Zeitschrift: Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 104 (1923)

Artikel: La géologie de environs de Zermatt

Autor: Argand, Emile

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-90336

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 14.09.2025

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

La géologie des environs de Zermatt

par Emile Argand

Mesdames, Messieurs,

Le temps vous trahit; le conférencier vous reste. Nous voici donc au point d'évoquer, devant quelques images, ce qu'il eût été plus grand de voir dans la nature, plus expédient de montrer au vrai.[1]

Vous n'attendez pas de moi, même en raccourci, une histoire des recherches géologiques faites dans ce beau pays; elle tient presque tout entière, avant notre siècle, dans les œuvres de trois grands hommes: Horace-Bénédict de Saussure qui, en 1792, bivouaque au col du Théodule et groupe un premier faisceau d'observations; Bernhard Studer, dont les résultats sont assemblés, au milieu du XIXe siècle, en un ouvrage aujourd'hui classique, riche collection de faits dans laquelle on puise encore avec profit; Heinrich Gerlach, explorateur insigne, découvreur fécond et trop oublié, pionnier endurant de ces plus hautes Alpes, tellement moins

---

[1] Par le beau temps, la conférence eût été l'explication géologique, au sommet du Gornergrat (3136 m), de l'immense panorama qui se révèle de ce point. En raison d'un brouillard persistant, qui supprimait toute vue à distance, la conférence a dû être donnée *intra muros,* au Kulm-Hôtel (3100 m environ), avec un tour nécessairement différent. Les panneaux affichés étaient la reproduction agrandie des deux planches suivantes: „La tectonique des Alpes Pennines centrales" in Emile Argand, L'exploration géologique des Alpes Pennines centrales (Bull. Soc. vaud. sc. nat., vol. 45, 1909, p. 217—276, 3 fig., 1 pl.), et „Les grands plis couchés des Alpes Pennines" in Emile Argand, Matériaux pour la Carte géol. de la Suisse, nouv. sér., Livr. XXVII, carte spéciale n° 64, pl. IV, 1911.

Pendant l'excursion géologique qui faisait suite à la session, j'ai eu l'occasion d'expliquer le 4 septembre, par un très beau temps, le panorama du Hühnerknubel (2900 m, sous l'Unter-Gabelhorn). Ce tour d'horizon qui diffère peu, pour la géologie, de celui du Gornergrat, est décrit dans le „Compte-rendu de l'excursion de la Société géologique suisse conduite aux environs de Zermatt, les 2, 3 et 4 septembre 1923", par Emile Argand, actuellement à l'impression dans les Eclogae Geologicae Helvetiae. Cet article est accompagné d'une liste d'ouvrages géologiques sur la région.

abordables il y a soixante-dix ans qu'à notre époque; GERLACH dont la Carte géologique des Alpes Pennines au deux-cent millième, présentée en manuscrit dans votre session de 1864 et publiée, cinq ans après, dans vos Mémoires, demeure, avec le rendu de la même région, au cent-millième, sur les feuilles XVII, XVIII, XXII et XXIII de la Carte géologique suisse, par le même auteur, comme le témoignage d'un immense labeur et, parmi tant de monuments que la cartographie géologique de notre pays offre dès cette époque, l'un des mieux venus, l'un de ceux que les chercheurs de notre temps et de tous les temps pourront bien retoucher, ciseler, parfaire, mais non renverser, tant les lignes maîtresses en sont justes; GERLACH qui, s'il n'a pas eu tout le secret de ces montagnes, a été un grand précurseur des synthèses tectoniques modernes en osant dessiner le gneiss d'Antigorio, en 1869, sous forme d'un pli couché de 11 kilomètres d'amplitude, charrié vers le nord sur un *substratum* plus jeune; GERLACH enfin qui, frappé à mort sur le terrain de ses recherches, le 7 septembre 1871, près d'Oberwald dans la vallée de Conches, par une pierre détachée de la montagne, a vraiment tout donné pour la Carte géologique suisse; car tel est le risque le plus honorable de l'état de géologue alpin.

Jusqu'à la fin du XIXe siècle, on ne voit guère à signaler que de bons travaux de pétrographie, d'ailleurs peu nombreux et très dispersés. La session de 1895, à Zermatt, voit cependant surgir une tentative d'agencement tectonique dont le mieux qu'on puisse dire, c'est qu'elle est trop fragmentaire, trop chargée de contradictions intérieures, trop démunie d'esprit synthétique pour réussir.

En 1884 l'idée des nappes de recouvrement, sortie du génie de MARCEL BERTRAND, commence sa course victorieuse à travers les Alpes; à l'aurore du XXe siècle, elle connaît de nouveaux triomphes et MAURICE LUGEON révèle, en même temps que les nappes des Hautes-Alpes calcaires, les plis couchés du Simplon et du Tessin: les nappes penniques inférieures sont trouvées. Mais du Simplon à la Doire Baltée s'étend le vaste territoire des Alpes Pennines, et au-delà, vers le Grand-Paradis et la Doire Ripaire, les Alpes Graies; cet immense pays passe encore pour autochtone: un dernier effort et l'on verra que ce sont des nappes empilées, les nappes penniques supérieures — nappes du Grand-Saint-Bernard, du Mont-Rose et de la Dent-Blanche — une note de MAURICE LUGEON et EMILE ARGAND l'annonce en 1905. Cette découverte, qui devait

entraîner de nombreuses conséquences et dans son territoire d'origine et dans le reste de la zone pennique — orient et occident — parachevait en première approximation, vers le haut, l'imposant édifice pennique. Après quarante-six ans de latence, la solution avancée par Gerlach pour un coin de pays s'avérait, immensément élargie, comme la formule architectonique de l'ensemble.

Poursuivre au long des Alpes Occidentales, jusqu'à la Méditerranée, les conséquences manifestes ou cachées de cette synthèse; dégager, d'un bout à l'autre de l'arc, les lois de ces grands phénomènes; recréer, par l'image, le mouvement qui les a produits; restituer les formes tectoniques, incessamment changeantes au cours d'une histoire dont le recul dépasse tout ce qu'on avait présumé; discerner dans la fuite des âges, du Carbonifère à nos jours, le sort des ébauches structurales, puis des nappes qui en proviennent; dérouler par la pensée, à rebours du temps, les boucles enroulées des plis couchés, et leur matière pétrographique, et leur contenu stratigraphique; évoquer, à chaque moment de la durée, les fonds et les rivages des mers penniques; redescendre les âges en enroulant les nappes; pénétrer le jeu profond des guirlandes insulaires, des cordillères et des sillons marins qui deviennent lentement de grands plis couchés; élucider, par les témoignages conservés, l'effet de ces déformations, en surface, sur le régime des sédiments, et en profondeur, sur l'histoire des roches massives, et de leur mise en place, et du métamorphisme qu'elles ont exercé sur les dépôts, et de celui qu'elles ont subi en même temps qu'eux; deviner, à des indices variés, l'interaction des grands plis couchés et leurs luttes inévitables, dans le tréfonds des Alpes naissantes, pour la possession d'un espace de plus en plus confiné; connaître les phases périodiquement rythmées de leur avancée, et les recrudescences, et les rémissions de l'effort qui les pousse presque horizontalement vers l'extérieur de la chaîne; saisir comment, à chacune de ces reprises, les cordillères, et plus tard la chaîne entière, se compliquent et se rétrécissent en montant; comment aussi, à chaque relâche, ces mêmes objets, sans rien perdre des formes structurales précédemment acquises, redescendent pour un temps; suivre les grands plis couchés dans leur élan contrarié, mais en fin de compte victorieux, vers l'immense obstacle hercynien au-dessus duquel ils déferlent, aux temps oligocènes, en un flot plastique, irrésistible, profond d'au moins trente kilomètres; mesurer, après les amplitudes

horizontales, les épaisseurs inégalées qu'atteignent ces nappes; jauger, par des moyens dont la simplicité étonne, l'espace tectonique à vingt-cinq kilomètres de profondeur et rétablir sur d'autres montagnes une égale épaisseur de nappes, aujourd'hui enlevées par l'érosion; déceler, de la fin du paroxysme oligocène à nos jours, ces répliques affaiblies, ces plissements attardés, périodiquement ralentis ou ranimés, qui renouvellent avec modération, dans les charnières acquises, quelques-unes des puissantes phases orogéniques du passé; qui reprennent plus faiblement, sans changement de style tectonique, le grand jeu des nappes dans leur force d'un temps; qui font gagner aux recouvrements quelque terrain vers l'avant, obligent les boucles à s'accentuer très légèrement et font trembler le sol; qui font gauchir, périodiquement, tout le corps alpin en y déclenchant, sans mouvements épirogéniques, des cycles morphologiques répétés: trouver ces choses et en faire la synthèse, telle fut la tâche des années qui suivirent la découverte des grands plis couchés. Après avoir eu, pour ainsi dire, la grosse anatomie des nappes penniques, on connut donc leur embryogénie, non point par épisodes isolés, mais dans ses enchaînements, dans la continuité de son développement: histoire de formes mouvantes qui remplissent véritablement l'espace et le temps; histoire d'une matière qui se prête docilement au jeu interminable de ces formes et porte la marque de tous ces événements. Jamais peut-être on n'avait montré, sur un objet réunissant tant de grandeur et de complication, à quel point cette forme régit cette matière: à quel point la tectonique en acte, ou d'un mot la *déformation,* peut régler et déterminer l'histoire stratigraphique, pétrographique et morphologique de vastes pays. La *tectonique en arrêt,* que je comparais, l'instant d'avant, à une anatomie, fait connaître les structures dans leur état présent, dans leur apparente immobilité. Moyennant certaines précautions de méthode, beaucoup plus délicates en pays de plis couchés, où l'on n'arrive à rien si l'on n'opère pas dans les *trois* dimensions de l'espace, que dans les nappes brisantes, où trop d'auteurs travaillent comme s'il n'y en avait qu'une ou deux; moyennant, dis-je, les sûretés indispensables, on passe de la tectonique en arrêt, point de départ obligé, à cette *tectonique en mouvement* qui peut bien, pour se parfaire, utiliser des données empruntées à la stratigraphie, à la pétrographie et à la morphologie, mais qui, une fois constituée, encadre, ordonne,

explique tout ce qu'il y a d'un peu grand dans ces trois ordres de choses. Car si vous êtes remontés, des faits observés, à la vision juste du mouvement qui mène tout, vous savez où situer le fait nouveau qui va se présenter; les lacunes mêmes de cette histoire auront leur valeur; c'est là que naissent des problèmes qui, sans cela, ne seraient même pas soupçonnés et dont la solution amorce de nouvelles questions. Qu'on n'attende point ici l'exposé des méthodes de diagnose et d'interprétation qu'il a fallu, presque à chaque pas fait dans ces recherches, inventer ou perfectionner; il y aurait, sur ce point, tout un livre à faire. Qu'on me permette encore le silence sur l'art de balancer, les uns par les autres, les points de vue multiples qui doivent concourir à expliquer telle situation donnée; à dénouer tel écheveau de problèmes; et puissé-je passer, sans appuyer, sur les raffinements critiques qui s'imposent et qu'il ne faut ni négliger ni exagérer, de peur de voir faux ou de tuer l'invention.

Pour soutenir ces desseins, ce n'était point assez d'avoir, jusqu'en 1907, parcouru tant de vallées suisses ou piémontaises, du Simplon à la mer; d'avoir levé, en itinéraires de reconnaissances tectoniques, tant de sites lointains; d'avoir connu, dès sa publication en 1908, l'inestimable document moderne qu'est la Carte géologique des Alpes Occidentales italiennes, au quatre-cent millième, bientôt suivie des premières feuilles alpines, au cent-millième, de la Carte géologique d'Italie, œuvre distinguée des maîtres du R. Ufficio Geologico; ce n'était pas assez, non plus, de la bonne vieille carte de Gerlach, si solide, dans ses grandes lignes, qu'elle nous avait servi, auparavant, à la position et à la solution du problème des nappes, mais qui était loin de répondre, par ailleurs, aux exigences tenues pour normales en 1905 et à toutes celles qu'il nous convenait d'y ajouter; ce n'était point assez, enfin, de la découverte même des nappes: il fallait, et tout d'abord en des régions choisies pour leur rendement en résultats tectoniques, la vérification précise, l'observation des faits inaperçus des vieux explorateurs, en un mot le levé géologique détaillé, acheminement nécessaire à la solution monographique, et non plus seulement générale, des problèmes. Commencé en 1905, patronné depuis 1908 par votre Commission géologique, le levé détaillé du versant suisse des Alpes Pennines, au cinquante-millième, est en cours d'exécution; une première tranche, la Carte géologique du massif de la Dent-Blanche,

a paru en 1908 et donne toutes les hautes montagnes des vallées d'Arolla, de Ferpècle, de Moiry, d'Anniviers, de Turtmann et de Saint-Nicolas à Zermatt, sur la rive gauche de la Viège. Les levés de la rive droite, qui comprend, elle aussi, tant de hauts sommets, sont à peu près terminés. Par ailleurs, de grandes surfaces sont levées dans le Valais occidental et dans les Alpes Pennines septentrionales, auprès du Rhône.

Deux sont les séries stratigraphiques dont l'enroulement, en vastes boucles empilées, a donné les six nappes penniques. La série ancienne, d'âge paléozoïque et éotriasique, forme les noyaux des anticlinaux: on l'appelle série pennique inférieure ou encore, d'après le cachet pétrographique qui y prévaut, série des gneiss, au sens large. Le fond sédimentaire de cette série est de paragneiss, parfois associés à des micaschistes, à des quartzites et beaucoup plus rarement à des marbres; des roches basiques modifiées, amphibolites et prasinites, quelquefois même des dérivés ultrabasiques — serpentines, chloritoschistes, talcschistes — s'y intercalent en nombre de régions. Les niveaux attestés dans cet ensemble sont de haut en bas le Werfénien, le Permien, le Carbonifère supérieur, le Carbonifère moyen, et la série se poursuit, vers le bas, dans des niveaux paléozoïques anciens qu'il est impossible de dater plus exactement. A ces divers horizons s'attachent fréquemment, mais non toujours, des faciès particuliers, ou des associations de faciès: pour le Werfénien, quartzites compactes de couleur claire; pour le Permien, quartzites phylliteux, et ailleurs argiles et conglomérats diversement colorés, en rouge quelquefois; pour le Carbonifère, schistes argileux, passant à des paragneiss; grès et conglomérats passant à des quartzites pigmentés: ces niveaux, quand ils se présentent avec des caractères lithologiques nets, forment ce qu'on appelle le type différencié de la série pennique inférieure; autrement le complexe indivis des paragneiss et roches associées règne sur toute la hauteur et l'on a le type compréhensif de la même série: ces deux types peuvent d'ailleurs passer l'un à l'autre latéralement et dans le sens vertical. Des granites d'âge paléozoïque supérieur, appartenant au cycle orogénique hercynien, ont été mis en place dans cette série sans atteindre jamais, cependant, ni par eux-mêmes, ni par leurs aplites, ni par leurs zones d'injection ou d'imbibition, des niveaux incontestablement werféniens.

La majeure partie des granites et des aplites est d'ailleurs laminée et recristallisée en orthogneiss, par le jeu du métamorphisme régional alpin. Ces orthogneiss, avec restes plus ou moins épargnés, jamais intacts cependant, de granite et d'aplite, se logent, à l'ordinaire, au cœur des plus grands anticlinaux: ce sont des têtes laminées, fréquemment redoublées ou multipliées par digitations tectoniques, de batholites fort maltraités et souvent tournés à l'envers, de manière à poser sur les schistes qui leur servaient jadis de calotte.

Dans la nappe la plus élevée, celle de la Dent-Blanche, l'art du tectonicien, attentif à remplacer les fossiles absents par l'observation et le déroulement des charnières, est parvenu à subdiviser stratigraphiquement la série pennique inférieure en deux complexes: un ensemble supérieur dit série d'Arolla et un ensemble inférieur, la série de Valpelline.

La série plus récente, d'âge mésotriasique, néotriasique et liasique, remplit les synclinaux: on l'appelle série pennique supérieure ou encore, d'après son faciès le plus répandu, série des schistes lustrés, au sens large. Elle est faite, pour l'essentiel, de calcschistes associés à des calcaires cristallins et parfois, en rapport intime, à des quartzites feuilletés, à des micaschistes et à des paragneiss mésozoïques. Le Trias moyen y est, suivant les points, à l'état de marbres et de calcaires dolomitiques, de dolomies, de gypse; le Trias supérieur, de calcaires dolomitiques, et plus souvent de schistes versicolores que le métamorphisme transforme en phyllades mous, séricitiques; le Lias, de calcaires et de schistes associés, par places, à des brèches à éléments triasiques ou à des quartzites, et je passe beaucoup de choses. Quand ces faciès constituent des niveaux nettement superposés, on a le type différencié de la série pennique supérieure; autrement les schistes lustrés règnent, monotones, sur toute la hauteur: c'est le type compréhensif. Des venues éruptives basiques et ultrabasiques s'insinuent dans cette série qui est, pour l'essentiel, une série marine; ces venues sont tantôt profondes et dans ce cas soulignées au toit et au mur — sauf effacement dû à un métamorphisme régional postérieur — par des actions de contact; tantôt effusives, ce que marquent des passages lithologiques très ménagés entre dérivés sédimentaires et dérivés éruptifs.

Les neuf dixièmes au moins du matériel de la zone pennique, dans les deux séries, ont subi un métamorphisme régional plus ou

moins profond, qui présente des phases périodiques rattachables aux changements de site bathymétrique dûs à la mise en place des nappes. Il est plutôt rare, dans la zone pennique, qu'un corps éruptif ait conservé quelque chose de sa forme originelle; quelle qu'ait pu être cette forme, la plupart de ces appareils sont laminés et surtout étalés en galettes aplaties ou tronçonnés en lentilles d'étirement: on en peut dire autant de leurs contacts, de leurs auréoles d'injection et d'imbibition, et des sédiments encaissants, au près et au loin. Les structures et les minéraux primitifs, résiduels, sans être précisément rares, demeurent subordonnés en grand. Les argiles sont transformées en paragneiss; les grès en quartzites; les calcaires en marbres; les marnes en calcschistes micacés; les granites et les aplites, en orthogneiss; les gabbros, les diabases, les porphyrites, en prasinites et en amphibolites très variées; les roches ultrabasiques, en serpentines, en talcschistes, en chloritoschistes, en amphibolites, et ainsi de suite. Seuls les fronts des nappes les plus avancées vers le nord (Grand-Saint-Bernard et Dent-Blanche) ont échappé en quelque mesure au métamorphisme régional.

La série pennique supérieure est couronnée, en certaines régions, par des niveaux différenciés d'âge mésojurassique, néojurassique, crétacé, nummulitique; leur intérêt est grand, puisqu'ils témoignent de l'histoire de la zone pennique pendant ces périodes, mais on ne les a pas encore rencontrés dans ce Valais sur lequel doit, pour l'heure, se concentrer notre attention.

Les nappes penniques inférieures, qu'on numérote de I à III, dans l'ordre ascendant, n'affleurent pas dans la région de Zermatt; elle y existent cependant, cachées à de grandes profondeurs. Visibles au jour dans la région du Simplon, elles y atteignent une épaisseur mesurable d'environ 5 kilomètres. Ce chiffre est un minimum, l'érosion n'ayant pas encore entamé la partie basse du complexe. La mieux étalée des nappes de ce groupe atteint dans la même région une amplitude de 30 kilomètres.

Les nappes penniques supérieures, avons-nous dit, sont trois: nappes du Grand-Saint-Bernard (IV), du Mont-Rose (V) et de la Dent-Blanche (VI). Les dimensions de ces nappes sont toujours considérables, surtout par le travers des Alpes Pennines où elles arrivent à leur expression la plus complète et où leur masse, comparée au reste du corps alpin, est véritablement immense. Cette

prépondérance tient aux épaisseurs des nappes plus qu'à leurs amplitudes. Nous avons pour les nappes IV, V et VI, dans l'ordre, 95, 20 et 45 kilomètres d'amplitude et 10, 8, 6 kilomètres d'épaisseur moyenne. La seule nappe IV atteint, dans des pays entiers, l'épaisseur énorme de 15 kilomètres. Les deux chiffres donnés pour la nappe VI sont d'ailleurs des minima, l'érosion ayant enlevé, dans la Suisse occidentale, les fronts extrêmes et les parties hautes de ce vaste pli couché.

En volume, les nappes penniques forment les neuf dixièmes des Alpes Occidentales: elles s'y révèlent comme la véritable affaire et les mouvements de cette masse formidable ont déterminé, dans le dernier dixième, presque tous les événements tectoniques de caractère un peu général. De ces neuf dixièmes huit appartiennent aux nappes penniques supérieures, un aux nappes penniques inférieures; le dernier dixième représente les nappes helvétiques, les nappes préalpines et la série autochtone.

Le flux des grands plis couchés penniques, en ses remous profonds, roulait donc 20 à 30 kilomètres de nappes empilées. Tel est, dans le sens vertical, l'ordre de grandeur de l'objet, et encore ne s'agit-il que de sa partie *visible*, seule connue directement parce que seule mise à jour par l'érosion. 20 à 30 kilomètres, telle est encore la profondeur à laquelle, en mainte région pennique, nous posons le diagnostic des structures enfouies et dessinons, avec un certain degré d'approximation, des plis couchés: telle est aussi l'épaisseur de nappes, aujourd'hui détruites par l'érosion, que nous sommes fondés à restituer au-dessus de certains territoires, du Tessin notamment. Voilà donc l'espace tectonique jaugé sur 40 à 60 kilomètres de hauteur.

Mais d'où vient, direz-vous, que vous *voyez* des empilements de vingt à trente kilomètres dans des montagnes qui n'atteignent nulle part cinq mille mètres d'altitude? Celà vient, très simplement en principe, de ce que les piles de nappes ne posent pas à plat, mais sont inclinées; dès lors leurs tranches viennent affleurer, sous des angles divers, à la surface topographique que l'érosion a découpé dans la masse; on peut donc voir ces tranches, les dénombrer, les mesurer, mais on ne saurait s'en tenir là. Précisons: un pli couché avec ses boucles emboîtées, ou encore un faisceau de plis couchés qui multiplie ce dispositif est comparable, en première approximation, à une famille de surfaces cylindriques; il y a donc,

dans l'espace qu'occupent ces objets, une direction privilégiée qui est celle des génératrices; c'est ce qu'on appelle, en tectonique, la direction axiale. Un faisceau de cylindres emboîtés, dans lequel l'érosion a fouillé à des kilomètres ou à des myriamètres de profondeur, voilà ce qu'est un pays de plis couchés; la surface topographique d'aujourd'hui est la profondeur tectonique d'autrefois; c'est pourquoi vous *voyez* au jour, sans autres voiles que des dépôts superficiels heureusement discontinus, cette profondeur même. Allons plus loin: discernons ce qui arrive selon que les cylindres, couchés très à plat, ont leurs génératrices horizontales ou selon que la direction axiale est inclinée. Dans le premier cas il sera impossible, évidemment, de déceler une tranche de nappes plus épaisse que la hauteur des versants. Mais que les génératrices s'inclinent, et voici qu'émergent obliquement, au jour, par le jeu des intersections entre les surfaces cylindriques et la surface topographique, des faisceaux entiers de plis couchés, avec d'immenses épaisseurs, bien supérieures aux différences d'altitude que présente le territoire. Un observateur placé à une très grande distance dans le prolongement montant, aérien, des génératrices, non seulement *découvrirait* les nappes, mais verrait leurs vraies formes, leurs vraies amplitudes, leurs vraies épaisseurs, leur vrai agencement intérieur dessiné par les charnières, leurs vrais rapports; en un mot, leur vraie coupe transversale. Tous les rayons visuels se confondant, pour lui, avec les génératrices des grands plis couchés, il percevrait sans aucune déformation perspective tous les objets dans toutes leurs relations. L'art de découvrir les grands plis couchés, dans sa forme supérieure, est l'art de poser et de résoudre *avant toute construction,* par l'intuition directe de l'espace, ce problème de géométrie descriptive; l'art de les démontrer tient pour beaucoup dans la construction même; l'art d'y recréer le mouvement vient après. Je passe sur les moyens qui permettent, au moment de construire, de se rapprocher autant que possible de la condition idéale de notre observateur; disons seulement que ces constructions, dont un exemple est affiché sous vos yeux, ont le caractère d'une projection et non d'une perspective, et qu'elles réussissent d'autant mieux que les plis couchés réels diffèrent moins de cylindres géométriques.

Dans la plus grande partie des Alpes Pennines, les génératrices montent du sud-ouest au nord-est. Parcourez quelque itinéraire

en sens inverse, par exemple de Varzo ou de Gondo à Arolla par le Portjengrat, Almagel, Mattmark, le Schwarzenberg-Weisstor, Zermatt et le col d'Hérens; vous parviendrez, comme par un escalier de géants, dans des nappes de plus en plus hautes et vous aurez gravi les vingt à trente kilomètres de leur empilement. Au départ, dans le Val di Vedro, il manque au-dessus de vous, dans les airs, environ 25 kilomètres de matière exportée par l'érosion; il en manque de moins en moins à mesure de votre progrès vers l'occident. Cela ne veut pas dire, d'ailleurs, que les Alpes aient atteint de si grandes altitudes: les montées successives de la chaîne provoquaient, à chaque fois, une recrudescence de l'érosion et rien n'oblige à croire que les Alpes, à parler orographie, aient jamais été beaucoup plus hautes qu'aujourd'hui.

Les mouvements, préparés de loin, par lesquels s'est accomplie, aux temps oligocènes, la mise en place à peu près définitive des nappes, doivent nous retenir quelques instants. Il ne se prononcent pas dans l'ordre vertical des nappes, mais dans un ordre hérité de dispositions embryotectoniques que nous passons sous silence. La nappe IV arrive première sur les positions; la nappe VI suit; la nappe V continue le grand jeu. IV s'étale d'abord vers le nord en se digitant. VI fonce à son tour: la nappe IV en est labourée et prend, dans le Valais occidental, des plis en retour; ses digitations les plus élevées, puissamment laminées sous la nappe VI, deviennent ce qu'on appelle le faisceau vermiculaire. La nappe V, de tout temps en retard, trouve l'espace confiné, au nord par IV, en haut par la lourde surcharge de VI: une lutte monstrueuse s'engage dans la profondeur noire; IV, laminé sous V, est réduite de 10 à 1 kilomètre d'épaisseur par laminage; sa matière, ainsi délogée de vive force, reflue à l'arrière en un remous de 15 kilomètres d'épaisseur, avec 25 kilomètres d'amplitude rétrograde; ce remous, qui insinue IV entre V, au-dessous, et VI, au-dessus, comprend le vaste pli en retour dit de la Mischabel, qui présente la plus grande charnière couchée actuellement connue; il atteint une partie du faisceau vermiculaire dans lequel on discerne, dès lors, une branche rétrograde et une branche demeurée directe; il se propage vers le haut dans VI, qui en subit de nouvelles déformations. Cette lutte des nappes entre elles n'épuise pas leur énergie: l'excédent demeure immense et la masse profonde des plis couchés penniques, d'une poussée lente, tenace, inexorable, bouscule, casse

et surmonte le vieil obstacle, massifs du Finsteraarhorn et du Mont-Blanc, massifs de Gasteren et des Aiguilles-Rouges de Chamonix. A l'avant les nappes helvétiques elles-mêmes sont déclenchées, les nappes préalpines retransportées. Les Alpes entières émergent lentement des flots marins; cordillère massive, point disséquée hors les dômes culminants par où l'exondation a débuté; carapace gauchie des plus hautes nappes, qui dresse à perte de vue ses croupes monotones; tout n'est que larges ondulations. Je passe les événements secondaires et même tel phénomène de premier plan: tant de choses se décident à mesure que surgissent de l'horizon méridional, par vagues de plus en plus pressantes, les puissants renforts de l'armée pennique!

Que dirai-je? Le combat va s'apaiser: plusieurs fois encore il se rallume et mollit, en passes alternées, sans jamais atteindre à la lente violence d'un temps; encore un coup et nous sommes dans le présent: c'est presque le repos. La terre tremble parfois près du Rhône valaisan et cette ligne sismique se continue dans les deux sens, au long des Alpes Occidentales: c'est là, au bord frontal des nappes penniques, que s'effectue le décollement majeur entre les plis couchés qui avancent et le pays autochtone qui résiste; c'est là que viennent se résumer les petits mouvements horizontaux qui animent encore les nappes et qui continueront — jusque dans quel avenir? — les jeux d'autrefois. La tectonique l'annonçait il y a sept ans[1]; la sismologie, vient de vous dire M. de Quervain, est bien de cet avis, et la rencontre est bonne. L'histoire d'une grande chaîne de montagnes n'est rien autre, à tout prendre, que le jeu constamment renouvelé de ses plis; et chaque reprise de l'effort, par quoi les boucles s'enroulent, se manifeste aussi par des ondes sismiques qui se propagent au loin. La forme des objets tectoniques montre clairement, au surplus, que le foyer d'un ébranlement déterminé ne saurait être un point, ni même en principe une surface; c'est toujours, originairement, une région de l'espace: le volume entier des nappes, par exemple, ou tel volume particulier pris dans celui-là; les surfaces de décollement ou de charriage, quand il y en a, dépendent génétiquement de la déformation en volume, qui est l'acte primitif, et peuvent tout au plus contribuer à produire des localisations dy-

[1] Eclogae Geol. Helv., vol. XIV, n° 1, 1916, p. 184.

namiques secondaires. Les causes locales qu'on a parfois invoquées pour expliquer ces tremblements de terre intra-alpins — jeux de failles ou dissolution de gypses provoquant des éboulements souterrains — sont impuissantes à rendre compte de la localisation précise, nettement tectonique, des sismes, et M. de Quervain l'a bien vu. C'est la vérité même; je puis bien ajouter, en tectonicien, que ces failles inventées tout exprès ne sauraient jouer, puisqu'elles n'existent pas, et que ces bons gypses valaisans ne sont point tant remuants.

Ai-je assez évoqué, au long de cette conférence, le prestigieux ensemble de mouvements et de structures qu'il nous faut maintenant illustrer par un grand exemple local, la géologie des environs de Zermatt? J'en ai assez dit, peut-être, pour qu'un cadre s'offre de lui-même aux détails qui viennent; aussi bien peu de mots sont-ils nécessaires, désormais, pour situer ces choses dans le tout. Zermatt, favorisé à tant d'égards, l'est encore dans ce haut domaine de la géologie pure, et dans le reste des Alpes Occidentales, des Grisons à la Méditerranée, il n'est pas d'autre région où se puissent embrasser, d'un coup d'œil et avec cette clarté, les relations les plus compliquées des trois nappes penniques supérieures.

Voici, par l'échancrure nord de la vallée, le Bietschhorn qui est de l'obstacle hercynien. Plus près, c'est la nappe du Grand-Saint-Bernard: les orthogneiss de Randa, continués dans les Mischabelhörner, en marquent le cœur; un épais manteau de paragneiss les entoure et s'enroule dans la grande charnière en retour dite de la Mischabel, dont le quadrant supérieur, sur la rive gauche de la Viège, descend en une courbe simple, puissante, du Mettelhorn au thalweg; le quadrant inférieur, taillé en un curieux biseau d'intersections sur la rive droite, s'aligne par l'arête nord du Bösentrift, l'Obere Täschalp, le Rothengrat et l'Alphubeljoch, où il passe dans la vallée de Saas. De l'Alphubeljoch à Stalden, tout le groupe de la Mischabel appartient à cette nappe IV. C'est à l'Obere Täschalp que le faisceau vermiculaire rétrograde s'implante sur la masse principale de la nappe IV; de là, voyez-le courir, divisé en une douzaine de paquets anticlinaux fort laminés et cependant pourvus de charnières, au travers de l'arête Bösentrift-Ober Rothorn-Schwarzgrat, et dans l'Unter Rothorn; le voici encore, très simplifié, au tunnel de l'Egg où il a déjà franchi la Viège; c'est lui, toujours, qui paraît à l'entrée du ravin du Trift; qui s'accroche à la base

des parois qui dominent Herbriggen, Hubel et Z'Mutt; qui réapparaît au Hörnli, à la base du Furggrat et au Theodulhorn; au-delà, il chemine en Italie, recouvre toute la nappe du Mont-Rose, se réfléchit vers le haut, dans le synclinal d'Alagna entre les nappes V et VI, et devient le faisceau vermiculaire direct qui repart vers le nord et rentre en Suisse, par le Furggjoch notamment; il s'allonge par l'arête du Hörnli au-dessus du point 2945, par Arben, le Hühnerknubel, Triftkummen et les abords du Biesjoch (point 3724), traverse encore les vallées de Tourtemagne, d'Anniviers et de Moiry, pour se terminer aux abords d'Evolène. A la nappe IV encore, les vastes enveloppes de schistes lustrés et de roches vertes qui emballent ce double faisceau et se renversent au sud-est sur la couverture mésozoïque de la nappe V. A elle toujours, ces longs plis couchés, rétrogrades, du Trias du Kühberg et des Plattenhörner, ce dernier avec une belle charnière.

Voici la nappe du Mont-Rose, et d'abord son noyau anticlinal, qui tend l'horizon du Schwarzenberg-Weisstor au Zwillingspass: à lui en entier le Mont-Rose, le Lyskamm, le Castor et le bloc Stockhorn-Hohthäligrat entre les glaciers du Gorner et de Findelen. Le cœur d'orthogneiss forme presque tout le Mont-Rose et apparaît à la base du Lyskamm; les hauts de la Dufourspitze et du Lyskamm, le Castor tout entier et le bloc Stockhorn-Hohthäligrat appartiennent au manteau externe de paragneiss, souvent pénétré d'injections et d'imbibitions acides. Les horizons supérieurs de ce manteau, où apparaissent les quartzites werféniens, se compliquent étroitement, en compagnie de dolomies mésotriasiques et de schistes lustrés de la couverture, en un faisceau de digitations supérieures de la nappe V, qui est particulièrement net immédiatement à l'est du Gornergrat, au Hohthäligrat et au Stockhorn, versant sud, ainsi qu'au Rizzengrat, au sud du Grünsee. Il se marque, dans cette région, par au moins sept anticlinaux couchés, empilés et plongeants.

Voici la couverture mésozoïque de la nappe V: ruban de schistes lustrés d'abord, courant du Zwillingspass au Schwarzenberg-Weisstor et qui passe exactement au sommet du Gornergrat; sur cette assise peu épaisse vient une puissante masse de roches vertes — gabbros, prasinites, amphibolites avec éclogites subordonnées, serpentines, chloritoschistes — divisée par de minces planchers de calcschistes où se rencontrent des lames de jeunes paragneiss: voilà ce qui forme le Pollux, le Breithorn, le Klein-Matterhorn, la base

du Theodulhorn, les Lychenbretter, les pentes autour du Lac Noir et dans le Staffelwald, et celles de Z'Mutt, de Hubel, de Herbriggen, de Bodmen, et les rochers qui affleurent dans Zermatt, et la conque de Platten, Aroleit, Furri avec les gorges du Gorner, et le Riffelberg tout entier, et le Strahlhorn, et le Rimpfischhorn, et l'Allalinhorn; je laisse de côté, naturellement, la distribution des types pétrographiques dans les diverses localités de ce territoire.

Au Brunnegghorn et au Biesjoch, voici une série triasique et jurassique qui se poursuit à mi-hauteur du Weisshorn: immédiatement au-dessus, c'est la nappe de la Dent-Blanche, dont le contact inférieur se poursuit par Triftkummen, le Hühnerknubel, Arben, pour faire ensuite le tour de la pyramide du Cervin et passer en Italie au Furggjoch. Dans ce contact ou mieux dans cette zone de passage graduel s'insinue, presque partout, un filon-couche de gabbros habituellement prasinitisés: sa mise en place, qui paraît avoir commencé avec le jeu même de la nappe et s'être prolongée très tard, se termine pourtant avant les derniers mouvements paroxysmaux et s'accompagne de poussées laccolitiques de la même roche, forcée vers le haut dans la nappe même : masses gabbroïques de la base du Cervin, du Stockje, du Schönbühl, de l'Unter Gabelhorn, de la Blaufluh, du Schallijoch, des deux Mont-Collon et du Mont-Miné.

A la nappe VI donc, le Cervin, la Dent d'Hérens, la Dent-Blanche, les Gabelhörner, le Rothorn de Zinal, le Weisshorn, le Bieshorn. Dans la pyramide dernière du Cervin, au-dessus de l'Epaule, et à la Dent d'Hérens, et à la Tête de Valpelline, et au Stockje, et au Schönbühl, et sous le Hohwänghorn, la série de Valpelline, patinée de rouge, se plante en anticlinaux plongeants, souvent pourvus de charnières, dans la série d'Arolla qui enregistre et souligne, élargies en boucles immenses, les formes de ces remous. Voilà, ramassé en peu de mots, ce qu'est cette nappe de la Dent-Blanche, couronnement suprême de l'édifice pennique. Je passe la stratigraphie comme la pétrographie de ce grand pli couché; et d'ailleurs mon tour d'horizon, pour ainsi parler à la vue de tant de nuages, est bouclé.

Je m'arrête: vous avez eu l'ensemble avant les détails, et c'est peut-être la vraie manière de présenter un tel objet: les vues générales qui ouvraient mon discours pourraient en être la conclusion. Et voici que ce conte, auquel a manqué l'éblouissante vision de la nature, s'achève par une ironie des choses devant vingt cimes de quatre mille mètres alignées sur le papier.