains dans la zone pennique permet de comprendre, au point de vue physique, qu'il y ait passage insensible de la croûte, dite solide, au milieu supposé plus visqueux situé en profondeur. Ce serait l'explication du fait que les surfaces de cisaillement dues à l'intervention des courants subcrustaux montent si près de la surface.

» Nous n'avons guère eu l'occasion de voir les terrains de l'arrière-pays de la chaîne alpine, si ce n'est dans la Zone d'Ivrée et la Zone du Canavese.

» La première nous a montré des terrains métamorphiques antérieurs au Trias; dans la seconde, nous avons remarqué que les calcaires triasiques, bien que disloqués, ne sont pas atteints par un métamorphisme très marqué, comme ils le sont dans la zone axiale du géosynclinal pennique.

» Dans l'arrière-pays proprement dit, où dominent les terrains mésozoïques et cénozoïques depuis le Trias, le métamorphisme est pratiquement nul et les déformations mineures sont peu développées. C'est un aspect tout autre que dans la zone pennique et l'on se rend compte que l'évolution s'est faite dans des conditions très différentes quant à l'intensité des

efforts, à la charge, voire à l'intervention d'une cause profonde, qui apparaît ainsi d'autant plus probable.

» On remarque, d'ailleurs, que le style tectonique, caractérisé par des plis déversés vers le Sud, est tout autre que celui de la chaîne alpine proprement dite.

» Les géologues belges, entraînés à l'étude des déformations hercyniennes ou plus anciennes, seront peut-être quelque peu réticents pour accepter l'influence des courants subcrustaux comme agent essentiel de la tectogenèse. Ils ne doivent pas perdre de vue que les plissements des terrains de l'Ardenne se sont faits dans des conditions différentes de charge et de température que les grandes dislocations des Alpes.

» Si, par contre, je me reporte aux travaux de notre confrère PAUL MICHOT sur les terrains évolués dans la catazone, je constate quelques analogies avec les déformations que nous venons de voir dans la zone alpine. Aussi j'y vois la confirmation de ce que je viens de dire : le tectonique d'une zone plissée est fonction de la profondeur à laquelle elle a évolué.

» En conclusion, la thèse de la subduction présentée par M. A. AMSTUTZ doit retenir très sérieusement l'attention des tectoniciens et ouvrir la voie à des recherches nouvelles. »

M. PRUVOST remercie M. FOURMARIER de son intervention et ouvre la discussion.

M. DE BÉTHUNE demande à M. FOURMARIER comment il envisage les rapports entre croûte terrestre et substratum, et comment il conçoit les diastrophismes dans les divers niveaux de la croûte.

M. FOURMARIER rappelle tout d'abord l'essentiel à propos des expériences de GRIGGS et de la conception thermodynamique de RITTMAN. Il ajoute que dans la zone pennique visitée au cours de la Session, on a l'impression que la déformabilité fut très grande, contrairement à ce qui se passe dans les zones superficielles où les roches se brisent au lieu de se déformer plastiquement. Le passage de la zone de fracture à la zone de plasticité doit se faire progressivement suivant toute vraisemblance. Il est probable que dans la zone pennique la base de la zone de fracturation a été fortement relevée à l'intervention du facteur profond (granitisation) déjà évoqué au cours de la discussion.

M. DE MAGNÉE fait remarquer qu'au point de vue géophysique on ne voit guère de différence entre croûte et substratum. Il prend exemple sur les chaînes circumpacifiques où des cassures se poursuivent sur 700 km, traversant la croûte et le substratum sans aucune déformation. De même, à Naples où des failles plongent sur 3 km sans aucune déformation. D'autre part, M. DE MAGNÉE rappelle que le plongement s'effectue au Pacifique toujours dans le même sens, tandis que dans les Alpes ces directions varient.

Pour répondre à M. DE MAGNÉE, M. AMSTUTZ fait appel à la notion du temps de relaxation, aux variations des courants subcrustaux et à d'autres facteurs. Pour les régions circumpacifiques, AMSTUTZ pense qu'il y a là une « première phase tectogène » d'un « cycle orogénique actuel » et que cette première phase correspond au déversement alpin Saint-Bernard/Mont-Rose amplement considéré ces jours-ci. Il développera et étayera prochainement cette notion extrêmement importante et nouvelle.

M. DE BÉTHUNE signale que si près du Pacifique la disposition des plans définis par les hypocentres profonds plonge sous le continent et est donc déversée vers l'Ouest, dans le continent américain les déversements en surface se font dans les deux sens et ne sont donc pas nécessairement les mêmes qu'en profondeur. Ainsi, en traversant le continent de l'Ouest à l'Est, on observe successivement :

- les chaînons côtiers déversés en sens divers;
- la plaine de Californie, puis le bloc granitique de la Sierra Nevada plongeant à l'Ouest, sous celle-ci, donc déversé virtuellement vers l'Est;
- le Grand-Bassin découpé en voussoirs déboîtés, mais où dans la tectonique ancienne on reconnaît un important charriage déversé vers l'Est; il en est de même donc dans la région située plus à l'Est, où divers charriages sont déversés vers l'Est (zone occidentale des Rocheuses). Ces déversements sont donc opposés à ceux de la zone profonde;
- plus à l'Est encore, dans les Montagnes Rocheuses, on a affaire à de vastes « plis-de-fond », relevant le socle en larges ondulations anticlinales limitées par des flexures, parfois faillées, comme l'avait déjà reconnu J. D. DANA, qui les appelait « anti-

clinoria » c'est-à-dire montagnes à structure anticlinale. Les déversements s'y effectuent tantôt à l'Est, tantôt à l'Ouest, ou même parfois du Sud vers le Nord.

Dans une telle chaîne, moins resserrée que les Alpes, les conditions sont donc différentes, suivant les zones et suivant la profondeur.

M. AMSTUTZ rend hommage à l'œuvre splendide d'ARGAND, mais il pense qu'il faut modifier beaucoup les notions de « plis-de-fond », de plis de couverture, etc. et que ces conceptions doivent être remplacées par les idées qu'il a exposées au cours de cette Session extraordinaire.

M. DE BÉTHUNE ne veut pas introduire de confusion; il ne s'agit point ici des Alpes mais de la Cordillère américaine; il précise que le terme d'*anticlinorium* suggéré en 1873 par J. D. DANA, correspond exactement à la structure des Montagnes Rocheuses du Wyoming et du Colorado, dans lesquelles le socle cristallin, précambrien, est tombé en anticlinal. Ce terme a été ensuite détourné de son sens primitif par VAN HISE, qui lui a donné le sens actuellement accepté d'*anticlinal composé*; aussi ARGAND, lorsqu'il est retourné à la notion originale dont ces montagnes américaines sont en quelque sorte le type, a été obligé d'introduire un nom nouveau : « pli-de-fond » (cf. *La Tectonique de l'Asie*). Ceci ne préjuge en rien de la structure des Alpes.

M. AMSTUTZ se propose d'étudier d'autres chaînes de montagnes mais, actuellement, il ne désire pas s'encombrer l'esprit de notions qu'il estime inutiles à sa conception de l'orogénèse alpine.

M. FOURMARIER prenant exemple sur les autres chaînes, notamment celles de l'Atlantique Nord, signale que la tectonique des Alpes est très spéciale : des différences marquées s'observent entre le domaine alpin et les autres chaînes. Dans les Alpes, la déformabilité est intermédiaire entre la tectonique profonde et celle de surface. Il rappelle aussi la différence qui sépare le Pennique de la chaîne helvétique.

Selon M. AMSTUTZ deux courants différents ont attiré les masses vers la profondeur. Dans les Helvétides c'est le deuxième courant seul qui a agi, tandis que les Pennides résultent de diverses actions successives de ces deux courants.

M. DE BÉTHUNE revient sur la notion de « pli-de-fond » qui, en Ardenne, se traduit par des bombements postérieurs au plissement hercynien. Dans les Penniques, par contre, ces « plis-de-fond » ne sont guère à envisager. Dans l'Helvétique le socle s'est déplacé par cisaillement et par bombement, mais dans le Jura, le substratum seul a bougé sur le socle qui est resté essentiellement rigide.

M. FOURMARIER considère qu'il n'y a pas de contradiction : les effets seront différents, selon qu'ils se manifestent en surface ou en profondeur. Ceci n'a rien à voir avec la direction des contraintes. Il évoque la tectonique belge et souhaite que l'on envisage comment les conceptions de M. AMSTUTZ pourraient s'y appliquer. Il rappelle en outre les analogies qui existent entre les Appalaches et l'Ardenne.

M. AMSTUTZ se demande s'il faut vraiment considérer les Alpes comme une exception par rapport aux autres chaînes et, dans l'affirmative, jusqu'où va cette exception.

Selon M. DE BÉTHUNE les Alpes ont très souvent servi de type auquel on est tenté de se référer, car le géosynclinal alpin est de beaucoup le mieux connu, mais il pense qu'il serait faux de vouloir imposer les conceptions alpines dans les autres chaînes de montagnes. Il pense au surplus que des enseignements précieux pourraient résulter d'une comparaison critique des phénomènes alpins avec les structures connues dans la chaîne hercynienne, la chaîne calédonienne, la chaîne appalachienne et d'autres.

Par exemple, sous l'influence de HEIM et d'ARGAND l'interprétation classique de la chaîne alpine a fait appel, tant dans les nappes helvétiques que dans les nappes penniques, à la notion de pli-couché. Dans les autres chaînes plissées, par contre, le charriage procède par cisaillement; non seulement les failles sont des surfaces de cisaillement et non des zones d'étirement, mais elles tranchent même parfois au travers des deux flancs d'un pli. Ceci vaut pour l'Ardenne, pour les charriages des Highlands d'Écosse (Assynt), pour les Appalaches, pour les charriages de la zone occidentale des Montagnes Rocheuses (Lewis thrust, Bannock thrust, etc.), pour ceux de l'arc lufilien au Katanga, etc. Toutes ces chaînes appartiennent au « deuxième genre » de PIERRE TERMIER; celui-ci semble donc plus répandu que le « premier genre » sensément repré-

senté dans les Alpes. Il faut remarquer toutefois que sur ce point cette réputation alpine est surfaite; lorsqu'on examine les coupes récemment levées par l'école de Bâle dans le Santis on constate que certains plis couchés à flanc inverse étiré, dessinés par HEIM dans la belle monographie qu'il a consacrée à cette montagne, sont en réalité des plis cisailés. Le flanc supposé être « inverse étiré » n'appartient pas au niveau stratigraphique supposé par HEIM; il n'y a pas répétition par pli d'une même couche, mais superposition stratigraphique de deux couches différentes refoulées sur le massif inférieur. Il y a là des observations dont les géologues alpins habitués au langage des plis-couchés, ne comprennent pas toujours la pleine signification.

M. DE BÉTHUNE désire insister à cet égard sur l'intérêt exceptionnel des observations que M. AMSTUTZ nous a permis de faire dans la partie inférieure du Val Bognanco, où sur la carapace des gneiss du Monte-Leone, recouverte de schistes lustrés, il nous a montré en allure discordante les gneiss de Camughera (1). Le contact entre les deux est donc cisailant. Il est évident que l'on ne peut expliquer simplement cette structure dans le langage classique du pli-couché et que l'on doit être ainsi amené à repenser très profondément la structure des Alpes Penniques, comme nous le propose M. AMSTUTZ.

Sans vouloir se prononcer définitivement sur les structures qu'il a eu l'occasion d'observer à Zermatt et qui présentent une similitude frappante avec celles que M. AMSTUTZ nous a montrées à Cogne, M. DE BÉTHUNE pense que ni la théorie des plis-couchés, ni celle du déversement vers le Nord ne peuvent expliquer les faits d'une façon simple. Il est heureux de voir les observations de M. AMSTUTZ confirmer son sentiment sur ce point.

Il désire également attirer l'attention sur une difficulté, inhérente à la nomenclature, que quiconque désire assimiler la théorie de M. AMSTUTZ doit parvenir à surmonter. Dans la théorie d'ARGAND le matériel Saint-Bernard constitue la nappe *Sb*; dans les vues de M. AMSTUTZ le même matériel est d'abord

(1) Le terme de gneiss de Camughera a été employé dans la discussion sans signification technique précise; il s'agit des gneiss observés au Sud de La Bogna et qui sont traversés par l'Antrona en aval de Prabernardo. On ne les confondra évidemment pas avec la Camughera Schuppe de BEARTH (in *Eclogae*, vol. 32, 1939, pp. 101-113, pl. VI). (Note ajoutée pendant l'impression.)

SB, il devient ensuite Verrosso-Berisal lorsqu'il est repris par un mouvement dans l'autre sens; on doit s'obliger, si on veut comprendre, à distinguer le matériel des phases de mouvement opposées qui l'ont affecté successivement, et l'on doit donc parvenir à s'affranchir de la nomenclature actuelle qui porte à les confondre.

Suit un échange de vues entre MM. FOURMARIER, AMSTUTZ et DE BÉTHUNE sur l'observation, dans les Alpes, de ces deux types de charriage.

M. FOURMARIER estime qu'à cet égard la nomenclature devrait être revue à la lumière des nouvelles conceptions de M. AMSTUTZ.

Puis, M. PRUVOST s'exprime en ces termes :

« J'ai une double mission à remplir, pour clore cette si intéressante séance de travail, au cours de laquelle vous venez d'échanger, mes chers confrères, le fruit de vos méditations, après les six journées d'observations dont notre conducteur vient de nous enrichir.

» La première s'adresse aux jeunes de notre équipe, ceci pour le cas où les feux croisés de nos théories interprétatives — le moment d'éblouissement et d'enthousiasme passé — auraient laissé certains d'entre eux un peu désorientés. La devise des géologues « *Mente et Malleo* » fait planer l'incertitude sur la question de savoir ce qui prévaut dans notre démarche, la pensée ou le marteau, l'explication ou l'observation ? En réalité, il n'y a point de hiérarchie préalable; l'hypothèse peut servir de fil d'Ariane et conduire la recherche des faits, comme elle doit finalement se soumettre à la moisson des documents.

» Et, en cela, l'œuvre de M. ANDRÉ AMSTUTZ est un exemple, pour nous tous, très salubre. Il a commencé par s'attaquer longuement, patiemment, énergiquement au terrain. Et quel terrain ! Seul un montagnard de sa trempe pouvait le maîtriser. Le résultat de son effort est cette remarquable carte au 25.000^e de la région de Cognac dont il nous a donné la primeur. Nous savons qu'aucun affleurement n'y a été dessiné, sans qu'il n'en ait vérifié la nature, au marteau, puis au microscope; aucun contour n'y est tracé, sans qu'il ne l'ait serré de près.

» Partant de cette base positive, dont la solidité nous a impressionnés, il était autorisé à prendre de la hauteur et à

extrapoler. Car le coup d'œil de l'aigle, opération séduisante, doit suivre, et non précéder, le travail patient du laboureur. C'est ainsi, et alors seulement, qu'ayant constaté que les synthèses de ses prédécesseurs s'accordaient mal avec sa propre moisson de faits, M. AMSTUTZ nous propose une explication originale, dont on peut dire qu'elle comporte deux étapes distinctes. La première est une déduction immédiate des observations : des cisaillements intéressant toute l'épaisseur de la croûte — il les désigne sous le vocable évocateur de « subductions » — sont à l'origine de l'écoulement des nappes. Elles sont ainsi responsables des surcharges tectoniques qui conditionnent l'intensité du métamorphisme et la schistosité des roches impliquées. Et cela s'est produit à plusieurs reprises, depuis la fin du Jurassique jusqu'au Mio-Pliocène. M. AMSTUTZ distingue sept phases tectogènes principales, dont il nous précise le moment, certaines ayant pu opérer en sens inverse des précédentes. Ces déductions apparaissent d'autant plus solides qu'elles sont en relation directe avec les faits observés.

» La seconde étape de sa pensée tend à rechercher le moteur de la tectogenèse, c'est-à-dire la cause des subductions. Car le problème qui se pose aux géologues est d'expliquer pourquoi la surrection des chaînes leur apparaît finalement comme une libération vis-à-vis des forces de la pesanteur. S'appuyant sur la théorie brillamment édifiée par A. RITTMANN, il nous propose d'incriminer les courants subcrustaux.

» Les géologues de ma génération ont connu, pour responsables de l'orogénèse, d'autres inculpés, tels que le refroidissement et la contraction de l'écorce, ou les grands « traîneaux écraseurs », ou « les jeux de serre », que sais-je encore, inculpés qui, dans la suite, semblent avoir bénéficié d'un non-lieu. Aussi accueillent-ils avec sympathie cette explication nouvelle et séduisante, espérant que les progrès de la physique du globe permettront de mieux connaître un jour ce qui se passe à ces profondeurs.

» En ceci, l'interprétation proposée se distingue des synthèses précédentes. La plupart présentaient, en effet, ce caractère commun de dessiner des édifices dont la structure principale figurait en pointillé dans l'atmosphère, de sorte que les preuves, abolies par ce que M. GIGNOUX a appelé « l'infini d'oubli qu'est l'érosion », échappaient à une vérification directe. C'est pourquoi l'hypothèse de M. A. AMSTUTZ, en plus de la clarté et de la souplesse, nous séduit également parce qu'elle a le courage

de renoncer aux échappatoires. Et elle se soumet d'avance à un contrôle possible. C'est un hommage que je tenais à lui rendre, en notre nom à tous.

» Ma seconde mission de Président s'adresse, non plus aux jeunes, mais à l'ainé d'entre nous, au Maître vénéré, mon grand ami, le Professeur PAUL FOURMARIER. Car, si cette réunion des Sociétés géologiques belges a été organisée à son initiative, et si nous lui devons donc une profonde reconnaissance pour le bénéfice que chacun de nous en a tiré, il se trouve, vous le savez, qu'elle coïncide avec l'année où il célèbre son 85^e anniversaire.

» A cette occasion, nous lui exprimons nos félicitations, et nos vœux ardents pour qu'il continue longtemps à jouir de cette jeunesse permanente qui nous entraîne tous, et à nous éclairer de son savoir et de son expérience, comme il vient encore de le faire tous ces jours derniers.

» A ces félicitations et à ces souhaits, j'ai la joie de joindre celles de ses confrères de l'Institut de France en lui remettant cette lettre par laquelle le Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences, le Prince LOUIS DE BROGLIE, me confie le privilège de les lui exprimer en ce moment, au nom de notre Compagnie. C'est un des témoignages de l'admiration et de l'amitié fidèle que lui vouent ses collègues français. »

SEPTIÈME JOURNÉE. — VENDREDI 14 SEPTEMBRE 1962.

De Domodossola au Simplon, pour l'analyse des nappes simploniques et l'examen des schistosités dues aux subductions.

Un premier point d'observation se trouve un peu au-delà du cimetière de Crevola. On y voit clairement l'allure des terrains appartenant à la nappe Monte-Leone. Les bancs sont verticaux ou légèrement déversés vers le Sud. Toutefois, vers le Nord, ils prennent une pente Sud de plus en plus faible, ce qui permet de comprendre aisément qu'il y a eu redressement et renversement des racines.

A la carrière de Villa d'Oro, on exploite des calcaires blancs marmoréens inclinés 60° Sud et surmontés par des micaschistes et des gneiss, mis à jour dans le chemin en forte pente conduisant à la carrière. Ces roches appartiennent à la nappe Lebendun. Les bancs de calcaire montrent par endroits de petits plis fortement écrasés et étirés dont l'axe est parallèle à la stratification.

Il est vraisemblable qu'avant le déversement des racines, ces plis comme les bancs qu'ils affectent étaient peu inclinés; la disposition des petits plis serrés est alors en accord avec celle observée dans la vallée d'Aoste soit à la carrière d'Aymaville, soit à la route romaine en amont de Montalto. On peut en tirer les mêmes conclusions quant à l'évolution tectonique générale de la région. Une seconde exploitation, située au Nord de la précédente, est ouverte dans la bande calcaire Nord de la nappe du Lebendun.

Les gneiss affleurant à peu de distance au Nord appartiennent à la nappe d'Antigorio, séparée du Lebendun par une surface de cisaillement. On remarque qu'au voisinage de cette surface les gneiss sont très feuilletés. Au fur et à mesure que la distance augmente, la roche devient plus massive et passe au granite. En même temps, la pente, subverticale près de la surface de cisaillement, devient de plus en plus faible et l'on se rend compte ainsi des modifications produites dans l'allure des couches par une phase tectonique ultérieure.

Au-delà de Gondo, les bancs de la nappe d'Antigorio inclinent doucement vers le Nord, dessinant ainsi une large voûte surbaissée, qui se voit très bien sur le terrain.

A l'endroit dénommé « Vieille Caserne » apparaissent les schistes lustrés avec calcaire marmoréen formant l'enveloppe de la nappe d'Antigorio. Ils sont fortement écrasés et laminés.

Immédiatement au-delà de cet endroit, en continuant la montée vers le Simplon, les tranchées de la route laissent voir, au-dessus d'une surface de cisaillement à pente Nord-Ouest, des gneiss surmontés immédiatement par des calcaires cristallins grenatifères de la nappe Lebendun.

Après Gaby, apparaissent les gneiss de la nappe Monte-Leone, que l'on traverse sur toute la longueur de la montée vers le col du Simplon.

Arrivé à l'hospice, nous quittons le car pour voir, le long d'un ravin, les schistes lustrés avec bancs calcaires appartenant au sommet de cette nappe. Ces schistes sont très laminés et se débitent en feuillets minces parallèlement à la stratification (foliation).

M. FOURMARIER estime que ces calcaires ont un aspect moins cristallin que ceux des nappes sous-jacentes comme s'ils avaient été soumis à un effort moindre. La différence n'est pas très grande sans doute, mais elle laisse à penser que la charge résul-

tant de l'empilement des nappes a pu jouer un rôle dans l'évolution des roches, ainsi qu'il l'a établi pour les nappes helvétiques notamment.

Sur les schistes lustrés de l'hospice du Simplon (nappe Monte-Leone) s'est avancée la nappe Verosso-Berisal, dont les gneiss apparaissent dans les escarpements dominant la route des deux côtés.

Au col du Simplon, M. AMSTUTZ nous fait observer les coupes qui accompagnent la carte de SCHMIDT et PREISWERK, et ajoute : « La structure à première vue très étrange du front des nappes simploniques s'explique par les subductions de la 5^e phase tectogène. Il y a là, en effet, des plis accentués et serrés (et des têtes gneissiques courbées et tirées en profondeur) qui sont mis en évidence par quelques profils de SCHMIDT-PREISWERK et qui montrent nettement que les parties frontales de ces nappes simploniques ont été remaniées et comprimées postérieurement à leur écoulement. Car de telles compressions, de telles structures, sont évidemment à l'antipode des étalements par écoulement que devraient normalement présenter les strates en ces lieux (le régime d'écoulement par gravité des parties indemnes comprises entre cette zone frontale et les zones radicales étant mis en évidence par l'involution du Monte-Leone-Wasenhorn). Or, comme je l'ai dit dès 1954 et comme on peut le vérifier dans toutes les zones de subductions, dans toutes ou presque toutes les zones radicales de nappes, les parties surmontant la surface principale de cisaillement présentent (lorsqu'elles ne sont pas proches d'une subduction antérieure) des phénomènes de contraction et de coupure avec des angles variant de 0 à 90°; tandis que les parties sous-jacentes sont toujours laminées, étirées, avec une schistosité parallèle à cette surface de cisaillement mais graduellement décroissante avec l'éloignement. Il est donc plus que probable, d'après les emplacements, que les compressions et autres déformations secondaires du front des nappes simploniques dérivent des subductions éocènes Courmayeur-Airolo; elles en sont vraisemblablement un effet accessoire. Car ce front de nappes est situé à faible distance au-dessus des surfaces de cisaillement Courmayeur-Airolo, et c'est justement là, en cette zone limitrophe pennique, que doivent normalement se trouver les contractions caractéristiques des parties surmontant la surface principale de cisaillement lors des subductions ».

Un déjeuner au col du Simplon réunit pour la dernière fois tous les participants à la Session.

A la fin du déjeuner, le Président PRUVOST se lève et prononce l'allocution suivante :

« Mes Chers Confrères,

» Dans quelques heures, notre belle excursion s'achèvera à Genève. Le moment est donc venu de rendre à M. PAUL FOURMARIER les pouvoirs présidentiels que, sur sa proposition, vous m'aviez conférés à Genève pour cette Session extraordinaire.

» Avant de rentrer dans le rang, permettez-moi de dire, en notre nom à tous, nos remerciements et nos félicitations à M. ANDRÉ AMSTUTZ, le directeur et l'organisateur de cette splendide course à laquelle le soleil et ses exposés lumineux ont apporté chaleur et clarté.

» Avec une fidélité irréprochable au programme, en dépit des difficultés ou de la longueur des trajets, avec un dévouement de tous les instants, il nous a fait connaître et décrit non seulement les ensembles, mais les moindres recoins du paysage grandiose où il nous a conduits et où il est actuellement seul maître après Dieu.

» Mais, ce Conducteur-organisateur parfait était secondé par une organisatrice qui, malgré ses efforts pour s'effacer dans la discrétion, ne peut échapper aux hommages et aux remerciements chaleureux que je lui adresse au nom de notre équipe en ce moment. Madame AMSTUTZ, nous n'oublierons jamais tout ce que nous devons à vos soins vigilants. Nous avons vu, en effet, tout au long de notre excursion, que la grande amabilité que votre mari et vous-même nous avez montrée à Genève, dès notre arrivée, continuait à se prodiguer dans ces montagnes, comme si celles-ci n'étaient qu'une annexe du quai Wilson. Ceci a donné à notre excursion une saveur inestimable dont nous vous remercions du fond du cœur.

» Et maintenant, mes chers Confrères, au moment où j'abandonne la présidence de vos débats, permettez-moi de vous dire, du fond du cœur aussi, combien j'ai apprécié la marque d'estime et de confiance que vous m'avez donnée en m'appelant à ces fonctions. Les liens étroits qui m'attachent depuis de longues années aux deux Sociétés géologiques belges s'en trouveraient accrus, si c'était possible, par la reconnaissance que je vous dois.

» De plus, vous vous êtes ingéniés à rendre ma tâche bien légère et à ne m'en faire éprouver que l'aspect honorifique, car votre courtoisie dans la discussion m'a libéré de tout souci. Ainsi cette présidence a été, de plus, bénéfique pour moi, puisqu'elle m'a permis de ne rien perdre des idées que notre directeur et vous-mêmes avez exprimées, ni des enseignements que notre cher Professeur FOURMARIER en a tirés à mesure que nous progressions dans notre parcours.

» Pour tout cela, je vous remercie. »

M. FOURMARIER en sa qualité de doyen d'âge prend ensuite la parole. S'adressant à M. PRUVOST, il s'exprime comme suit :

« Mon Cher Président, au moment où s'achèvent nos deux traversées-types des Alpes occidentales, vous voulez bien remettre vos pouvoirs à celui qui vous les a confiés. Laissez-moi vous dire combien votre présence parmi nous a été précieuse. Vous avez dirigé nos travaux avec toute l'autorité que vous confère votre réputation scientifique; sans qu'il y paraisse, votre seule présence a donné à notre Session une haute tenue de cordialité et de compréhension; vos avis ont toujours été écoutés avec attention. Laissez-moi vous exprimer toute la gratitude de vos compagnons de course.

» Mon Cher AMSTUTZ, notre Président PRUVOST vient de dire dans les meilleurs termes la haute opinion qu'il a de vos travaux. Pendant la séance d'hier à Antronapiana, j'ai dit aussi ce que je pense de vos conceptions. Permettez-moi de n'y pas revenir. J'ajouterai seulement que vous avez semé une graine qui fécondera; la moisson, j'en ai le pressentiment, sera belle et vous remplira de joie. »

Se tournant vers M^{me} ANDRÉ AMSTUTZ, M. FOURMARIER s'exprime en ces termes : « Madame, notre Président de la Session extraordinaire vient de dire toute la reconnaissance pour le rôle, combien discret mais si précieux, que vous avez rempli durant ces belles journées passées dans les Alpes italiennes, françaises et suisses. Vous avez été pour nous la fée gracieuse et bienfaisante veillant à notre confort durant ces journées heureuses qui s'achèvent aujourd'hui. Permettez-moi, au nom de vos amis de Belgique, de France et d'Italie, de vous exprimer notre vive reconnaissance et notre respectueuse affection ».