

Zeitschrift: Actes de la Société jurassienne d'émulation
Herausgeber: Société jurassienne d'émulation
Band: 13 (1906)

Artikel: Les dislocations orogéniques des Alpes
Autor: Rollier, Louis
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-684749>

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: 04.03.2026

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

Les dislocations orogéniques des Alpes

par le

DR LOUIS ROLLIER

professeur agrégé au Polytechnicum et à l'Université de Zurich

Introduction

Pour le géologue familiarisé avec la structure de notre Jura, les Alpes présentent de prime abord une masse de montagne d'autant plus indéchiffrable qu'elles sont le plus souvent inaccessibles. Dans le Jura chaque pli du sol forme ordinairement une chaîne montagneuse plus ou moins découpée par l'érosion, mais dont la structure en voûte se reconnaît à chaque pas. Chaque pli du sol est normalement limité par des vallons synclinaux et forme à lui seul une montagne bien définie. Chaque anticlinal est pour ainsi dire individualisé. Une montagne du Jura est dans la règle une voussure unique, qui peut confluer avec ses voisines, mais qui n'en reste pas moins indépendante. Le pli peut quelquefois se déverser du côté suisse ou du côté français, il peut avoir produit un chevauchement plus ou moins manifeste sur les terrains tertiaires des synclinaux, mais jamais on ne voit les plis du sol se recoquiller ou s'empiler les uns sur les autres pour produire les masses rocheuses compliquées que l'on observe dans les Alpes. Grâce à ce caractère de simplicité de nos chaînes jurassiennes, grâce à leur état peu avancé d'ablation ou de déchiquetage par l'érosion, on arrive à reconstituer le plus souvent du premier coup

d'œil les plis du sol qu'elles représentent. Ce caractère juvénile ne leur permet pas de rivaliser avec leurs aînées aux formes plus hardies, d'un intérieur beaucoup plus compliqué et plus difficile.

Mais les montagnes du Jura sont devenues depuis longtemps l'école de la géologie; chaque découverte, chaque conquête géologique faite par la science sur notre sol jurassien depuis Jules Thurmann a servi de flambeau pour éclairer d'un jour nouveau la structure intérieure ou la tectonique de la chaîne des Alpes. Longtemps on n'a voulu voir dans les profils géologiques dressés dans les Alpes que des plis continus reproduisant d'une façon plus irrégulière et plus énergique les voûtes et les synclinaux du Jura. Puis quand les dislocations orientées soit perpendiculairement, soit longitudinalement aux plis ont été reconnues dans nos montagnes, les mêmes accidents se sont retrouvés aussi dans les Alpes. La science a suivi en cela une marche bien naturelle du simple au compliqué. Mais pour quelle raison les savants arrivent-ils à concevoir plus lentement et plus difficilement la structure de l'écorce terrestre dans la chaîne alpine que partout ailleurs? Pourquoi la géologie des Alpes a-t-elle été jusqu'à ce jour en retard sur celle des régions moins disloquées et des montagnes environnantes? La raison en est-elle uniquement attribuable au degré de complication tectonique que l'on reconnaît de plus en plus dans les Alpes? Non pas uniquement, non plus qu'aux difficultés rencontrées par les géologues dans leurs ascensions des régions élevées. Il n'y a plus de sommets vierges dans les Alpes et le flot des touristes de toute classe et de toute spécialité scientifique, qui envahit chaque saison la haute montagne, ne permet plus de croire à l'existence de territoires vierges de toute exploration ni de recoins inconnus pour la géologie alpine. Et cependant il y a encore de nombreux problèmes à résoudre, des investigations multiples à poursuivre dans les Alpes. D'où provient donc le manque de

clarté, l'hésitation relative à la structure géologique de ces montagnes, sur lesquelles on a écrit tant de conjectures diverses? La seule cause à prendre en considération est le manque d'études stratigraphiques et pétrographiques détaillées sur les roches alpines, en particulier sur les sédiments alpins. Partout ailleurs où des recherches géologiques ont été faites depuis qu'on sait distinguer des étages et des faunes géologiques, on n'hésite pas un instant sur le classement ou la détermination de n'importe quel fragment de roche, sur son extension et sa position dans le sol.

Dans les Alpes, les sédiments sont dans un état de déformation, souvent aussi dans un état de métamorphisme qui travestissent leur âge et leur position géologique. Le manque de fossiles n'est pas toujours la règle dans les Alpes, mais leur état de conservation, d'adhérence et de déformation dans la roche est souvent tel qu'on n'arrive pas toujours à leur détermination sûre. Il faut ajouter à cela les contrastes peu fréquents dans les matériaux sédimentaires, l'état peu avancé de leur désagrégation, les analogies pétrographiques dans les étages du même terrain. Quand la compression des roches et le métamorphisme ont fait disparaître les lignes de stratification, quand les dislocations ont créé un système de clivage facile à confondre avec des joints sédimentaires, les difficultés d'observation augmentent, la structure des roches devient plus problématique encore.

Mais les roches alpines ont une structure microscopique beaucoup mieux définie que celles du Jura par exemple; la fréquence des foraminifères, des débris organiques très divers, permet de les déterminer le plus souvent en lames minces. De là l'emploi nécessaire du microscope dans des massifs où l'uniformité des caractères extérieurs ne permet pas de reconnaître du premier coup d'œil la position, la nature et l'âge des strates. Il reste beaucoup à faire encore dans les Alpes et

surtout dans les terrains de sédiment pour pouvoir donner sûrement la caractéristique microscopique des roches de chaque étage.¹⁾ Il y a par exemple des roches tertiaires à petites nummulines ou à corallines (lithothamnies) qui ne révèlent leur âge qu'au microscope et qui ont été prises pour de l'Albien ou du Néocomien sur leur aspect extérieur. La structure géologique ou les plis et les dislocations des Alpes calcaires ne peuvent donc être dévoilés qu'avec des recherches minutieuses et n'apparaissent que lorsque les masses rocheuses ont été examinées beaucoup plus profondément que cela n'est nécessaire ailleurs. On n'a fait jusqu'ici ces recherches que très imparfaitement dans les Alpes, et la carte géologique de la Suisse n'indique que d'une façon très sommaire la nature et l'âge du terrain avec beaucoup d'erreurs grossières, une foule de détails à corriger. Sauf quelques exceptions heureuses, l'on ne peut donc pas construire des profils géologiques tant soit peu voisins de la réalité au moyen des feuilles de l'Atlas fédéral géologique au 1 : 100 000. Les efforts des géologues qui travaillent actuellement à faire des relevés exacts dans différentes régions des Alpes sont beaucoup plus sérieux qu'autrefois. Il faut toutefois reconnaître que les grands traits de la stratigraphie alpine nous sont actuellement connus par de nombreux travaux à partir de ceux de B. Studer et d'A. Escher de la Linth. On n'a guère découvert depuis leurs recherches que quelques parcelles de terrains nouveaux qui leur étaient demeurées inconnues ou qu'ils n'avaient pas su déterminer, par exemple les rochers des Mythen et les autres montagnes appelées faussement „Klippen“ ou écueils depuis lors.

¹⁾ Un bon pas en avant vient d'être fait par M. G. Escher-Hess de Zurich, qui a publié deux brochures sur les caractères microscopiques des roches secondaires et des galets tertiaires de la Suisse orientale et du Vorarlberg.

Question des „Klippen“

La structure géologique des montagnes dépend absolument de l'âge ou de la superposition des terrains et des couches, de sorte que les profils sont justes ou faux suivant que la série stratigraphique des étages a été établie d'une façon définitive et correcte, ou qu'il existe encore des incertitudes sur l'âge de telle ou telle roche. Tel fut longtemps le cas pour ces roches problématiques des environs d'Yberg, désignées par Escher sous le nom d'Ybergerkalk et classées avec doute dans l'Eocène, parce qu'elles reposent sur le Crétacique ou même sur le Nummulitique, tandis que des recherches plus récentes les ont classées dans le Trias. En admettant cette dernière conclusion comme définitive, les roches en question sont absolument déplacées de leur gisement primitif et leur position anormale fait naître le problème suivant : Quelles dislocations singulières et formidables ces montagnes ont-elles subies pour arriver à reposer sur un soubassement aussi jeune ? Il faut ajouter toutefois que l'âge stratigraphique de ces roches dites d'Yberg n'est pas indubitablement ni absolument fixé par la trouvaille de fossiles triasiques comme des Céphalopodes, dont l'âge soit indiscutable, mais seulement par des espèces d'algues calcaires appelées Gyroporelles, quelques débris de mollusques peu caractéristiques et un petit brachiopode à bras spiraux dont on ne connaît guère l'espèce analogue à celle de la Zweekenalp et de la Jänzimmatt (*Retzia trigonella*) que dans les dolomies triasiques ou conchyliennes du Tyrol méridional. Si l'on parvenait à démontrer dans des régions non disloquées, la présence des gyroporelles¹⁾ et du brachiopode cités dans des calcaires jurassiques par exemple, l'âge des calcaires d'Yberg serait

¹⁾ M. Kilian a trouvé des gyroporelles entre autres dans le Malm de la haute vallée de l'Ubaye (Costebelle). Voir Bull. Soc. géol. de France, 4^e série, t. 2, p. 358.

remis en question. Néanmoins le problème des „Klippen“ d'Yberg subsiste tout comme pour les Mythen, le Buochserhorn, le Stanzerhorn etc., qui sont constitués par des roches jurassiques et crétaciques absolument bien déterminées, fossilifères, avec des Céphalopodes, et qui s'enfoncent comme de vastes coins dans les schistes oligocènes appelés Flysch. Pour ces môles singuliers, les dislocations les plus hétérogènes ont été imaginées.¹⁾ C'est le problème qui préoccupe actuellement le plus les géologues et de nombreuses publications ont paru ces dernières années sur la structure et l'histoire géologique de nos Alpes à propos des „Klippen“ et des blocs de roches dites „exotiques“ incluses dans le Flysch.

Pourquoi la question a été abordée

Il peut paraître téméraire de ma part de venir prendre parti dans un débat qui exige des études patientes et minutieuses sur le terrain, ainsi qu'une expérience que je ne possède nullement des recherches géologiques dans les Alpes. J'ai parcouru il est vrai plusieurs régions des Alpes, sans avoir étudié en détail aucun territoire un peu étendu de cette chaîne. J'ai des observations isolées sur des points très-controversés de la tectonique et de la stratigraphie des Alpes et je me suis abstenu de les publier jusqu'ici. Un certain nombre de ces observations ont du reste été refaites et publiées par d'autres depuis lors (régions de Schwytz, d'Einsiedeln, de Weesen, du Klausen, etc.). Je me suis appliqué surtout à vérifier sur place diverses observations publiées à partir du moment déjà lointain, hélas, où notre regretté Dr E. de Fellenberg me faisait voir son champ d'excursions au S. du massif de l'Aar. Puis j'ai reçu pour le compte de l'entreprise de la

¹⁾ Voir le résumé de ces explications dans la dissertation inaugurale du Dr Em. Hugli: Die Klippenregion von Giswyl (N. Denkschr. Schweiz. nat. Gesell. 1900), p. 2-9, avec les citations bibliographiques.

percée des Alpes bernoises le mandat de vérifier avec M. le Dr Em. Hugli de Berne le profil des experts du gouvernement de notre canton concernant le projet de tunnel du Lötschberg. Mais il ne peut être ici question de la tectonique de cette région des Alpes que d'une manière générale, d'après ce qui a été publié jusqu'ici sur le massif de l'Aar. Pour les Alpes orientales suisses, je ne puis rien ajouter à ce qui a été publié par mon honoré maître M. le professeur Dr Alb. Heim et par nos élèves et m'en tiens à la partie positive des profils, cartes et textes publiés par eux, ainsi qu'aux ouvrages antérieurs.

Je dois ajouter à ce propos que j'ai le regret de partager une tout autre manière de voir que mon maître et nos élèves pour la partie théorique des dislocations alpines que nous allons aborder. Mais je m'incline devant la somme de travail et d'observations exactes et laborieuses qu'ils ont livrée et n'ai qu'un vœu à formuler, c'est que de nos discussions inévitables puisse jaillir une lumière vive et profitable aux progrès de la science que nous cultivons ensemble avec amour et reconnaissance. C'est bien la raison pour laquelle je me suis décidé à traiter un sujet qui est à l'ordre du jour et qui a été abordé par de plus expérimentés tout comme par de plus novices que moi. Mais bien que mes opinions soient destinées à soulever de nombreuses protestations, je ne compte pas entamer ici une polémique de personnalités, mais bien exposer d'une manière générale un sujet de nature à intéresser non seulement les géologues, mais aussi toutes les personnes qui réfléchissent aux origines de nos montagnes. Le point de vue auquel nous nous plaçons sera en somme très général et accessible à toutes les personnes instruites. On a parlé ces derniers temps du „charriage“ ou déplacement des montagnes. Les bornes de notre pays, que nous sommes habitués à voir stables et reposer sur de larges assises de granite, auraient changé de place à travers les âges. Il vaut bien

la peine de voir de quelle façon la géologie a le droit d'accréditer la croyance au transport aussi bien qu'à l'exultation des montagnes.

On pourrait aussi me demander pourquoi je suis venu prendre part à un débat géologique qui se vide actuellement dans les journaux et revues scientifiques en écrivant un article sur les dislocations alpines dans une publication aussi peu spéciale que les *Actes de la Société Jurassienne d'Emulation*. Ici je dois dire que j'ai été très-heureux d'accepter l'hospitalité dans un recueil qui ne m'est pas moins sympathique que les autres, parce que les Jurassiens bernois doivent continuer à marcher sur les traces de leurs devanciers. Les Actes de notre Société ne renferment-ils pas de nombreux articles qui ont fait considérer le Jura comme une terre classique en géologie? Nous sommes loin assurément de la théorie des soulèvements formulée par J. Thurmann et popularisée par son émule Amand Gressly. Toutefois la géologie orogénique peut bien honorablement reporter ses souvenirs sur notre Jura et ne saurait méconnaître les lumières qu'elle en a reçues.

Théories orogéniques

A partir de 1853 J. Thurmann¹⁾ abandonnait la théorie volcanique du soulèvement pour mettre ses observations d'accord avec les idées de Constant Prévost, apportées en Suisse par B. Studer qui cultivait des relations d'études avec les géologues parisiens. C'est à peu de modifications près le point de vue déjà exprimé par Buffon dans ses Tableaux de la nature. L'idée fondamentale en est le surgissement des montagnes par une contraction de l'écorce terrestre due au refroidissement du globe.

¹⁾ Voir le Compte-rendu de la réunion de Porrentruy de la Société helvétique des sciences naturelles dans les Actes (Verhandlungen) de cette Société, année 1853.

Une force tangentielle d'expansion se développe dans les continents en voie d'affaissement et se manifeste par le ridement ou le plissement des sédiments flexibles suivant certaines lignes de moindre résistance. La théorie du soulèvement des montagnes par des forces internes comparables aux poussées volcaniques avait été développée par les plutonistes à partir de l'Ecossais Hutton (1726-1797) et accréditée surtout par les derniers travaux du géologue berlinois Leopold von Buch, (1774-1852). Thurmann l'avait appliquée en 1832 aux plis du Jura et Gressly la développait en y ajoutant des phénomènes geysériens pour expliquer la formation du terrain sidérolitique et du minerai de fer éocène du Jura. Il voyait des cratères d'épanchement dans les combes liaso-keupriques et sur les bords des lacs éocènes de notre Jura. Bernard Studer (*Geologie der Schweiz*, vol. 1, p. 183) faisait intervenir des éruptions ou des poussées de masses cristallines, ramollies par la chaleur centrale, contre les sédiments alpins, pour expliquer le débordement des roches cristallines, sur les calcaires des Alpes (Jungfrau etc.). Il supposait qu'à l'époque tertiaire les gneiss et les granites des massifs de l'Aar, du Gothard, etc., étaient arrivés à l'état de fusion de l'intérieur du globe, selon la ligne de faite des Alpes, par suite des contractions de l'écorce terrestre, et qu'ils avaient enveloppé et refoulé les sédiments, en les ployant par pression latérale, de manière à produire les gigantesques contournements des roches calcaires qu'on observe dans les Alpes. Le professeur Ch. Lory de Grenoble combinait un jeu de failles verticales et horizontales pour expliquer les lames ou coins de calcaires jurassiques enfoncés dans les gneiss de la Jungfrau. Aujourd'hui M.M. Heim et Baltzer font remonter l'origine de ces pénétrations au dynamométamorphisme, c'est-à-dire à l'état plastique des roches solides sous l'effort du poids énorme produit par les masses superposées, en partie enlevées aujourd'hui par l'érosion, et sous

l'effort du mouvement orogénique ou du plissement de l'écorce terrestre par contraction. On ne s'est guère éloigné ces derniers temps de ces idées très-rationnelles et dont la raison d'être a été démontrée par l'expérience. (Déformation sans rupture de boules et de cylindres de marbre enfermés dans des gânes métalliques parfaitement ajustées aux corps à déformer par une compression lente). Chez tous les auteurs suisses qui se sont occupés de la formation des montagnes après B. Studer, surtout à partir d'A. Favre de Genève¹⁾ qui a expérimenté les effets de la contraction latérale sur des couches d'argile plus ou moins durcies, superposées et alternant à la manière des sédiments terrestres, on voit les progrès constants que fait la théorie du plissement des masses sédimentaires, calcaires, marnes, grès, etc. Par contre les dislocations, failles, chevauchements, etc. très étudiés en France et en Allemagne sont placés en seconde ligne chez nous, et même tout à fait négligés. En France, l'école actuelle a étudié les montagnes, surtout les Alpes françaises et les Pyrénées au point de vue combiné du plissement et des dislocations à partir de Ch. Lory. Il en est de même de l'école de M. Suess en Autriche. Pour M. Suess la direction du plissement est presque toujours indiquée par une poussée des masses ou des bassins sédimentaires vers les rivages ou vers les massifs de roches plus anciennes occasionnellement plissées déjà. Nous aurons lieu de faire quelques réserves à cette manière d'envisager la direction ou l'origine de la force tangentielle du plissement. Les failles obliques ou les chevauchements proprement dits attribués aux effets de la force tangentielle, par opposition aux failles verticales ou d'affaissement, sont apparus à la suite des

¹⁾ Voir Archives de Genève, 2^{me} pér. t. 62, p. 193-211, pl. 1-3, in-8°, Genève 1878; A. Daubrée sur le même sujet (Comptes-rendus Acad. des sc. 25 mars, 18 et 25 avril 1878, Paris); J. Schardt (Etudes géol. sur le Pays d'Enhaut vaudois, diss. inaug. p. 163, pl. 6-9 et Bullet. Soc. Vaud. sc. nat. vol. 20, 1884).

idées de M. Suess sur la poussée des masses sédimentaires vers les rivages. On les a confondus longtemps avec les failles proprement dites ou verticales. Les chevauchements jouent un certain rôle dans les profils géologique du Jura à partir des travaux de M. le professeur F. Mühlberg d'Aarau, puis ils ont été appliqués dans les Alpes par M. le prof. Rothpletz de Munich. Les décrochements horizontaux sont apparus les derniers dans nos études tectoniques suisses, bien que Rüttimeyer les eût déjà signalés pour expliquer par des fractures l'emplacement des cluses du Jura.¹⁾ Aujourd'hui l'existence des décrochements horizontaux est démontrée aussi bien dans les Alpes que dans le Jura. Le plissement des roches avec les diverses dislocations qu'il comporte est aujourd'hui reconnu partout; tous en admettent l'existence dans la mesure de sa raison d'être et de sa conception sans compromettre les lois de la physique.

Les môles

Mais la tectonique des Alpes renferme un problème, l'un des plus complexes et des plus singuliers que la géologie ait à résoudre, la naissance ou le mode de formation des montagnes isolées qu'on a improprement appelées „Klippen“ ou „écueils“, au sujet desquelles un philosophe,²⁾ ami de la nature et de ses manifestations grandioses a écrit: „bien des hypothèses géologiques sont venues échouer contre ces écueils magnifiques“. Il est vrai que M. Winteler n'en émet pas moins une théorie des plus insensées à leur égard, s'inspirant peut-être de cette légende née au pays des Waldstätten qui fait de la Suisse primitive tout simplement un garage du para-

¹⁾ L. Rüttimeyer: Ueber Thal- und Seebildung, etc., Kartentafel, in-4°, Basel 1869.

²⁾ F. Winteler: Neue und alte Gedanken über die Weltordnung, 2, Aufl. Zurich u. Leipzig 1905.

dis terrestre choisi par les chérubins aux glaives flamboyants après que l'homme déchu en eut été expulsé. M. Winteler n'a que faire des anges pour transporter dans notre pays ce coin de terre sacrée, il le fait tout prosaïquement tomber de la lune avec d'autres masses terrestres comme les montagnes dolomitiques du Tyrol, les glaces quaternaires qui ont d'abord occupé la place des vallées des Alpes et les lacs subalpins, c'est pourquoi, après la fusion de la glace, le fond des lacs s'est trouvé être plus bas que le niveau de la mer. Il y a des réflexions singulières dans le livre de M. Winteler, et vraiment son imagination ne le laisse pas en panne dans sa course à travers le monde et ses origines. Les „Klippen“ seraient donc tombées d'une lune qui s'est démantelée ou pelée à travers les âges pour nous envoyer périodiquement ses vieux habits et couvertures sous forme de blocs exotiques, pyramides calcaires ou dolomitiques comme les Mythen, le Stanzerhorn, le Buochserhorn et les nappes de recouvrement de nos géologues modernes. On voit dans quelles fantaisies l'on s'engage en parlant de nappes de recouvrement, de couvertures de pierre dans les Alpes, et quels écueils elles constituent en effet pour qui s'aventure dans la mer des hypothèses cosmogoniques. Pour ne pas abandonner le langage figuré, il faut dire qu'on a considéré jusqu'ici les „Klippen“ comme des rochers isolés perçant leur substratum à la manière des écueils des mers actuelles. On est à peu près sûr aujourd'hui que ces montagnes reposent comme de vastes blocs erratiques sur des couches oligocènes, c'est-à-dire beaucoup plus jeunes qu'elles, et qu'elles y ont été placées après le dépôt de ces schistes ardoisiers qu'on appelle „Flysch“ dans les Alpes. Ils sont d'âge ligurien ou tongrien et le terme provient probablement du verbe *fliessen*, couler ou glisser, parce que ce sont des schistes glissants, sujets aux éboulements, comme ce fut le cas à Elm. Cette superposition fait dire à de nombreux géolo-

gues que les „klippes“ flottent sur le flysch à la manière des banquises ou iceberg, expression toute figurée, mais excluant l'idée d'écueils ou de klippes, parce que ces grandes masses rocheuses n'ont en effet pas de racines en profondeur. Il vaudrait mieux les appeler *môles* ou masses isolées, en réservant le nom de *dômes* aux massifs granitiques qu'on a aussi quelquefois appelés môles. Cette expression de môle, du latin *moles*, conviendrait d'autant mieux pour les klippes et „pseudoklippes“ que le Môle en Savoie est aussi une montagne sans racines comme les Mythen et d'autres montagnes des Préalpes considérées isolément. Nous verrons en outre qu'il faut considérer les môles comme les témoins ou mausolées d'une chaîne de montagne en partie disparue.

Découverte des môles

Ce n'est qu'à partir du Prof. J. Kaufmann de Lucerne que les montagnes en question, les Mythen, le Stanzhorn, le Buochserhorn, la Clevenalp et l'Arvigrat sur les bords du lac des Quatre-Cantons, ont attiré l'attention des géologues. On les avait considérées jusque là comme formées de roches crétaciques, ainsi que le sont les montagnes avoisinantes, le Pilate, le Vitznauerstock, la Righi-Hochfluh, le Bürgenstock, le Seelisberg, l'Axenstein, etc. Kaufmann écrivit en 1876 (Jahrbuch des S. A. C, 11. Jahrg. 1876) une notice très remarquable dont le titre allemand: „Fünf neue Jurassier“, c'est-à-dire cinq nouveaux „Jurassiens“ annonçait l'existence de roches jurassiques au bord du lac des Waldstätten. (Voir aussi Beiträge z. geol. Karte der Schweiz Lief. 14, 2 a.) Ulr. Stutz qui étudia également ces montagnes y découvrit des fossiles liasiques en abondance, puis du Keuper, ce qui lui fit croire à l'existence d'un bassin keuprique, dans cette région des Alpes.¹⁾ On supposait généralement alors que ces

¹⁾ N. Jahrb. für Min. Geol. u. Pal. Jahrg. 1890, Bt. 2. (Das Keuperbecken am Vierwaldstättersee).

môles se prolongeaient en profondeur et qu'ils perçaient les terrains crétaciques environnants comme à travers une boutonnière,¹⁾ ou à travers les anticlinaux, comme une cheminée traverse le toit d'une maison.²⁾

Ce fut l'école de M. le professeur G. Steinmann, alors à Fribourg en Brisgau, qui fit faire un grand pas en avant à la question des „Klippen“. L'un de ses étudiants M. Edm. Quereau de Chicago fit un relevé géologique au 1: 25000 des environs d'Yberg (Schwytz) et reconnut dans les roches indéterminées que B. Studer et Arn. Escher de la Linth avaient coloriées provisoirement en Eocène, des roches beaucoup plus anciennes, des calcaires jurassiques à l'instar des Mythen et de la Rothe Fluh, des dolomies triasiques (Roggenstock) et même du Muschelkalk alpin à gyroporelles et *Retzia trigonella* (Zweckenalp). Quelques années plus tard, M. Hugi fit des découvertes analogues dans les môles des Giswyler-Stöcke.

Il y a dans le vallon synclinal situé au S.-W. de Lungern et de Sarnen au S. de la chaîne du Pilate un groupe de môles très remarquables, dont le principal, le Giswyler-Stock avec la Rossfluh paraît être un double synclinal de dolomies triasiques, puis le Jänzimattberg au N.-W. des précédents; c'est un lambeau de Dogger avec un soubassement de Keuper gypsifère. Plus au N.-W., à la Rothspitz, en voit une pyramide dont les couches sont en position inverse, en bas du Crétacique rouge (Turonien), surmonté de Malm et de Dogger, ayant les mêmes caractères stratigraphiques que les couches analogues des Mythen et de la chaîne du Stockhorn. Ces môles de Giswyl sont les plus démantelés; ils rappellent beaucoup

¹⁾ Voir pour les différentes explications proposées pour l'origine des môles le résumé historique contenu dans la Dissertation inaugurale de M. E. Hugi: Die Klippenregion von Giswyl (Neue Deutschr. der Schweiz. nat. Gesell., 1900), p. 2-5.

²⁾ Ed. Quereau: Die Klippenregion von Iberg (Sihlthal) (Beit. z. geol. Karte der Schweiz, Lief. 33, in-4° Bern 1893).

le groupe des Mythen et de la Rothe Fluh près de Schwytz, un peu moins les môles de Stanz et de Buochs, qui sont plus massifs et d'une structure plus régulière. A part les pointements de roches jurassiques et crétaciques du pied N. de la chaîne des Ralligstöcke et de la Schrattenfluh (Wyler près de Ralligen, Dogger au S. de Schangnau et au S.-W. de Flühli) et les blocs de granite rose de la vallée de Habkern au N. d'Interlaken, il n'y a pas d'autres montagnes anormales à l'E. du lac de Thoune. — Au point de vue stratigraphique elles se relient absolument aux roches des Préalpes romandes, surtout à celles de la chaîne du Stockhorn et des environs de Wimmis. Là-dessus les opinions sont concordantes ; il est difficile de voir dans les môles de la Suisse primitive autre chose que des témoins de la prolongation vers l'E. des montagnes des Préalpes romandes.

Position singulière des môles

Mais tandis que les Préalpes forment depuis l'Arve à l'Aar une chaîne bien coordonnée de 120 kil. de longueur, sur 25 kil. de largeur maximale, les môles sont des rochers isolés, qui ont toutes les apparences de reposer sur le Flysch, ou du moins de s'y trouver enchassés jusqu'à une certaine profondeur. Quelques-unes de ces montagnes singulières (Roggenstock) sont posées en chapiteaux sur les plis normaux des sédiments secondaires et tertiaires de la région. C'est cette circonstance qui en rend l'origine énigmatique et les fait considérer non plus comme de véritables klippen, mais comme des lambeaux ou comme des restes d'une grande nappe de recouvrement dont les Préalpes sont le morceau principal.

Différentes hypothèses sur l'origine des môles et des blocs inclus dans le Flysch

Aussi longtemps qu'on ne vit dans les môles du lac des Quatre-Cantons que des roches jurassiques et triasiques perçant la couverture des terrains crétaciques et tertiaires, on dut supposer que tout autour des klippes le crétacique offrait des solutions de continuité et des discordances de stratification. Cette idée fréquemment émise parmi les géologues suisses a bientôt fait naître des doutes et des suspicions. On a cherché en vain dans le Crétacique et l'Eocène des fragments de roches et des brèches détritiques formées aux dépens des klippes. Les roches dites exotiques incluses dans le Flysch n'ont pas toutes leurs analogues dans les klippes. Par exemple les granites de Habkern, les petits blocs de diorite d'Yberg, les calcaires ferrugineux du Lias supérieur, les brèches rouges à crinoïdes du Dogger, les blocs de Malm à céphalopodes d'Yberg, de Grabs, etc. Aussi a-t-on souvent séparé la question des môles de celle des blocs dits exotiques, inclus dans le Flysch.

Pour ces derniers, M. le prof. Ch. Sarasin de Genève a invoqué un transport par des banquises depuis les cimes occasionnellement recouvertes de névés et de glaciers dans la région des massifs cristallins du Tessin et des Grisons, au bord de la mer du Flysch.¹⁾ Sans parler de l'origine éruptive des blocs dits exotiques, admise par Beyrich et par Diener, les phénomènes volcaniques doivent avoir joué un certain rôle dans le dépôt du Flysch, par exemple des pluies de cendres dans la mer oligocène,²⁾ et des éruptions variolitiques, ophiolithiques et

¹⁾ Ch. Sarasin : De l'origine des roches exotiques du Flysch (Archives des sc. phys. et nat. de Genève, 3^e pér., t. 31, p. 570-603, t. 32, p. 67-101, Genève 1894) et la dissertation inaugurale de Strassbourg. (Neues Jahrb. für Min. 1891, Beilageband 8, p. 180-215, Stuttgart 1893).

²⁾ Th. Fuchs : Ueber die Natur des Flysches (Sitzungsber. der k. Akad. der Wiss. Bd. 75, Abth. 1, Wien 1877).

diabasiques sur divers points des Alpes peu avant, pendant et même après le dépôt du Flysch. De même la sédimentation d'éléments de roches éruptives, dans les grès de Taveyannaz¹⁾ s'accorde bien avec ces dernières manifestations volcaniques. Dans cet ordre d'idées, il n'est donc pas impossible de faire dériver d'éruptions ou tout au moins de commotions volcaniques dans la mer du Flysch les ophites et les spilites qui se trouvent en pointements dans le Flysch des Ormonds, du Simmenthal et des environs d'Yberg avec les serpentines qui touchent au Flysch en plusieurs points des Grisons et du Tyrol. Quoi qu'il en soit, on n'est pas absolument certain de devoir attribuer aux môles et à toutes les roches dites exotiques du Flysch une commune origine. Ces dernières peuvent avoir été incluses dans le Flysch avant ou pendant la naissance des môles, tout comme d'autres aussi peuvent avoir été introduites après la naissance des môles, et avoir été arrachées au substratum du Flysch par des dislocations, ainsi que le pensait A. Escher de la Linth.²⁾

Théorie du charriage d'une nappe de recouvrement. Objections

Mais il a surgi ces dernières années une théorie qui prétend expliquer du même coup et les lambeaux de recouvrement (môles et Préalpes romandes) et les blocs inclus dans le Flysch, roches sédimentaires et roches éruptives. C'est la théorie dite du „charriage“ ou des nappes de recouvrement. Ces nappes auraient été poussées depuis les régions centrales des Alpes, ou même depuis leur versant sud par des phénomènes de surplissement (Ueberfaltung) dont nous pouvons bien construire

¹⁾ L. Dupac et E. Ritter: Le grès de Taveyannaz, etc. (Archive de Genève, 3^e pér. t. 33, p. 435 et suiv. 1895).

²⁾ Voir Beiträge (Matériaux pour la Carte géol. de la Suisse) Lief. 33, p. 112.

le mécanisme, en attendant de pouvoir nous rendre compte de son mode d'action et surtout de sa raison d'être ou de sa nature géophysique. Cette théorie provient d'une tentative très séduisante et dangereuse d'englober dans la même pensée, c'est-à-dire dans les phénomènes de plissement, tels qu'on les comprend aujourd'hui, toutes les manifestations orogéniques des Alpes. Pour plusieurs auteurs il est à peine question de diverses époques de plissement dans cet effort surnaturel qui aurait enfanté les Alpes. Il faut qu'il soit subit et continu, parce qu'on ne peut guère oublier qu'on a affaire à des érosions considérables durant toute la période qui s'étend entre le Flysch et les glaciers quaternaires. Et puis le dépôt de la molasse oligocène, celui des poudingues (Nagelfluh) et des molasses miocènes sont là pour témoigner d'une destruction intense des montagnes bordant la mer molassique, ce qui devait nécessairement briser sur plus d'un point les nappes de charriage et rendre impossible leur mouvement horizontal.

En considérant un mouvement lent des sédiments du pied S. des Alpes et de la couverture des massifs cristallins durant une période d'érosion, il est tout naturel de voir les lambeaux poussés du S. au N. s'entasser contre la ligne de faite des Alpes, à peu près comme les glaçons s'accumulent dans une anse de lac ou de rivière lorsque survient la débâcle du dégel. Nous devrions donc retrouver toutes ces nappes de charriage aux abords du St-Gothard et du Mont-Blanc, où se trouvent en effet des lambeaux de recouvrement de gneiss poussés par dessus les schistes lustrés, les *brisés* du Valais, ainsi que le profil du tunnel du Simplon l'a révélé.¹⁾ C'est à cela en effet que raisonnablement s'arrête le phénomène du charriage, très grandiose en lui-même, c'est-à-dire dans ces limites-là. Mais quant à faire glisser des nappes déman-

¹⁾ H. Schardt : Note sur le profil et la tectonique du massif du Simplon, pl. 2, in-4^o, Lausanne, 1903.

telées par l'érosion pendant la période miocène, où les Alpes avaient certainement une ligne de faite, puisqu'il y a des conglomérats d'origine alpine dans le Flysch, dans le Tongrien de Savoie, dans l'Eocène des Basses-Alpes etc, c'est tout à fait chimérique.

Charriage de M. Steinmann

Cette dernière objection n'a pas été prévue par M. le professeur Steinmann qui a résumé d'une manière fort lucide la théorie du charriage dans une conférence faite devant une société d'alpinistes.¹⁾ Mais M. Steinmann a parfaitement compris que les phases du charriage ne pouvaient se prolonger raisonnablement durant toute la période miocène; il a donc imaginé, à l'encontre des principaux auteurs de la dite théorie, deux périodes fort distinctes de plissement dans la formation des Alpes. La première se produit après le dépôt du Flysch oligocène, (Ligurien ou Tongrien). C'est un glissement tangentiel ou à plat ventre dans la masse du Flysch, qui y produit trois grandes nappes de recouvrement ou plis couchés de plus de 50 kilom. de largeur ou d'amplitude, sur à peu près toute la longueur des Alpes. Puis vient l'érosion de ces masses superposées pour la formation de la Molasse oligocène et miocène. Après cela, les massifs cristallins des Alpes se rétrécissent, comme on se l'est figuré jusqu'ici, et mettent en mouvement ondulatoire les sédiments helvétiques, la molasse, les nappes de recouvrement qui les recouvrent, etc. Les érosions quaternaires achèvent de découper les Alpes dans leur aspect ruiniforme actuel. C'est en somme une théorie assez simple pour expliquer une foule de relations compliquées : les relations de faciès des roches disposées peut-être dans un seul bassin dont la profondeur croît régulièrement

¹⁾ G. Steinmann : Geologische Probleme des Alpengebirges (Zeitschrift des D. und O. Alpenvereins, Bd. 37, 1906.

depuis la Suisse vers l'Italie, les grands chevauchements des Alpes glaronnaises, les lambeaux de recouvrement et les superpositions anormales des môles qui sont des restes de nappes chevauchées depuis les Alpes lépontiennes, les nappes de la brèche du Chablais et des Ormonds (Hornflub), qui sont une nappe plus élevée ou superposée aux autres, les blocs ou pointements de roches cristallines et ophiolithiques (spilites, variolite, etc.) dans le Flysch, qui forment une nappe supérieure avec des blocs isolés de *radiolarite* ou concrétions de jaspes à radiolaires fréquentes dans le Malm subpélagique de Bavière, des Grisons, du Tessin,¹⁾ etc. Cette dernière nappe aurait été la plus rapidement démantelée durant la formation de la molasse, de là les éléments de roches dites exotiques, granites roses ou verts, diorites, radiolarites, calcaires du Flysch, etc., qui entrent en grande partie dans la composition des poudingues miocènes. Tous ces problèmes ont été abordés, successivement, et sans recevoir de solution définitive, dans des travaux antérieurs du même auteur: *Das Alter der Bündner-Schiefer* (Berichte der naturf. Gesell. Freiburg i. B., Bd. 9, Heft 3, 1895, p. 245-263; Bd. 10, Heft 2, 1897, p. 215-292) et dans son écrit de conversion à la théorie du charriage intitulé: *Die Schardt'sche Ueberfaltungstheorie und die geologische Bedeutung der Tiefseeabsätze und der ophiolithischen Massengesteine* (*Ibidem*, Bd. 16, p. 18-67, sept. 1905), dans lequel sont établies cinq différentes nappes de recouvrement.

Le „surplissement“ ou le charriage des nappes de recouvrement est le phénomène orogénique le plus fantastique qu'on ait imaginé pour expliquer les superpositions anormales des roches, c'est-à-dire l'origine des „klippes“ dans les Alpes et ailleurs. A côté de ce phé-

¹⁾ M. le prof. Rothpletz indique aussi la présence de concrétions rouges à radiolaires dans les schistes rouges permien des Grisons (Zeitschrift der Deutschen geolog. Gesellschaft, Jahrg. 1890, p. 86-94).

nomène tout-à-fait inexpliqué et du reste inconcevable, le plissement ou le ridement normal de l'écorce terrestre, la structure en éventail des massifs cristallins des Alpes ne sont plus que des phénomènes secondaires. C'est toutefois celui qui jusqu'ici, selon tous les auteurs a donné à nos Alpes leur relief principal. De ce fait, le surplissement n'est au contraire qu'un phénomène préalable et subordonné, pour ne pas dire tout-à-fait hypothétique. La théorie du charriage est appliquée actuellement par plusieurs de nos confrères géologues, notamment par M. le professeur Lugeon de Lausanne, dans plusieurs régions qui présentent de grandes dislocations orogéniques, comme les Carpathes, la Sicile, etc. L'idée première a été émise par M.M. Suess à Vienne et Bertrand à Paris dans leurs conceptions théoriques sur le „double pli glaronnais“, sur la structure du bassin houiller franco-belge et sur les plis couchés de quelques montagnes de Provence. Mon ami M. le professeur W. Kilian admet des charriages dans les Alpes françaises, en faisant remarquer qu'ils doivent être ramenés à des plissements énergiques en relations avec le plissement général des Alpes.¹⁾

Objections tirées du rôle des massifs cristallins durant la sédimentation

Les plissements hercyniens (ceux qui ont eu lieu après le dépôt des terrains paléozoïques) sont complètement mis de côté par M. Steinmann dans sa dernière synthèse alpine. Il fait table rase des bassins sédimentaires qui ont existé dans les Alpes aux différentes époques géologiques ; il les qualifie de fjords hypothétiques. Tout est beaucoup plus simple pour lui : un seul rivage „variscique“ au pied de la chaîne hercynienne du centre de l'Allemagne. (Voir

¹⁾ W. Kilian : Comptes-rendus du IX^e Congrès géolog international à Vienne en 1903, p. 471.

la carte géologique de Regelman qui vient de paraître en 7^{me} édition à Stuttgart). Les massifs centraux des Alpes n'auraient joué aucun rôle dans les mers mésozoïques, ni même durant le Nummulitique et le dépôt du Flysch. Il est pourtant avéré que les roches cristallines ou archéiques des Alpes ont formé des montagnes dès le début de l'ère mésozoïque, puisqu'à la base du Permien (à tort appelé Houiller dans les Alpes), nous trouvons des conglomérats de roches arrachées au massif du Mont-Blanc (Poudingue de Valorsine), aux massifs des gneiss du Tessin, (Conglomérats permien de Manno). M.M. les professeurs L. Duparc et Lud. Mrazec¹⁾ qui ont étudié pétrographiquement les galets des poudingues de Valorsine, établissent d'une façon indéniable l'origine de ces galets et l'âge prépermien des roches cristallines et de la protogine du Mont-Blanc.

Le rôle des massif cristallins des Alpes durant la sédimentation des roches secondaires et tertiaires se trahit par les faciès littoraux des terrains, notamment dans les arkoses qui surmontent le granite de Gasteren, les brèches liasiques du massif de l'Aar (Balmhorn), celles du Lias saint-gallois, les grandes lacunes sédimentaires du lias dans le massif du Gothard (Fernigen), du Mont-Blanc (Val-Ferret), les lacunes stratigraphiques que l'on constate dans le Callovien et l'Oxfordien des Hautes-Alpes, celles de l'Albien dans les mêmes régions, pour ne pas parler de celles des Préalpes, ni de leurs dépôts saumâtres à charbons jurassiques (Boltigen). A la fin de l'époque crétacique, la mer ne forme plus qu'un étroit canal au N. des Alpes, marqué actuellement par les couches de Wang et de Siegsdorf (Bavière). De même durant le dépôt du Nummulitique la mer qui contourne les Alpes

¹⁾ Voir L. Duparc et L. Mrazec : Excursion dans le massif du Mont-Blanc en 1894, brochure in-8°, Genève 1904, p. 9-10 : « Les matériaux des conglomérats houillers (poudingue de Valorsine à la base du Permien) sont identiques aux éléments cristallophylliens et cristallins des chaînes actuelles dont, celles-ci devaient être soulevées et dénudées ».

orientales pénètre en Bavière et en Suisse par un canal peu large qui n'atteint pas les Diablerets dans son dépôt le plus ancien (Lutétien ou Parisien). Dès le Bartonien (Grès du Hohgant, des Diablerets, etc), comme aux temps de l'Albien et du Cénomanién (brèche à *Orbitulina concava* de Bavière, du Tristel, etc), les grès reprennent le dessus dans les sédiments qui font admettre des ablations de roches siliceuses dans toute la région située au N. des massifs cristallins. Mais c'est à partir du dépôt du Flysch que les éléments détritiques remplissent les sédiments : les brèches polygéniques du Wildflysch, les conglomérats du Niesen (en partie), les grès de Taveyannaz, pour autant qu'ils ne dérivent pas uniquement de roches éruptives d'âge tertiaire (diabases, variolites, etc.). Les dépôts éocènes renferment des éléments arrachés aux massifs cristallins et aux sédiments secondaires dans toute la région des Alpes françaises situées à l'E. du Pelvoux, en Maurienne, en Tarentaise et en Savoie (Col de Varbuche). Les conglomérats éocènes reposent en Maurienne et en Tarentaise sur le Lias et le Trias qui leur ont livré des éléments clastiques, au flanc oriental du Pelvoux sur les terrains cristallins.¹⁾ Le nummulitique débute aux environs de Moûtiers (Tarentaise) et en Savoie, par des arkoses et une brèche micacée à éléments variés : quartzites en quantité, paillettes de muscovite et de séricite, du feldspath souvent kaolinisé, de la chlorite, des schistes satinés du Trias, des *schistes cristallins*, des schistes et des roches permienes, des calcaires et des dolomies triasiques, des calcaires noirs liasiques, des calcaires blancs coralligènes et des schistes du Lias.²⁾

On ne peut donc plus parler d'une concordance de tous les terrains des Alpes antérieurs à l'Oligocène ou

¹⁾ W. Kilian : Le massif de Varbuche (Savoie), Chambéry, 1891.

²⁾ W. Kilian : Bull. Soc. géol. de France, 3^e série, t. 19, p. 621, (1891).

jusque et y compris le Flysch, ainsi qu'on l'a prétendu et comme le montrent si catégoriquement les schémas orogéniques de M. Steinmann dans son dernier travail. La reconstitution des golfes et bras de mers, avec ou sans fjords, ainsi que les entrevoyait en 1890, E. Renevier (Monographie des Hautes-Alpes vaudoises dans les *Matériaux pour la Carte géologique de la Suisse*, livr. 16, p. 507 et suiv.), des îles et langues de terre, des hauts-fonds qui se sont succédé durant les périodes de sédimentation dans la région qu'occupent aujourd'hui les Alpes, n'est pas définitive sans doute, mais on aurait tort de se représenter cette région, jusqu'après le dépôt du Flysch, comme une nappe d'eau ininterrompue, puis une plaine basse sans aucun relief, des terrains horizontaux tout à fait continus et sans aucune discordance.

En suivant l'exposé de M. Steinmann, si lucide, si logique et si entraînant qu'il soit, on s'arrête à la seule pensée qu'une plaine constituée en profondeur par des centaines de mètres de couches horizontales puisse se transformer presque subitement en une autre plaine, ou même en un géosynclinal dont la masse intérieure s'est convulsionnée en immenses plis couchés d'une amplitude de plus de 50 kilomètres, sans que le soubassement cristallin eût participé au mouvement dans la même mesure ou à peu près. La première manifestation d'une contraction de l'écorce terrestre est une ride, un bombement, un pli normal, puis d'autres plis viennent s'ajouter au premier, pour arriver insensiblement à toutes les complications possibles que produisent l'étirement des plis et leur chevauchement les uns sur les autres. Pourquoi le développement des nappes sédimentaires est-il si considérable dans ces schémas, tandis que les terrains cristallins qui subissent autant, sinon mieux encore que leur couverture sédimentaire, les contractions de l'écorce terrestre, restent non ou très peu repliés, et pourquoi ne pénètrent-ils pas en lames dans les nappes de recouvre-

ment ? D'où vient la force tangentielle qui étire et fait glisser les sédiments en immenses feuillets les uns sur les autres ? D'autres auteurs font glisser les sédiments par dessus les dômes cristallins en leur faisant décrire des ondulations et des plongements à travers les synclinaux alpins et même dans les sédiments tertiaires plus tendres que les nappes. Tout ce mécanisme n'est pas imaginable dans une pâte molle, sans lui supposer une force d'expansion ou d'intumescence qui la ferait monter et non pas ramper à la façon des mollusques ! A combien plus forte raison peut-on considérer ce mouvement comme purement fantaisiste, quand il s'agit de dépôts sédimentaires durcis en calcaires et en grès !

Différence d'âge entre le charriage des nappes et le plissement des Alpes

M. le professeur Steinmann doit reconnaître qu'il fait intervenir dans sa nouvelle théorie des dislocations alpines deux modes de plissement tout à fait différents. Jusqu'ici le deuxième seul est rationnel et admis par tous les géophysiciens. Mais il reste à expliquer le mode de formation des môles. On peut y arriver d'une autre façon que M. Steinmann, sans admettre deux modes de plissement, et sans sortir de lois reconnues de la géologie tectonique, mais nous verrons, comme le propose M. Steinmann, qu'il faut distinguer *deux phases et deux régions principales* dans les plissements tertiaires des Alpes. C'est ce que tous les modes de charriage tentés jusqu'à M. Steinmann, pour expliquer l'origine des môles n'ont pas su nettement établir. Chez les uns on voit une longue période de charriage et de plissements simultanés qui a commencé avec le dépôt du Flysch oligocène et qui s'est terminée par le plissement de la molasse. Chez d'autres, les derniers mouvements de charriage ont encore poussé les nappes par dessus la molasse plissée.

En général, tous les partisans du charriage commencent par faire avancer les nappes inférieures, puis l'effort maximum de la poussée tangentielle depuis le S. des Alpes aurait fait arriver la nappe des „Klippen“ par dessus les autres, depuis la région transalpine la plus lointaine jusqu'au bord septentrional des Alpes ! Il y a bien là des phases successives, il est vrai, mais le plissement agit toujours dans la même direction, et c'est une région unique qui met en mouvement les nappes, malgré les interruptions qu'elles ont dû subir par les érosions tertiaires et quaternaires, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer. La théorie de M. Steinmann substitue à ce long processus de charriage par dessus les massifs cristallins des Alpes et à travers les synclinaux alpins deux modes de plissement en deux phases successives, comme il vient d'être dit. C'est là, croyons-nous, un grand pas en avant et qu'il faut faire avec M. Steinmann. Mais l'on peut se passer de la théorie du charriage, qui est tout à fait inutile, impossible même dans la forme qu'elle a revêtue depuis la suggestion lancée par M.M. Bertrand et Suess.

La chaîne vindélicienne doit prévaloir sur la théorie du charriage

Il faut en revenir à l'existence d'une chaîne préalpine (chaîne vindélicienne, *vindelisches Gebirge* de C.-W. von Gümbel), imaginée par B. Studer (Geologie der Schweiz, Bd. 2, p. 387-389, avec croquis) pour expliquer l'abondance des galets de granites roses et verts dans la molasse. Elle fut partagée par L. Rütimeyer, (Nummulitenterrain, Neue Denkschr. 1850), J. Bachmann (Vierteljahrschr. Zurich, 1863), et aussi par M.M. Schardt en 1891, Steinmann et Quereau en 1893, C. Schmidt (Livret-guide, géol. Suisse, p. 121-124), Gümbel (Geologie von Bayern, 1894), et Rothpletz, (Geotekton. Probleme, 1898).

Bernard Studer ne connaissait pas les „Klippen“, ni von Richthofen (Vorarlberg Jahrb. k. k. Reichsanst. 1859), ni Gumbel non plus (Geol. Beschreibung des bayrischen Alpengebirges, 1861), dès le début de l'hypothèse vindélicienne. S'ils avaient pu les reconnaître, ils auraient vu qu'on peut relier les Préalpes fribourgeoises par les môles des petits cantons et du Haut-Toggenbourg (Berglittenstein) à ceux du Rhæticon et aux Alpes bavaoises. Aujourd'hui tout nous oblige à admettre ces relations et tout le monde est d'accord là-dessus. Mais tandis que pour nous les Préalpes et les môles sont des restes qui jalonnent la chaîne vindélicienne en grande partie recouverte aujourd'hui, les partisans de la théorie du charriage se voient obligés, conséquence inévitable d'un mauvais pas à faire glisser Préalpes romandes, nappe des klippen, synclinaux bavaois avec leurs murailles dolomitiques, c'est-à-dire une immense nappe d'à peu près toute l'étendue des Alpes par dessus un substratum autochthone, en partie inconnu, depuis le Tyrol méridional, c'est-à-dire sur une largeur d'environ 120 kilomètres! (Steinmann, Geol. Probleme des Alpengebirges, p. 38).

Ainsi, tandis que les Préalpes romandes et les Alpes bavaoises sont encore là en nappe ininterrompue, toute la couverture qui devait s'étendre depuis le lac de Thoune jusqu'au Rhæticon et par dessus les Alpes cristallines a été détruite par l'érosion, jusqu'à quelques masses isolées, *alignées sur un seul rang*, et partout ailleurs la nappe a été complètement détruite. C'est bien autrement fantastique que la légende du paradis terrestre déposé sur les Alpes! Et la suite, les Carpathes, les Alpes dinariques, la Sicile, où s'arrêtera cette émigration des montagnes? Avouez, Messieurs les théoriciens que vos représentations exigent au moins „la foi qui transporte les montagnes“! Si vous la possédez vous-mêmes en géophysique, que vous devez être près de l'obtenir au métaphysique et au moral! Le christianisme exige moins que vous de

ses adeptes; et dans cet ordre d'idées, le miracle que vous prêchez ne serait somme toute pas impossible à Dieu.

Mais la nature physique, telle que nous la connaissons, et sans l'intervention de forces inconnue ou surnaturelles, ne peut-elle pas produire les dispositions étranges que les géologues ont constatées dans nos Alpes? Et ils ont bien vu, bien déterminé ces roches triasiques et jurassiques reposant sur le Tertiaire. N'est-il donc pas possible de se rendre naturellement compte du procédé suivi par la nature pour planter sur les rives du lac des Waldstættén des montagnes qui rappellent celles de la Bavière et prolonger ces dernières jusque dans les Alpes de Fribourg et de la Savoie?

Nous pensons que c'est possible, et que B. Studer a eu la juste intuition du phénomène. La chaîne vindélicienne a existé, à peu près telle que l'ont représentée les premiers pionniers de la géologie alpine; elle existe encore partiellement, et c'est faire fausse route que de s'écarter des jalons que ces maîtres ont cru devoir poser. Il y a sans doute des modifications à faire à la conception d'une chaîne qui „s'est effondrée sous la molasse“ sur la bordure septentrionale des Alpes. Puis ce n'est pas uniquement de granite qu'était constituée cette chaîne bordure (Randgebirge); les chevauchements qui l'ont recouverte ont une amplitude beaucoup plus considérable que ce que B. Studer a cru pouvoir admettre. Les Préalpes romandes sont la partie occidentale de la chaîne vindélicienne, leur plissement est plus ancien que celui des Hautes-Alpes, elles ont été subséquemment remaniées par les plissements postmiocènes alpins et poussées sur la molasse plissée. Leurs relations au contact des Hautes-Alpes s'expliquent par des dislocations de bas en haut telles que Neumayr (Jahrbuch k. k. geol. Reichanstalt, Bd. 21, 1871), Escher, Mösch (Beiträge geol. Karte der Schweiz Lief. 14, Abth. 3, p. 112) et Kaufmann les ont

admises pour les „Klippen“ en général.¹⁾ Les môles ne sont pas tous nécessairement arrachés de dessous le Flysch et expulsés par compression (*durchgestossene Felsmassen aus der Tiefe*), depuis les profondeurs du sol durant les dislocations alpines, mais, ainsi que la plupart des blocs dits „exotiques“ du Flysch, il en est qui sont des masses détachées de la chaîne vindélicienne et enfouies dans la mer du Flysch. Nous laisserons ici de côté l'opinion de Beyrich (*Karstens Archiv*, Bd. 18) admise par M. Diener (*Jahrbuch k. k. Reichsanstalt* Bd. 28, p. 26) qui attribue à des forces volcaniques l'origine des blocs exotiques et des klippes.

Toutes les propositions précédentes ont été formulées déjà plus ou moins complètement par les auteurs au cours des discussions de ces dernières années sur l'orogénie des Alpes. Puis la plupart les ont abandonnées, comme étant pour eux trop compliquées ou incapables d'expliquer rationnellement l'origine des Préalpes et des môles. Mais nous n'avons vu nulle part qu'elles aient été rassemblées en un corps de doctrines et poussées dans leurs conséquences possibles et logiques, comme on l'a fait pour la théorie du charriage. On manquait il est vrai, jusqu'à ces dernières années, de déterminations sûres pour les sédiments les plus récents des môles (couches rouges turoniennes) et de représentants de la Craie des Alpes bavaoises dans les Alpes suisses. Aujourd'hui la stratigraphie a fait des pas en avant et les relations établies dans une synthèse remarquable par M. Em. Haug²⁾ reçoivent quelques modifications avec un complément décisif, qui confirme les idées émises tout d'abord par ce savant sur la position autochthone des géosynclinaux ou bassins sédimentaires au N. des Alpes. C'est

¹⁾ Voir le résumé de ces explications dans E. Hugli, *Inaug. Diss Klippen von Giswyl*, p. 4-6.

²⁾ E. Haug : Les régions dites exotiques du versant N. des Alpes suisses (*Bulletin de la Soc. vaud. des sc. nat.*, t. 35, p. 114-161, 1899).

là un résultat important, que nous détaillerons tout à l'heure.

La théorie du charriage fait époque

Avant de développer la genèse des Préalpes et des môles suivant les propositions énoncées ci-dessus, il est nécessaire de réfuter la théorie du charriage dans sa conception la plus hardie, car c'est vers elle que s'est dirigé le grand courant des idées et des travaux géologiques depuis une dizaine d'années. Il ne suffit pas en effet de montrer que les conséquences d'une théorie dépassent la mesure du possible, il faut encore signaler par où pèche cette théorie et quelles erreurs elle renferme. La théorie du charriage est un peu comparable à celle du „réseau pentagonal“ d'Elie de Beaumont et de ses systèmes de soulèvements. Cette dernière fit époque dans la géologie et fut très à la mode en France. Il y a encore aujourd'hui des géognostes qui indiquent en degrés *hora* X X la direction ou l'orientation du pied des montagnes, qui cherchent à relier un système de failles à la direction du soulèvement d'une chaîne etc. (voir la Carte géologique de l'Allemagne du Sud parue récemment.) Tout n'est pas absolument indifférent dans ces mesures et ces rapprochements, mais ce système a conduit à des généralisations fainctisistes et forcées. Toute la tectonique s'y réduit à des lignes droites, à des failles en lignes droites, à des soulèvements rectilignes, à un réseau impossible de lignes droites et d'intersections de plans. Il faut voir les profils géologiques de ce temps-là, les échiquiers et les damiers qu'étaient alors les cartes géologiques. Et quand l'imagination eut épuisé ce domaine, on s'en détourna pour admettre le point de vue du plissement. Ce fut la ligne courbe, avec toutes les convulsions possibles et impossibles qui remplacèrent les casiers et les mosaïques des cartes et des profils géologiques. Plus de lignes droi-

tes, plus de cassures, plus d'effondrements, ni lignes de failles, on voit partout onduler les vagues de l'écorce terrestre. La théorie du charriage n'est que l'exagération de la théorie du plissement. On s'est habitué à traiter les roches comme des feuilles de verre ramolli par la chaleur, qu'on étend sur un soubassement quelconque avec un rouleau compresseur pour l'étirer dans une direction voulue d'avance. On voit si bien les nappes se dérouler dans les profils pour mettre les faciès des sédiments dans l'ordre de leur position bathymétrique sur une pente unique. L'esprit une fois engagé dans cette voie, il se complaît dans les lignes favorites et rien ne peut plus l'en faire sortir. C'est une vision, une idée fixe, qui revient périodiquement et subsiste malgré les objections entrevues et entendues. Plusieurs sont devenus les avocats de leur propre cause, ce dont les savants doivent bien se garder. On se lassera aussi de cette voie, quand elle aura conduit la tectonique et les sciences affines à la confusion, et quand on aura reconnu l'exclusivisme dans lequel elle se meut. Mais elle peut exercer une certaine émulation utile et conduire à des découvertes inattendues, à un nouveau point de vue, grâce aux objections qui lui seront faites. De tout temps c'est du choc des idées qu'a jailli la lumière.

Les lambeaux de recouvrement ont suggéré la théorie du charriage

La théorie du charriage voit un peu partout des lambeaux de recouvrement. C'est bien là la principale de ses exagérations, tout comme c'est son mérite de les avoir fait admettre quand personne n'avait voulu en voir, ni même osé en parler. Prenons un exemple rapproché, une miniature il est vrai, mais qui ne se retrouve pas partout ailleurs. J.-B. Greppin considérait le chapiteau de

Séquanien qui couronne la colline molassique du Mont-Chaibaut près de Delémont¹⁾ comme une véritable klippe ou un cylindre de calcaires jurassiques qui aurait percé la molasse de bas en haut, comme à l'emporte-pièce. Mais tout autour et par dessous ces calcaires fossilifères morcelés et disloqués on aperçoit la molasse en place. Ce minuscule lambeau de recouvrement s'explique très bien par un glissement d'une lame de Séquanien partie de la côte de Vellerat, lors de la formation de cette chaîne par exemple, c'est-à-dire avant que la colline du Mont-Chaibaut, telle que nous la voyons, ait été découpée dans le sol molassique du val de Delémont. Le Séquanien de la côte de Vellerat forme un genou, c'est-à-dire un pli défoncé par sa base, qui fait entrevoir la possibilité du glissement dont nous parlons. Ces roches „brisées“ et détachées des crêts jurassiques sont fréquentes dans le Jura bernois, bâlois, argovien, etc.²⁾ Il est fort possible que des phénomènes analogues aient présidé à la formation de lambeaux de recouvrement ou chapiteaux comme ceux de Annes et de Sulens en Savoie.³⁾ Peu nous importe pour le moment que ces lambeaux liasiques reposant sur le Flysch oligocène se soient détachés des plis des Hautes-Alpes ou de ceux des Préalpes du Chablais. Il suffit d'un simple glissement, avec une différence d'altitude, qui peut s'être modifiée par la suite, pour faire dériver ces roches de leur chaîne d'origine. Nous allons voir comment les môles des Waldstätten pourraient aussi être des roches détachées d'une chaîne qui aurait subi également des dénivellations de

¹⁾ Voir notre carte tectonique des environs de Delémont, 1 feuille gr. aigle, 1:25000, Winterthour 1904, ou la 2^e édition de la feuille VII de la carte géologique de la Suisse au 1:100,000.

²⁾ Voir Matériaux pour la Carte géolog. de la Suisse. 38^e liv. 1898 et Eclogae geol. Helvetiae, vol. 3, p. 181-226, 413-522, 1892.

³⁾ Voir la notice de M.M. Haug et Lugeon sur la géologie de ces montagnes dans le Bulletin de la Société d'histoire naturelle de Savoie, 1897, et la feuille d'Annecy de la Carte géol. détaillée de la France.

ce genre. Ils diffèrent, il est vrai des roches détachées et des lambeaux de recouvrement en ce qu'ils s'enfoncent en lames obliques dans leur soubassement. Mais pour tous ces môles et roches détachées, il ne peut y avoir de doute, leur soubassement est absolument formé par la couverture autochthone des Alpes, par le Flysch oligocène. Les roches dont ils sont formés présentent des têtes de couches de tous côtés, et leur base se garnit de talus d'éboulis plus ou moins continus. Quand un éboulement survient dans leur soubassement de Flysch, on voit toujours ce Flysch s'étendre sous le lambeau de recouvrement, comme s'il s'agissait d'un terrain plus ancien qui passe par-dessous le chapiteau. Le critère du recouvrement est donc fourni exclusivement par la détermination des roches superposées. Il y a beaucoup de petits lambeaux de recouvrement et de roches détachées de cette façon dans les Alpes françaises, suisses, bavaoises, partout où le plissement présente des déversements et des chevauchements. Il y a des lambeaux de recouvrement minutieusement étudiés dans les collines qui entourent le Ries en Franconie, sur le prolongement vers l'E. de l'Albe wurtembergeoise. On a reconnu dans le Buchberg par exemple un lambeau de Jurassique moyen (Brauner-Jura) recouvrant les calcaires du Malm dans une région où toutes les couches sont horizontales et non plissées, mais situées dans le voisinage d'un centre d'anciennes éruptions volcaniques que M. Branco a reconnu avoir été occupé par un laccolithe en voie de soulèvement, puis d'effondrement.¹⁾ Un puits creusé dans la colline a reconnu à la base du lambeau de recouvrement des brèches et des galets striés et des stries de friction sur la roche en place, indiquant la direction d'où provient le lambeau, c'est-à-dire la région occupée par le laccolithe. Une disposition pareille n'a pas été reconnue

¹⁾ Branco : Das vulkanische Ries bei Nördlingen ; Das vulkanische Vorries etc. (Abhandl. der preuss. Akad. der Wissensch. zu Berlin, 1901-2).

dans les môles alpins, mais elle pourrait s'y trouver quelque part. Les môles de Giswyl, de Stanz, de Buochs, etc. formés de couches plissées, mais sans relations tectoniques avec les plis autochthones des environs, sont posés sur une base inclinée, avec des surfaces de friction dans le Flysch. Il est permis de supposer que les môles s'enfoncent aussi dans le Flysch jusqu'à une certaine profondeur. Mais les roches des môles sont tellement différentes de celles des plis autochthones qu'il est tout-à-fait nécessaire de considérer les môles comme détachés de leurs lieux d'origine. Le problème du Ries peut nous indiquer la piste à suivre pour découvrir cette origine. Les montagnes d'où se sont détachés les môles sont vraisemblablement les plis vindéliens des Préalpes romandes qui avaient autrefois un prolongement direct entre le lac de Thoune et le Rhæticon. Les môles ne sont donc pas les sommets d'une chaîne triasique et jurassique qui aurait été découpée par l'érosion sur l'emplacement même qu'ils occupent actuellement. Mais la chaîne dont ils proviennent était située dans le voisinage, elle a été découpée pendant la formation de la molasse, puis recouverte insensiblement par elle, tandis que les môles ont été préservés de la destruction. Nous pensons donc qu'on peut considérer les môles comme des jalons ou de vastes bornes posées sur les racines de la chaîne vindélienne aujourd'hui enfouie entre le lac de Thoune et le Rhin. Ils forment en tout cas le prolongement vers l'Est des Préalpes romandes, en particulier de la chaîne des Spielgärten et de la Burgfluh, dont ils présentent les mêmes faciès de roches. Toutes les études stratigraphiques ont confirmé ces relations admises par tous. Seulement, au lieu de chercher dans les profondeurs du sol les racines des môles, la théorie du charriage veut les considérer, avec les Préalpes, comme des restes d'une nappe de recouvrement qui serait venue des régions transalpines et qui aurait été singulièrement détruite pour produire ce

que nous voyons. M. le professeur Schmidt¹⁾ tout en admettant l'existence de la chaîne vindélicienne, lui fait faire une sorte de charriage depuis le N. vers le S. jusqu'à la lisière des Hautes-Alpes calcaires avant le dépôt de la molasse. Puis ses racines ont été recouvertes par des chevauchements alpins venus du Sud, idée empruntée à B. Studer; M. Schardt avait également admis dans un travail de concours²⁾ qu'un chevauchement d'environ 10 kilomètres vers le N. W. avait enfoui la chaîne vindélicienne sous les chaînes crétaciques entre le lac de Thoune et le Rhin.

Les écailles de chevauchement ont été prises pour des lambeaux de recouvrement

La question du charriage ou d'une nappe des môles et des Préalpes romandes est née des relations stratigraphiques signalées dans ces montagnes. Les môles flottant sur le Flysch, on a voulu en admettre autant pour les Préalpes proprement dites, puis des chaînes des Spiegärten, de la Hornfluh, des Ormonds, etc., ce qui commence à entrer dans le domaine des hypothèses. Dans un très beau et très substantiel travail de M. Fr. Jaccard (Bull. des laborat. de géologie, etc. de l'Université de Lausanne, N° 5, 1904), on voit très-clairement qu'il s'agit ici non plus de môles à base plus ou moins circulaire, mais de longues lames disloquées, souvent interrompues et encaissées dans le Flysch, suivant le plongement et la direction générale des plis des Alpes. On les voit s'enfoncer vers le Nord, sous les Préalpes fribourgeoises, avec des écailles de chevauchement, dans la masse également comprimée et chevauchée du Flysch. Dire que

¹⁾ C. Schmidt: Geol. Excursion durch die centralen Schweizeralpen (Livret-guide géologique dans le Jura et les Alpes de la Suisse, pages 121-124, 1894).

²⁾ C. Schmidt: Gutachten über die Preisschrift, etc. (Eclogae geol. Helvetiae, Bd. 2, p. 299-506, 1891).

ces lames, avec des paquets plus ou moins égrenés des mêmes roches, flottent sur le Flysch, comme le font les partisans de la théorie du charriage des Préalpes, c'est une proposition qui, pour l'ensemble des lames, reste à démontrer, et qui, malgré certaines apparences dans les détails, n'est pas davantage un axiôme. La chaîne des Spielgärten et ses voisines, avec leur masse de brèches jurassiques (brèche de la Hornfluh ou du Chablais) qu'elles „semblent enserrer dans un étau“ peuvent très bien se relier aux Préalpes fribourgeoises par des plans de chevauchement, ou par la structure en écailles imbriquées. Le développement de ces lames et écailles remises en place indique les contractions considérables qu'elles ont subies pour arriver à leur structure actuelle. Les changements de faciès dans les terrains jurassiques, les lacunes et les transgressions sédimentaires qui s'y présentent sont bien possibles sur l'espace obtenu par ce développement. Il n'est donc pas nécessaire d'imaginer une nappe spéciale pour le Jurassique moyen ou pour le „massif de la brèche“. Tout cela fait partie des Préalpes romandes et se tient par des relations de faciès durant la période de sédimentation des Préalpes. Aujourd'hui les liaisons doivent exister dans la profondeur, malgré les dislocations subies par le Flysch et son souassement.

Les Préalpes romandes ne sont pas un lambeau de recouvrement

Mais c'est l'ensemble des Préalpes romandes que nos adversaires scientifiques considèrent comme un lambeau de recouvrement „un peu plus vaste que les autres“. Qu'est-ce qui les oblige à faire une pareille supposition? Pour une région alpine d'environ 120 kilomètres de long depuis l'Arve à l'Aar, sur une largeur de 20 à 25 kilomètres, le caractère d'un lambeau de recouvrement est

un peu plus difficile à établir que pour un môle isolé dont on voit suffisamment les allures du soubassement. On a dit que cette masse de montagnes reposait sur le Flysch et qu'on voit le Flysch marquer le pourtour entier du territoire. Ce serait juste, si l'on savait que le fond du lac de Thoune entre Spiez et Merligen, puis le sous-sol de la vallée de l'Arve à Bonneville sont occupés par le Flysch. Nous n'en avons aujourd'hui aucune preuve. Mais même en admettant que là aussi, dans ces points encore inconnus, le Flysch puisse être signalé, rien ne nous oblige à dire que l'ensemble des plis ou la chaîne entière des Préalpes n'ait aucune racine dans le sol autochthone. L'inconnu est immense sous les Préalpes. On peut admettre des chevauchements de tous côtés et cependant l'on n'a pas démontré que l'axe ou plusieurs centres ne peuvent pas être en relations tectoniques avec les profondeurs du sol disloqué et replié *ad libitum*. C'est du reste ce qui probablement existe à en juger d'après les allures du Flysch qui s'enfonce au N. comme au S. jusqu'à une certaine distance, mais non pas partout sous les Préalpes. Il suffit qu'une seule attache subsiste, il se pourrait même que toute attache avec les roches en profondeur ait été interceptée par les contractions de l'écorce terrestre, pour qu'il devienne superflu de faire subir à ces montagnes un charriage purement hypothétique. On conçoit des resserrements et des étranglements sous une chaîne de montagnes, un déversement périphérique, suivant l'expression de M. Bertrand; les lois de contraction de l'écorce terrestre les rendent possibles. Deux lignes de chevauchement parallèles suffisent.

M. le professeur E. Haug à Paris a comparé l'ensemble des Préalpes et la disposition générale de leurs plis à un „*éventail composé*“. C'est bien l'image que prend la coupe transversale des Préalpes (Pl. 2, fig 2). L'expression de „pli en champignon“ qui a été employée ici et en particulier dans le Chablais, est moins

heureuse, parce qu'il s'agit d'un système ou faisceau de plis déjetés et chevauchés vers l'extérieur de la chaîne, vers le N. aussi bien que vers le S., un peu moins vers le S.-W. dans la région de Bonneville, mais non pas vers le lac de Thoune. La forme de la chaîne ne se compare pas non plus avec un champignon. Ce qu'il y a sous les Préalpes, un tunnel comme celui du Simplon pourrait seul nous l'apprendre. Que les chevauchements, c'est-à-dire l'amplitude du déversement de la chaîne vers le N. et vers le S. soit considérable, c'est ce qui est fort probable. Mais on ne peut pas tout-à-fait comparer la tectonique des Préalpes romandes avec les grands plis du Simplon qui sont tous dirigés vers l'axe de la chaîne des Alpes, et ne présentent pas les chevauchements caractéristiques du Flysch des Préalpes. Nous serons obligés toutefois d'admettre dans la zone bordière de la molasse au N. des Alpes un resserrement et une contraction de l'écorce terrestre plus considérables encore que ce que l'on a bien constaté aujourd'hui dans le versant S. de la chaîne des Alpes. Mais nous ne voyons pas pour autant la nécessité qu'il pourrait y avoir à déclarer les Préalpes d'origine transalpine. *La tectonique ne nous y oblige point, la stratigraphie s'y oppose.*

La stratigraphie montre que les Préalpes sont autochthones

Les roches dont sont constituées les Préalpes, ainsi que M. Haug¹⁾ l'a très bien résumé dans ses deux travaux de 1894 et de 1899, n'ont aucune relation de faciès bien établie avec le Trias, le Jurassique et le Crétacique du Tessin, ni avec les roches du Valais (nappe

¹⁾ E. Haug : Origine des Préalpes romandes et les zones de sédimentation des Alpes, (Archives de Genève, 3^e pér; t. 32, p. 154-173) et les régions dites exotiques du versant nord des Alpes suisses (Bull. Soc. vaud. sc. nat., t. 35, No 132).

lépontiennne de M. Steinmann), mais bien avec celles du bassin du Rhône, du Jura, puis avec celles de la Bavière. Les Préalpes romandes sont plissées et disloquées sur l'emplacement même du bassin sédimentaire ou géosynclinal qui a déposé leurs terrains et qui a produit les divers faciès qu'on y connaît. Ces différences de faciès sont dues à des différences bathymétriques dans le géosynclinal simple ou composé qui longeait les massifs centraux des Alpes. Neumayr l'a appelé Méditerranée centrale, puis helvético-bavaroise et Mésogée. Il y eut sans doute des hauts-fonds, qui peuvent très-bien expliquer le dépôt des brèches jurassiques du Chablais et de la Hornfluh, des rivages momentanés, comme celui qui est marqué par les dépôts de charbons du Simmenthal (probablement séquaniens et non pas bathoniens), les lacunes du Callovien et de l'Oxfordien, comme dans le Jura méridional, puis la grande transgression crétacique qui dépose des couches rouges à *Am. Mantelli*. (Cénomanienn) dans la région du Jura, les couches rouges turoniennes à Hippurites et *Ananchytes ovata* dans les Préalpes. Il n'y a pas de relations chorologiques sûrement établies avec la *scaglia* du Tessin, qui correspond probablement au Hils (Berriasien-Aptien) autant qu'à la Craie proprement dite. Les différences pétrographiques des dépôts supracrétaciques du Jura, des Préalpes et du Tessin sont vraiment trop peu considérables pour pouvoir en tirer des conclusions en faveur de l'origine transalpine des Préalpes, plutôt que de les considérer comme autochtones.

Il y a des étages nombreux qui présentent les analogies les plus grandes et les plus sûres entre les sédiments du Jura et ceux des Préalpes, tandis qu'il n'y a guère que le Turonien, comme nous venons de le voir, qui présente quelques ressemblances des deux côtés des Alpes. Il suffit de citer le Bajocienn, avec ses calcaires siliceux gris et micacés, de vrais grès analogues à ceux de

la molasse oligocène (grès de Vaulruz, de Ralligen, etc.), lequel s'étend depuis les Alpes françaises à travers les Préalpes externes jusqu'au Buochserhorn. Eh bien, ces grès bajociens, qui contiennent de nombreux *Stephanoceras Baylei*, *S. Freycineti*, *S. Humphriesianum*, etc. à Broc (Musée de Fribourg), *Cosmoceras Garantianum*, *Stephanoceras Humphriesianum* et des *Patoceras* ou *Hamites* également bajociens au Buochserhorn (Musée de Zurich); touchent le Jura aussi en un point, justement vis-à-vis des Alpes fribourgeoises, dans les calcaires foncés, gréseux et micacés à Stephanocères, etc. de la Combettaz derrière le Suchet.¹⁾ Pour compléter l'analogie, le Bajocien de la Combettaz livre des empreintes de *Cancellophycos scoparius* Thiol. tout comme le Dogger à *Cancellophycos* (*Zoophycos*) *scoparius* des Préalpes fribourgeoises. Rien de pareil dans le Dogger des Hautes-Alpes, ni dans celui du Tessin. Les sédiments sableux et micacés qu'un courant a déposés dans le géosynclinal bajocien au N. des Alpes ont atteint momentanément le Jura; ils proclament le voisinage des dépôts analogues des Préalpes. Ils annoncent aussi que la région des Hautes-Alpes était partiellement émergée depuis le Lias inférieur, comme l'indiquent très-bien les brèches et poudingues littoraux du Val-Ferret au S. du Mont-Blanc,²⁾ et le bajocien littoral ferrugineux de l'Amone³⁾ qui recouvre les précédents. Tous ces dépôts, ainsi que les brèches du Dogger de la base du Balmhorn appartiennent au bassin helvétique au N. des massifs cristallins des Alpes pennines. M. Haug a cité des exemples analogues dans le Lias: calcaires sinémuriens à ariétites et gryphées dans les Préalpes et jusque dans le massif du Balmhorn (Oberferden), schistes toarciens du Moléson à faune de

¹⁾ Th. Rittener: Matér. Carte géol. de la Suisse, nouv. série, livr. 11, 1902, p. 8 et p. 11.

²⁾ L. Duparc et L. Mrazec: Mont-Blanc, p. 18.

³⁾ J.-B. Greppin: Emulation jurassienne, 1876, p. 368-369, Delémont.

Céphalopodes et *Ichthyosaurus tenuirostris* du faciès souabe très typique, comme dans le Jura, brèches échinodermiques de l'Aalénien comme en Bavière et dans le Jura, etc. Il n'y a que fort peu de chose dans le Lias et dans le Dogger du Tessin qui rappelle de loin les dépôts synchroniques du versant N. des Alpes.¹⁾ J'ai pu m'en assurer *de visu* lors d'une excursion en mars dernier, à laquelle j'avais été invité par M. le professeur Heim. Je regrette vivement d'avoir à formuler une conviction opposée à celle de mon excellent maître, puisqu'elle a été formée sous ses auspices et par l'occasion qu'il m'a procurée de l'accompagner. Les roches à échinodermes du Lias moyen qui se retrouvent en Bavière et près de Salzbourg (Hierlatz) tout comme dans les Préalpes romandes (Arvel et Rossinières), présentent il est vrai des analogies de faciès des deux côtés des Alpes, mais c'est tout ce qu'on peut tirer de dépôts zoogènes qui ne montrent aucun apport suivant une direction déterminée et qui peuvent se reproduire partout dans les régions pélagiques. De même les calcaires rouges à concrétions de radiolarite (jaspe à radiolaires) se trouvent un peu partout dans les dépôts bathiaux du Malm supérieur au S. des Alpes, en Bavière, dans les Grisons, etc. Il serait absurde de prétendre que les régions profondes de la mer jurassique doivent toutes avoir été localisées primitivement au S. des Alpes. Les dépôts de mer profonde doivent se ressembler un peu partout, tandis que les sédiments littoraux, qui dépendent mieux des courants marins et de la constitution des rivages, permettent de reconstituer beaucoup plus exactement la paléogéographie ou la distribution des terres et des mers aux différentes époques géologiques.

¹⁾ Alb. Heim: Ein Profil am Südrand der Alpen. (Vierteljahrschrift der natur. Gesell. in Zürich, 1906, Heft 1, p. 1-49).

Les Alpes orientales et la théorie de M. Termier

Ce que nous venons de dire au sujet des Préalpes romandes existe aussi et au même titre pour les Alpes bavaoises et du Tyrol septentrional. Ici aussi on a voulu voir une immense nappe de charriage venue de plus de 100 kilomètres plus au S., des montagnes calcaires du Tyrol méridional ou Dinarides¹.) On croit reconnaître dans les terrains de cette contrée les mêmes roches que celles du Tyrol méridional et des Alpes dinariques. Il y a bien en effet des ressemblances et des homologies de faciès sur lesquelles nous reviendrons tout à l'heure. Cette longue zone calcaire, mesurant depuis le Rhin jusqu'à Vienne près 500 kilom. sur une largeur moyenne de 50 kilom. serait double ou même formée de nappes multiples, puis les Dinarides auraient recouvert ces nappes par un suprême chevauchement qui aurait joué le rôle d'un „traîneau écraseur“ durant le plissement, puis il aurait complètement disparu par l'érosion.

Sur la carte de Fr. Noé (Geolog. Uebersichtskarte der Alpen im 1 : 1 000 000, Wien 1890), une bande de phyllites (Thonschiefer, Glanzschiefer, Casannaschiefer der Schweiz, Quarzphyllit, Kalkphyllit, etc.) teintée de la couleur du Paléozoïque, occupe la vallée de la Drave, aux environs de Klagenfurth, entre les schistes cristallins (Glimmerschiefer) et le Miocène. Elle reprend au S. du Brenner entre Lienz et Brixen jusqu'aux environs de Meran. Au N. du Brenner les mêmes schistes enchevêtrés de Trias et enchassés dans les micaschistes et les gneiss avec des cipolins forment une large bande qui s'étend partout au pied N. des Hohe-Tauern et dans la vallée de l'Inn depuis Landeck à Innsbruck, dans les vallées supérieures de la Salzach et de l'Enns, puis par Rottenmann jusqu'à

¹) P. Termier : Les nappes des Alpes orientales et la synthèse des Alpes (Bulletin de la Société géol. de France, 4^e série, t. 3, 1903, p. 711 et suivantes).

Wiener-Neustadt, c'est-à-dire à peu près partout en bordure méridionale des terrains triasiques des Alpes orientales au N. des massifs cristallins. Ces schistes ont plus d'une affinité prétérographique : avec les schistes des Grisons à bélemnites (Scopi), avec les schistes permien et les liasiques de Tarentaise, les schistes lustrés du Valais, le Flysch oligocène du Prättigau et de l'Engadine. Mais les phyllites du Pinzgau ont livré des fossiles du Silurien supérieur, à Dienten, non loin du bord méridional des Alpes calcaires nord. Pichler a découvert en 1859 au Nösslacher Joch des empreintes de plantes permien (Ottweiler-Stufe). C'est pourquoi quelques géologues ont voulu considérer le tout, même en Suisse, dans le synclinal de Glaris par exemple, comme des schistes paléozoïques. Les schistes et ardoises de Glaris sont par contre oligocènes, parce que les poissons du Plattenberg p Matt sont sûrement déterminés ; ces schistes intercalent aussi des bancs à nummulites. Les schistes noirs grenatifères du Scopi et du col du Nufenen contiennent des rostrs courts de Bélemnoides qui paraissent appartenir au Lias supérieur ou au Dogger inférieur. Lorsque des schistes paléozoïques, liasiques ou oligocènes se superposent en transgressivité, sans roches calcaires intermédiaires, et que les fossiles font défaut, ou quand le métamorphisme prévaut, on conçoit la difficulté extrême de tracer des limites stratigraphiques dans les schistes de l'aspect du Flysch.

Sur la carte de Lepsius (Geol. Karte des Deutschen Reichs im 1 : 1 500 000, sect. 26, 27, Gotha u. Darmstadt 1894-97) cette bande de phyllites est déjà moins continue, elle est dédoublée longitudinalement avec un massif de micaschistes intermédiaire au S. d'Innsbruck. Elle est marquée en Cambrium (W). Il est clairement indiqué qu'elle offre des interruptions considérables entre Innsbruck et Brunnau ; puis elle reprend dans la vallée de l'Inn aux environs de Landeck jusqu'au tunnel de l'Arl-

berg. Elle reparait après une nouvelle interruption au S. de Bludenz et dans la partie orientale du Rhæticon, où elle est recouverte de petits lambeaux de recouvrement. Elle paraît avoir été originairement en communication avec le Prättigau. Le Flysch de cette dernière région s'enfonce à l'E. et au S.-E. sous des masses de gneiss en chevauchement. Il est bien possible, comme MM. Rothpletz et Steinmann l'admettent, que ce Flysch s'étende par dessous les gneiss jusqu'au Gargellenthal au S. de Schruns dans le Montavon, car il affleure au fond de cette vallée latérale.¹⁾ Pour ce genre d'affleurement de roches plus jeunes au-dessous de nappes chevauchées plus anciennes, on a proposé l'expression de „fenêtres“. Jusqu'ici, les chevauchements signalés sont parfaitement admissibles. Mais il est plus qu'exagéré de vouloir poursuivre ce Flysch par dessous le massif cristallin de la Silvretta jusque dans la Basse-Engadine où reparaissent bien les phyllites, mais entourés de Lias et de roches plus anciennes, chevauchées de tous côtés sur leurs bords. Ceci n'est plus une fenêtre, c'est un encaissement de roches récentes au milieu de montagnes plus anciennes. Le synclinal de Glaris est à peu près dans le même cas, et nous avons dans le Jura des synclinaux un peu disposés comme cela. Ce sont des synclinaux en „gondole“ formés par le déversement plus ou moins complet des plis environnant vers le centre du vallon. Quiquerez avait proposé l'expression un peu trop prosaïque de „vallons en chaudron“. Pour M. Steinmann et M. Termier les schistes de la Basse-Engadine²⁾ sont les schistes du

¹⁾ Voir A. Rothpletz: Ueber den Rhätikon und die grosse rhätische Ueberschiebung (Zeitschr. der Deutsch. geol. Gesell., Jahrg. 1899, p. 86-94).

²⁾ Dans une remarquable étude sur la Basse-Engadine (Piz-Lad-Gruppe), M. Walther Schiller (Berichte der naturf. Gesell. Freiburg im Br., Bd. 16, 1906) donne à entendre par la découverte de corallines (lithothamnium) dans des roches intercalées dans les schistes, qu'il doit y avoir ici du Flysch, comme dans le Prättigau et le synclinal de Glaris.

Prättigau (Bündnerschiefer, schistes lustrés, etc.) affleurant par une fenêtre pratiquée par l'érosion dans leur nappe du Rhæticon et de la Silvretta, formée de vieux gneiss et de vieux granites chevauchés depuis l'Ortler et les Dinarides. Les schistes du Prättigau furent d'abord du Flysch pour M. Steinmann; les schistes lustrés, ceux des Hohe Tauern, peuvent être éocènes dans leur partie haute pour M. Termier; des schistes paléozoïques leur sont associés par régions (Pinzgau). La détermination stratigraphique varie ainsi d'une fenêtre à l'autre, néanmoins les relations tectoniques restent les mêmes entre les schistes et les masses rocheuses dans la théorie du charriage. Qu'un fond de vallée soit paléozoïque, mésozoïque ou cénozoïque sous la forme de schistes, tout cela ensemble forme la nappe lépontienne. Les roches dures des montagnes encaissantes qui paraissent s'étendre de tous côtés par dessus la vallée forment la nappe supérieure ou des Alpes orientales pour M. Steinmann. En raisonnant un peu de cette façon, on pourrait dire aussi que la vallée de Delémont est une fenêtre dans les terrains jurassiques qui s'étendent en nappe de recouvrement sur la molasse jusqu'à Bâle où reparaît la molasse dans le lit de la Birse et du Rhin.

La synthèse des Alpes de M. P. Termier est une somme de fortes études et de longues réflexions sur les cartes géologiques des Alpes. L'auteur a parcouru aussi les régions compliquées des Hohe Tauern et du Brenner¹⁾ et il les compare avec les régions analogues de Maurienne et de Tarentaise dans les Alpes françaises. Ce ne peut être ici notre intention de rechercher comment M. Termier est arrivé à établir sa synthèse. Ses ouvrages sont d'une lecture un peu ardue pour celui qui ne connaît pas très bien les travaux antérieurs et qui s'en tient surtout aux grandes lignes. Au reste, les détails, qui sont

¹⁾ P. Termier: Les Alpes entre le Brenner et la Valteline (Bulletin Soc. géol. de France 4^e sér., t. 5, 1905, p. 209 et suiv.)

loin d'avoir été relevés partout avec les mêmes soins, reproduisent généralement les accidents connus dans les Alpes : plis discontinus, chevauchements, et par places pointements des roches ophiolithiques (variolites, serpentines, porphyrites diabasiques, etc.). Les échelles stratigraphiques ne sont pas établies assez sûrement pour qu'il n'y ait plus rien à changer dans les relations tectoniques, et pour les grandes masses de phyllites, tout n'est pas débrouillé, comme nous l'avons déjà dit. C'est pourquoi de nouvelles découvertes peuvent amener des changements considérables dans la manière d'interpréter la tectonique des Alpes orientales. Ce n'est pas d'aujourd'hui que nous sommes habitués à devoir tenir compte des nouvelles découvertes. M. Termier est persuadé que des recherches ultérieures lui donneront raison à l'encontre des géologues autrichiens, qui sont, en général, très peu disposés à entrer dans les vues du courageux champion de la théorie du charriage. Pour moi, je pense ne pas me tromper en disant que le nombre ira en augmentant de ceux qui, dès à présent, peuvent dire à M. Termier qu'il a fait fausse route. Mais examinons un peu sa synthèse des Alpes.

Le premier travail qui, sans aucune réticence, montre M. Termier gagné à la cause du charriage, contient quelques pages d'une réelle beauté, des images saisissantes et entraînantes. „ Comme les arbres de la vallée du Rhône sous la poussée irrésistible du mistral, comme les fumées d'un pays industriel sous le vent qui les rabat et les roule, les plis des Alpes ont été couchés vers l'extérieur de la chaîne. Et la force qui les a couchés a été assez énergique pour les empiler les uns sur les autres, les laminier, les étirer, les fragmenter tant et si bien que les nappes ainsi formées s'en sont allées jusqu'à 100, 120 et peut-être 150 kilomètres de leur origine“. (Bull. Fr. 1903, p. 761). Les grands traits de la théorie soutenue par M. Termier sont en somme les suivants. Il commence

par critiquer l'expression de massifs centraux ou noyaux cristallins dans les Alpes. Les plus étendus de ces massifs centraux, comme ceux des Alpes orientales, ne constituent pas selon notre auteur des soubassements cristallins autochthones ou enracinés dans la profondeur. Ils auraient subi des déplacements latéraux en bloc sous les efforts du plissement des Alpes. En particulier la région des Hohe Tauern avec son manteau de schistes lustrés (paléozoïque, mésozoïque et peut-être néozoïque dans sa partie haute, intercalant des lames de Trias) ne serait point en place; elle ferait partie d'une nappe double de charriage qui déverse deux grands plis couchés avec empilement de plis secondaires ou de lames de roches cristallines provenant du Tyrol méridional (Pusterthal, Gailthal). Les Hohe Tauern mêmes pousseraient une nappe en profondeur sur le bord autochtone des Alpes bavaroises (Pl. 1). Les Alpes calcaires bavaroises seraient la nappe la plus élevée actuellement, un immense pli couché de 45 kilomètres de largeur et de 500 kilomètres de longueur depuis Feldkirch jusqu'à Vienne. Son front nord, débordant la nappe des Hohe Tauern, reposerait sur les petits plis des terrains tertiaires et crétaciques autochthones. Le Tertiaire bavarois est dessiné en profondeur comme soubassement autochtone horizontal faiblement plissé jusqu'au-dessous des Hohe Tauern. Au N. des Hohe Tauern, rien ne serait en place à la surface du sol, il n'y aurait que des nappes ou de vastes plis couchés d'autant plus étirés qu'ils sont plus profonds et chargés davantage. Au Sud des Hohe Tauern, il y a des roches cristallines normales qui auraient participé au mouvement des nappes du S. au N., puis la racine hypothétique de la nappe supérieure, actuellement recouverte par les Dinarides. Pour obtenir la compression des plis situés au N. des Hohe Tauern, M. Termier ne trouve pas suffisante la masse calcaire des Alpes bavaroises, il imagine une troisième nappe par dessus les autres. Celle-ci proviendrait direc-

tement des Dinarides, elle aurait été complètement enlevée plus tard par l'érosion de par dessus les voûtes et les synclinaux des Alpes bavaroises. „Le pays dinarique a joué, pour la plus grande partie du pays alpin, le rôle de *traîneau écraseur*“. (*Loc. cit.* p. 762). Cette nappe de chevauchement devait être simple et non pas double comme les autres; elle aurait dirigé le plissement des nappes inférieures. Formée par les roches calcaires et dolomitiques du Tyrol méridional, l'érosion l'aurait attaquée même dans les synclinaux des Alpes bavaroises, où sont restées par contre les roches tendres de l'Oligocène (Häring), de la Craie (Gosau, etc.). A l'encontre d'autres opinions sur la durée du charriage, qui le font commencer après le dépôt du Flysch et continuer jusqu'aux temps quaternaires, et sans distinguer entre une période de charriage prémiocène et une période de plissements normaux postmiocènes, l'auteur parisien, évaluant à 150 kilomètres au moins le resserrement du pays alpin, pense que ce mouvement a dû être lent et graduel. „Tout indique au contraire que la translation du traîneau écraseur a été un phénomène brusque et rapide, comme il convient à une rupture d'équilibre. Cette translation a été facilitée, sinon déterminée, par un affaissement préalable de toute la région alpine: et il est probable que les sommets les plus élevés du pays transporté ne se sont trouvés, à aucun moment du transport, beaucoup au-dessus du niveau de la mer... C'est un traîneau solide non plissé, qui a passé sur les Alpes. Et c'est après sa translation qu'il s'est affaissé et disloqué, d'abord, puisqu'il s'est plissé de lui-même, et par simple élasticité en poussant au vide sur la région adriatique effondrée.“ (*Loc. cit.* p. 762-763).

La théorie de M. Termier ne se comprend bien que quand on étudie les profils schématiques qu'il donne sur la planche XXII du volume cité. Il n'est pas difficile de se représenter ce qu'y voit le géologue français. Mais quant à y puiser la conviction que les Alpes présen-

tent réellement ces plis dans les profondeurs du sol, c'est une autre affaire. L'imagination de l'auteur a-t-elle été bien dirigée? La lumière qui a éclairé son intelligence est-elle le vrai flambeau de la science? A chacun d'y répondre selon sa propre conviction, ses propres lumières et son expérience. En tout cas il ne serait pas difficile, avec les mêmes données des cartes géologiques actuelles et des travaux les plus récents, de construire des profils géologiques bien différents de ceux de M. Termier. Sans exiger précisément pour la construction des profils géologiques une méthode mathématique (ce qui est impossible), il est pourtant désirable que les courbes que nous construisons dans les régions détruites par l'érosion et dans les profondeurs inconnues du sol, soient indiquées par quelques jalons. Quand ces jalons manquent, il vaut mieux attendre jusqu'à ce qu'on en ait trouvé. Mais plusieurs sont impatients et attachent une certaine gloire à prédire d'avance la structure des montagnes et voir jusqu'où les théories sont applicables. Chacun a le droit d'établir une théorie, quitte à reconnaître par la suite qu'on s'était trompé. Eh bien, si M. Termier se trompe, ce que je crois pour ma part, parce que je me représente autrement que lui le plissement et les dislocations de l'écorce terrestre, examinons au moins l'idée qu'il s'est formée sur les mouvements orogéniques et la formation des montagnes. Cette idée modifiera dans un sens peut-être encore inopiné nos conceptions théoriques, tout comme elle donnera de plus fortes raisons d'être au mode de construction des profils géologiques auquel nous sommes habitués. Voici donc ce que je vois dans la synthèse de M. Termier de Marseille.

Sur l'emplacement des Alpes orientales (profil Vénétie-Bavière par les Hohe Tauern, voir Pl. 1) les terrains tertiaires bavarois s'avancent à peu près jusqu'au milieu de la longueur actuelle du profil, jusqu'au point c (Mairhofen). Par le rétrécissement de 150 kilomètres que sui-

avant M. Termier cette largeur de 240 kilomètres (Vérone-Füssen) a subi, la molasse doit s'être en outre rétrécie et plissée. C'est ce qu'indiquent bien les profils cités, dont nous donnons ici un schéma selon la théorie du charriage. Au cours de ce rétrécissement, la ligne c a, ou même une plus grande zone c b par exemple, (figure supérieure) se soulève et se déverse en un double pli couché vers le Nord b₁ a₁ c₁ (figure inférieure). Sitôt après, la masse actuelle des Dinarides sort de dessous la plaine du Pô, ou du fond de la mer Adriatique, et pousse le traîneau écraseur par dessus les nappes, les comprime, les dirige et les adapte aux chevauchements qu'on observe actuellement au N. des Hohe Tauern. Comprend-on, ce mécanisme avec des couvertures de roches sédimentaires de plus de 1000 mètres d'épaisseur? Comprend-on que la zone b₁ a₁ c₁ aujourd'hui d'environ 120 kilomètres de largeur, et de 270 kilomètres au maximum (en y ajoutant les 150 kilomètres de M. Termier) à l'origine, c'est-à-dire avant le rétrécissement, ait pu s'étirer suivant la ligne b₁ a₁ c₁ d'environ 600 kilomètres? comprend-on, qu'après avoir poussé ces nappes, les Dinarides actuelles, sortant de dessous la mer avec leur soubassement de plis anté-houillers (la chaîne carnique), aient chevauché sur toute la largeur de la zone alpine actuelle de 240 kilomètres, pour diriger le plissement des nappes sous-jacentes?? Pourquoi la chaîne carnique, formée de vieux plis hercyniens, n'a-t-elle pas été broyée dans ce mouvement d'escalade? Ou bien, pourquoi ses débris ne sont-ils pas venus se loger plus au N. dans les synclinaux des Alpes bavaraises? M. Termier fait figurer sa surface hypothétique de „*trainage de Dinarides*“ sur tous ses profils, depuis le Piémont jusqu'en Vénétie. A ce taux-là, c'est toute la plaine du Piémont avec ses terrains éocènes et oligocènes, le fond de l'Adriatique qui sont montés à l'assaut des Alpes! Qui dira si l'Apennin lui-même, avec ses plis orientés tout différemment que ceux des Alpes, n'a

pas dû pousser devant lui le trainau écraseur pour le faire arriver à destination? Et puis, les Dinarides se replient en arrière par distension et leur poussée au vide! Tout cela est un peu comme la prétention du Marseillais qui, plus habile que le reste de ses compatriotes disait: „Moi, quand je saute, je saute si haut, que je reste en l'air!“ M. Termier est, si je ne me trompe, né dans le Midi, et l'on comprendra que, même sur le terrain scientifique, il soit quelque peu de Marseille ou de Tarascon, pour le tempérament et pour l'imagination!

L'exagération dans laquelle M. Termier s'est engagé si hardiment, c'est encore et toujours la raison et la nature même du plissement des sédiments qu'il se représente comme des masses plastiques à l'excès. Les innombrables fissures des masses calcaires et dolomitiques des Alpes bavaroises, les lithoclastes dans le sens transversal et dans le sens longitudinal sont pour lui des phénomènes secondaires et épigéniques. S'il est une région qui à coup sûr a subi peu de compression et de dynamométamorphisme, ce sont bien les Alpes bavaroises, surtout leurs terrains tertiaires et crétaciques. Il est donc peu probable qu'elles aient été surchargées par un traineau écraseur comme le pense M. Termier. Bien que les terrains triasiques chevauchent vers le N. sur les terrains tertiaires et crétaciques, il n'est pas du tout nécessaire d'admettre que le front de la muraille triasique des Alpes bavaroises soit un anticlinal couché vers le N. Au contraire, c'est le plus souvent un empilement de lames les unes sur les autres, comme les produisent les plissements énergiques et la structure en écailles. Il en est de même sur la frontière tyrolienne, le long de la vallée de l'Inn. Toute l'argumentation de M. Termier repose sur cette région chevauchée et faillée située au N. des Hohe Tauern. Il y a des apparences pour croire que les Alpes calcaires de Bavière reposent sur le manteau de schistes des Hohe Tauern, qui serait en partie du Flysch oligocène. Mais

ce ne sont que des apparences, telles que les produisent les chevauchements. Les Alpes bavaroises se ramènent au fond à la structure des Préalpes romandes avec de grandes lignes de chevauchement sur leurs bords, sur le septentrional aussi bien que sur le méridional. Tout ce que M. Termier dessine en profondeur sous les Alpes bavaroises est de pure imagination, et les relations tectoniques qui s'observent sur leurs bords n'obligent nullement à considérer cette région comme une nappe de recouvrement.

Les Alpes orientales sont autochthones

Il y a en outre plusieurs arguments stratigraphiques qui rendent impossible la théorie du charriage. M. de Grossouvre¹⁾ a déjà fait voir que la série crétacique du Gosau avec ses Hippurites peut fort bien avoir été déposée dans la région même où nous observons aujourd'hui ces couches, et qu'il n'est pas probable qu'elles soient arrivées des Dinarides, puisque l'existence des Hippurites est constatée dans le N. de la France, en Belgique, en Angleterre, au N. du Hartz et jusqu'en Suède. En outre, les Hippurites sont surtout les hôtes des faciès littoraux. Les conglomérats ne manquent point du reste dans la série du Gosau. Le Cénomani est déjà à l'état de brèches à Orbitolines et fragments de roches empruntées aux Alpes bavaroises (radiolarite et dolomie) depuis le Rhæticon (Tristel-Breccie) jusque dans le Wienerwald. Ces brèches et conglomérats marquent très-sûrement le bord méridional de la Mésogée crétacique au N. et non pas au S. des Alpes orientales. La transgression turo-nienne, constatée déjà dans les Alpes suisses et ailleurs, montre aussi que le rivage s'est avancé ici vers le Sud et non pas vers le N. La régression campanienne cor-

¹⁾ Bulletin de la Soc. géol. de France, 4^e série, t. 4, 1904, p. 765 et suivantes.

respondant à la formation des lignites supracrétaciques des Alpes orientales montre aussi très clairement de quel côté se trouvait la mer.

Une autre objection très sérieuse à la théorie du charriage des Alpes orientales est fournie par l'étude des gisements oligocènes de Hæring dans la vallée de l'Inn et de Reit-im-Winkel en pleins synclinaux triasiques. D'après les travaux de M. O. Reis¹⁾ et les observations faites par Gumbel²⁾ il n'est plus permis de considérer les charbons, les marnes à ciment et les grès et poudingues coralligènes de cette région intra-alpine comme éocènes, mais ils représentent au N. des Alpes le Stampien de Castel Gomberto, de Crosara (Vicentin) et d'Oberbourg (Styrie). C'est la base de la Molasse qui, de même qu'aux environs de Chambéry, a été conservée dans les synclinaux septentrionaux des Alpes bavaroises. Ce qu'il y a de particulièrement intéressant dans ces couches, c'est que leurs sédiments proviennent très certainement et en très grande partie des montagnes environnantes, surtout des dolomies triasiques et des calcaires liasiques et infra-liasiques³⁾. Ce sont des conglomérats comparables, bien que plus anciens, à certains bancs du Nagelfluh calcaire („Appenzeller-Granit“) des Alpes orientales suisses. On les retrouve absolument identiques à la base de la Molasse oligocène de la région de Miesbach, située au N. des synclinaux triasiques. Ces conglomérats nous montrent que la Molasse oligocène est liée de très près aux montagnes calcaires de la Bavière. Si ces dernières sont charriées, la Molasse l'est aussi, ce qui pousse le charriage beaucoup plus loin qu'il n'est nécessaire de l'admettre pour expliquer les rela-

¹⁾ O. Reis : Korallen der Reiter-Schichten (Geogn. Jahreshfte des k. Oberbergamtes in München, Bd. 2, p. 91-161. 4 pl., gr. in-8, München 1889.

²⁾ C. W. Gumbel : Alter der Reiter-Schichten (*Ibidem*, Bd. 2. p. 163 et seq.

³⁾ Il y a parfois aussi des galets de lydite (jaspe noir), de quartz et de roches siliceuses qui peuvent provenir des brèches crétaciques, ou même des massifs centraux déjà partiellement découpés par l'érosion.

tions tectoniques du Trias et du Tertiaire dans les Alpes orientales. En outre, le charriage ne devrait avoir eu lieu qu'après le Stampien, ou peu de temps avant le Miocène, ce qui ne laisserait pas que d'être fort embarrassant pour expliquer la provenance des matériaux détritiques de l'Oligocène. Les calcaires nummulitiques ferrugineux (Parisien du Kressenberg, etc), non plus que le Flysch lui-même avec ses calcaires à fucoïdes ne pénètrent pas, dans les synclinaux des Alpes bavaroises; ils passent avec le Crétacique supérieur en bordure des Alpes calcaires, pour venir s'étaler sur les plis urgoniens des Alpes suisses orientales et du Vorarlberg. C'est la zone dite „helvétique“ en place, bordant la Molasse, sur tous les schémas. La Molasse oligocène est donc transgressive sur l'Eocène et le Flysch comme on l'observe aussi dans les Préalpes du Chablais (Val d'Illy) et en Savoie. Le Flysch peut avoir été enlevé aussi de dessus les Alpes bavaroises avant la formation des conglomérats oligocènes. En tout cas le vrai Flysch, avec ses calcaires à fucoïdes ne recouvre pas les dépôts oligocènes de la vallée de l'Inn et doit être plus ancien qu'eux, tandis qu'on avait cru le contraire jusqu'à ces dernières années.

Alpes de la Suisse orientale

Le massif du Säntis, si bien étudié par MM. Heim père et fils, avec quelques collaborateurs,²⁾ émerge tout entier de la zone des dépôts nummulitiques tandis que les Alpes du Vorarlberg qui se relient directement au massif du Säntis présentent les grès calcaires glauconieux du Parisien, tout comme les parois des Churfirsten, dont s'occupe très-spécialement l'un de nos anciens étudiants, M. le Dr Arnold Heim. Il convient d'attendre la publication de ses travaux en préparation avant que de parler en détail

²⁾ Beiträge z. geol. Karte der Schweiz, neue Folge, Lief 16, in-4, Bern 1905, Atlas.

de cette région. Au point de vue stratigraphique, il est pourtant un fait qu'il importe de bien considérer pour se faire une idée des relations des terrains dits helvétiques de la Suisse orientale avec ceux de la Bavière. La zone du Flysch de Wildhaus entre les Churfirsten et le Säntis est la continuation de celle du Vorarlberg au S. des plis crétaïques ; et puis cette zone contient des blocs dits exotiques (Grabs) et même un môle, celui de Berglitten à l'W. de Buchs, décrit par Escher et Mösch (Beiträge z. geol. Karte der Schweiz, Lief. 14, Abth. 3, p. 106-112, 1856 et 1885). En outre le Flysch repose ici sur les marnes sénoniennes (campaniennes) homologues de celles de Siegsdorf en Bavière, étudiées par M. J. Böhm) (Voir Arn. Heim, *Säntis*, p. 325-327). Le Turonien est développé dans les Churfirsten et l'Est du Säntis sous la forme de couches rouges à *Ptychodus polygyrus* (Musée de St-Gall), qui n'est guère connu dans les environs que du Rhaeticon.⁴⁾

Au S. du Säntis, nous avons donc des terrains du type helvétique mélangés de couches rouges, un terrain nummulitique caché sous le grand chevauchement des Churfirsten, un Flysch contenant des blocs exotiques et un môle voisin de ceux du Rhaeticon. Cette zone représente donc le prolongement de la zone du Flysch du Grünten et des plis dits helvétiques, resserrés, chevauchés par les Alpes calcaires bavaïses et par le Rhaeticon. Nous allons voir quelle est l'importance de ces jalons pour l'existence en profondeur de la chaîne vindélicienne. Le Säntis et le Vorarlberg sont le rivage N. de la Mésogée infracrétacique, crétaïque et nummulitique. Tout est bien

³⁾ Palæontographica, Bd. 38, p. 1-106, Taf. 1-5, 1901-02.

⁴⁾ V. Seidlitz: Geol. Unters. im östl. Rhaeticon (Berichte nat. Gesell. Freiburg i. B., Bd. 16, 1906, p. 278 et seq.)

Note. — Une très belle dent de ce Sélacien a été remise dernièrement aux collections du Polytechnicum de Zürich par feu le prof. Weilenmann avec « Roche » comme indication de provenance. Elle était engagée dans un calcaire rouge-lie.

autochthone, mais il y a dans cette région des rétrécissements et des chevauchements considérables, tout comme au N. du Rhaeticon. Cette ligne de rétrécissements jalonnée par les môles, passe exactement par le Haut-Toggenbourg, Stein, le Mattstock, Weesen, le Haut-Wäggitthal, Ober-Yberg, le Hackerntal, où elle se rapproche considérablement de la grande ligne de chevauchement du Flysch sur la Molasse, puis de même vers Lowerz, entre le Righi et le Vitznauerstock, Hergiswyl, le pied N. du Pilate, qui est chevauché sur la Molasse, le pied N. des Schrattenfluh et du Rothhorn, le château de Ralligen près de Thoune. Puis la chaîne vindélicienne, chevauchée et recouverte de plis alpins suivant la ligne que nous venons de suivre depuis le Rhaeticon jusqu'au lac de Thoune, devient les Préalpes romandes et du Chablais à l'W. du lac de Thoune.

Les môles sont des roches détachées ou des fragments de la chaîne vindélicienne qui ont glissé vers le S. de la chaîne, probablement lors de son plissement et peut-être déjà dans la mer du Flysch, avec d'autres fragments de roches sédimentaires analogues (Muschelkalk, Keuper, Lias, Dogger, Malm, etc.), des roches cristallines, (granites polychrômes, porphyres, porphyrites, etc.). Nous allons examiner tout à l'heure le mode de formation de la chaîne vindélicienne et de son recouvrement que nous devons absolument mettre à la place d'une nappe venue de l'autre versant des Alpes, telle que la représente la théorie du charriage. Il y a certes charriage jusqu'à un certain point, mais ce n'est pas uniquement du Sud qu'il s'est opéré. Toute la tectonique de la chaîne des Alpes doit être présentée sous un autre aspect.

La théorie du charriage est rendue impossible dans les Alpes suisses orientales par les relations de faciès que l'on constate dans le Crétacique et l'Eocène. La Mésogée se présente ici sous la forme d'un étroit canal au N. des Alpes depuis la fin du Hils jusqu'à l'Eocène,

Il est des plus manifestes lors de l'Aptien déjà, ainsi qu'il appert des dernières découvertes faites sur cet étage dans les Waldstätten et les Churfirsten. Le niveau sableux, bitumineux et riche en fossiles du niveau de Clansayes (Drôme) ou l'Aptien supérieur des mœurs caractérisés ne permet pas de douter de l'existence d'un golfe étroit au pied N. des Alpes, puisqu'il existe au Grand-Bornand à l'E. d'Annecy, puis dans les Alpes vaudoises, où il est peu riche en céphalopodes, puis il passe aux Waldstätten, existant probablement dans les Alpes bernoises (Suldthal, Leerau?) et sans doute très réduit, ou mal différencié dans les Préalpes (marnes noires au-dessus du Barrémien). Il se présente très nettement avec pseudo-plancton littoral au Luitere-Zug (au S. du Buochserhorn), au Seelisberger Seeli, dans les Alpes de Schwytz (Fluberg, Wannenalp, Pfannenstöckli), dans le Haut-Wäggithal, Ochsenfeldstock), dans les Churfirsten et dans le Vorarlberg, toujours avec les mêmes caractères de faciès littoral à céphalopodes flottés et triturés par les randonnées de la mer. Partout au S. de cette ligne, il manque absolument, tandis que l'Albien et le Cénomaniens y apparaissent comme transgressifs sur le Barrémien récifal. Quoi de plus typique comme *rivage méridional* de la Mésogée aptienne au N. des Alpes! Au Säntis et au Pilate, la ligne du rivage septentrional est manifeste également, puisque la transgression albienne et cénomaniens s'y produit en sens inverse de celle du rivage sud. On pourrait citer des faits analogues à partir du Valangien (oolithes coralligènes) dans cette partie des Alpes de la Suisse.¹⁾ Et fait très significatif, la mer aptienne passe du Dauphiné par la Savoie (Annecy), c'est-à-dire toujours au N. des massifs cristallins des Alpes, depuis une région où les nappes de recouvrement ne peuvent pas être établies. De même, la mer aptienne passe en Bavière

¹⁾ A. Tobler: Faciesunterschiede der Unteren Kreide, etc. (Neues Jahrb. 1899, Bd. 2, p. 142-152).

par les Churfirften, et peut-être aussi par le Rhæticon, si les masses de marnes à rares Orbitolines de cette région se confirment pour être infracrétaciques.¹⁾

Les marnes campaniennes et peut-être daniennes du Haut-Toggenbourg et des Churfirften, qui, avec leurs deux niveaux reproduisent si bien les caractères de celles de Siegsdorf en Bavière, montrent aussi que l'étroit canal supracrétacique des Alpes orientales atteignait la Suisse en plein faciès helvétique. On ne peut pas les déclarer autochthones en Bavière, plissées avec la Molasse et charriées en Suisse depuis le faite des Alpes avec les nappes des Alpes glaronnaises. Il en est de même du Nummulitique ou de l'étage Parisien, dont la mer est venue en Suisse depuis le bassin de Vienne pour atteindre le Pilate, mais pas encore les Hautes-Alpes vaudoises (Renevier). Comment pourrait-on, raisonnablement, supposer durant les phases sédimentaires négatives, une mer sur la ligne de faite des Alpes suisses et deux autres à leurs pieds, de part et d'autre, dans les Alpes orientales? Tandis qu'en Bavière la Mésogée nummulitique ne dépasse guère le bord sud de la Molasse, en Suisse, elle pénètre dans la région des plis crétaciques actuels, mais elle s'arrête aux Préalpes, et ne dépasse guère le Säntis vers le N. Vers le S. elle s'arrête aussi au Rhæticon, et de ce fait, le nummulitique doit croiser la chaîne vindélicienne, c'est-à-dire la ligne des môles, sous les Churfirften. On trouve en effet des blocs de calcaire nummulitique rouge, différent des calcaires glauconieux des Churfirften, dans le Flysch du Flytobel à l'E. de Weesen, comme témoins de la roche en place qui doit exister dans la profondeur. Les relations tectoniques de l'Eocène avec le Flysch sont en Suisse absolument les mêmes qu'en Bavière. Il existe même des chevauchements et des lames de calcaire num-

¹⁾ v. Saidlitz, *loc. cit.* p. 276.

mulitique dans le Flysch d'Einsiedlen¹⁾, qui montrent que c'est dans ces phénomènes de chevauchement qu'il faut chercher l'origine des môles.

Dans la monographie du Säntis, MM. Alb. Heim Arn. Heim et E. Blumer admettent, sans parler du Vorarlberg, que le massif du Säntis est une nappe de recouvrement antérieure à celle des klippen d'Yberg ou du Rhæticon. De même les grands chevauchements des Alpes glaronnaises appelés d'abord „Glarner-Doppelfalte," puis „Glarnerüberfaltung" seraient une nappe de charriage inférieure à celle du Säntis. Nous n'entrerons pas ici dans les détails tectoniques de cette région. Or quand on ne considère pas le Vorarlberg ni les Alpes bavaroises, comme une série de nappes de recouvrement, mais comme des plis autochthones, et que par contre on admet pour la nappe du Säntis et des Churfirsten un charriage depuis la ligne de faite des Alpes, on arrive à une singulière anomalie. Le Crétacique supérieur (couches de Siegsdorf, etc.) formant à l'origine une zone étroite en Bavière, passerait sur les massifs cristallins des Alpes suisses, et manquerait au pied N. de ces massifs dans les plis autochthones (Windgälle, etc.). La Mésogée, dans sa phase minimale ou de régression, aurait donc recouvert uniquement la ligne de faite des Alpes en Suisse, pour passer au N. des massifs calcaires en Bavière. C'est par trop méconnaître le rôle des dômes alpins à travers les âges géologiques. Puis les charriages une fois effectués en Suisse, les terrains crétaciques supérieurs, qui couvrent partout le plus petit espace dans les Alpes françaises comme dans les Alpes orientales, viennent se placer juste sur l'alignement de ceux de Bavière. C'est pour reproduire apparemment l'étroit canal de la Mésogée au N. des Alpes. Les nappes de charriage envisagées dans

¹⁾ Voir la jolie petite carte géologique qui accompagne l'article du P. W. Siedler dans le livre de Ringholz: Geschichte des fürstl. Stiftes Einsiedeln, Bd. 1, g. in-8°, Einsiedeln, Waldshut u. Köln 1902.

les Alpes suisses sous le point de vue d'une poussée unique venant du S. entraîne donc la même hypothèse pour les Alpes orientales. Il n'y a pas de moyen terme, ou bien tout est admissible dans cet ordre d'idées, ou bien rien ne l'est.

Résumé des arguments stratigraphiques opposés à la théorie du charriage

Mais les grands charriages dirigés uniquement du S. au N. sont illusoires parce qu'ils ont pour conséquence d'amener au N. des Alpes des lignes de rivages (Dogger, Grès-verts, Craie, Nummulitique) qui indiquent le voisinage d'une ligne de faite située au N. des dômes cristallins actuels des Alpes. Ces massifs cristallins étant bien en place, les lignes de rivages qui en dépendent le sont par conséquent aussi. Les grands charriages envisagés comme on vient de dire, devraient avoir eu lieu, non pas après le dépôt du Flysch oligocène, mais après le dépôt de l'étage Stampien, lié intimement à la Molasse subalpine de Bavière. Le Stampien pénètre en effet dans les synclinaux de la vallée de l'Inn (Häring, Reit-im-Winkel), tout comme en Savoie (environs de Chambéry. Dans l'hypothèse du charriage lointain des Alpes bavaroises, le rivage de la Molasse stampienne aurait été situé non pas au N. des Hohe-Tauern, comme l'admet M. Termier, mais dans les Dinarides, tout près du rivage septentrional de la mer oligocène du Vicentin. Avec une pareille Mésogée oligocène, il n'y aurait pas de montagnes possibles sur l'emplacement actuel des Alpes. Les matériaux de la Molasse oligocène, ceux du Flysch et de ses brèches devraient se confondre avec ceux de l'Oligocène du pied S. des Alpes, et l'on ne saurait trop d'où ils seraient venus. En réalité, ces matériaux proviennent des premiers plis alpins (vindéliciens), et des régions émergées et au-

tochthones des Alpes aux temps oligocènes. De même les sédiments oligocènes du S. des Alpes (Vicentin, Brianza, Montorfano, etc.), qui sont uniquement constitués par des matériaux provenant des roches mésozoïques du versant S. des Alpes, prouvent que ce versant était émergé aux temps oligocènes.

Les charriages postéocènes de M. Steinmann et les plissements postmiocènes des Alpes

M. Steinmann l'a bien compris, aussi pour lui les phénomènes de charriage doivent-ils se placer immédiatement après le dépôt du Flysch. Le démantèlement des nappes empilées produit la Molasse oligocène, puis la miocène, sans distinction dans la composition des dépôts. Ce dernier point lui a échappé, parce qu'il pense avec les anciens auteurs que la Molasse la plus ancienne est formée de poudingues polygéniques, ou de débris de roches cristallines, granites, etc., c'est-à-dire aux dépens de sa nappe orientale alpine (ostalpine Decke) la plus élevée. En réalité les conglomerats en question sont tous miocènes et non pas oligocènes, parce qu'ils sont tous supérieurs à la Molasse rouge à *Helix Ramondi* (Appenzell) qui est aquitanienne.¹⁾ Dans l'hypothèse de M. Steinmann, la Molasse stampienne, la Molasse rouge du Val d'Illicz, etc., seraient en transgression sur les nappes déjà charriées. Et en effet, on doit admettre une période d'érosion dans le synclinal de Reit-im-Winkel pour débayer le Flysch (s'il a pénétré jusque là), le Crétacique et le Jurassique, de manière à mettre le Rhétien et les dolomies triasiques à découvert avant le dépôt de la Molasse. Mais les plissements énergiques de la zone subal-

¹⁾ Voir Bulletin de la Soc. géol. de France, 4^e sér. t. 1, p. 684-685, 1901; et Vierteljahrschrift naturf. Gesell. Zürich, Jahrg. 49, Juli 1901, p. 159-170.

pine de Suisse et de Bavière (zône helvétique de M. Steinmann) et les grands chevauchements des montagnes calcaires sur cette zône subalpine n'ont pas leur raison d'être et ne s'expliquent pas dans un plissement des Alpes après les grands charriages, et l'on retombe dans la théorie de M. Termier, la seule poussée logiquement jusqu'au bout. C'est au fond la seule qu'il importe de réfuter, ainsi que nous pensons l'avoir fait. En admettant donc que les grands charriages de M. Termier n'aient commencé qu'après le dépôt du Stampien, ou même après l'Aquitanién, partout lagunaire, nous arrivons au Miocène proprement dit qui est partout formé de gros débris au pied des Alpes. La Molasse miocène montre par ses grands bancs de poudingues ou de Nagelfluh (Peissenberg, Speer, Righi, Thoune, etc.) que les Préalpes et les Alpes prennent un relief bien accusé, et que l'érosion intensive commence son œuvre. Mais les grands chevauchements de la Suisse et de la Bavière (voir pl. 2 fig. 1, pl. 3, et notre esquisse tectonique, pl. 7,) sont plus récents que le dépôt de la Molasse tout entière. Les grands plissements alpins ont affecté non seulement les Alpes, mais aussi la Molasse subalpine oligocène et la miocène. Les grands chevauchements, tels que nous les constatons dans les Alpes, sont plus récents que le dépôt de la Molasse miocène et ne peuvent par conséquent pas nous expliquer l'origine des poudingues de la Molasse. On le voit, les grandes dislocations sur lesquelles se base la théorie du charriage, sont récentes, elles font partie des plissements alpins contemporains de ceux du Jura. Ces grands plissements tombent pendant la durée du Pliocène, comme M. le professeur Heim l'a fait voir dans son étude géologique sur les environs de Chiasso,¹⁾ et de même son fils dans une étude plus récente.²⁾ Mais dans ce cas le plis-

¹⁾ Alb. Heim: Ein Profil am Südrand der Alpen, etc. (*loc. cit.*).

²⁾ Arn. Heim: Die Brandung der Alpen am Nagelfluhgebirge (*Vierteljahrsschrift Zürich*, Jahrg. 51. 1906, p. 441-461).

sement des Alpes ne nous rend pas compte des matériaux qui composent la Molasse et ses poudingues, et le plissement aurait affecté une région qui se serait déjà débarrassée de toute la masse des sédiments de la Molasse. Cette nappe, d'une longueur égale à celle des Alpes (1200 kilom. sur le bord externe de Vienne à Nice), d'une largeur d'au moins 50 kilom. en moyenne, et d'une épaisseur moyenne de plus de 1000 m. rend en somme bien compte de la dénudation des sédiments mésozoïques sur les massifs centraux.

De quelque manière que l'on envisage les faits et les relations que la théorie du charriage cherche à mettre en corps de doctrine, on voit qu'elle n'explique rien complètement ni clairement. Abordons maintenant l'explication que nous pensons pouvoir substituer à la théorie du charriage. Nous avons examiné tous les arguments de cette dernière, nous l'avons envisagée dans toutes ses variantes et nous ne saurions en imaginer de plus rationnelle en restant dans le cercle d'idées où elle se meut, c'est à-dire dans la théorie d'un surplissement unique, agissant du S. vers le N. de la chaîne alpine.

Autre interprétation

Puissions-nous maintenant convaincre nos adversaires. Ils demandent des preuves, avec autant de bonnes raisons que nous leur demandons de prouver leurs assertions, ce qu'ils font toujours en disant que les substratum autochthones sont cachés dans les profondeurs du sol, ou bien que les liaisons des nappes, leurs relations de faciès, les traîneaux écraseurs, etc., ont été totalement détruits par l'érosion. Nos preuves directes sont aussi dans les profondeurs du sol, puisque nous pensons pouvoir relier les affleurements par en bas, un peu comme nos compétiteurs le font par en haut, dans les parties

aériennes des profils. Voilà toute la différence entre les deux interprétations, mais les conséquences sont bien différentes, quand on les applique à la genèse géologique et à la structure de l'ensemble des Alpes. Nous ne pouvons pas démontrer mathématiquement cette structure, car nous avons déjà dit en critiquant la théorie du charriage, que les jalons et les données certaines nous manquent sur un trop grand nombre de points pour tirer nos courbes avec précision. Nous devons donc présenter notre interprétation des profils comme un postulat scientifique au même titre que les partisans de la théorie du charriage le font pour la leur. On finira bien par voir de quel côté se trouve la vérité, ou bien, si elle se trouve entre les deux théories, laquelle a été le plus près du but, laquelle a le plus de chance et de mérite de la faire découvrir. Il me semble qu'à cet effet une interprétation quelconque basée sur des indices positifs a toujours sa raison d'être et sa valeur.

Théorie de B. Studer

Il ne s'agit ici rien moins que de la rénovation d'une théorie qui a été émise par B. Studer (*Geologie der Schweiz*, Bd. 2, p. 387-389) il y a plus de cinquante ans, et qui malgré ce qu'elle avait de satisfaisant pour le milieu du siècle passé, n'a jamais été adaptée à nos connaissances actuelles. Je veux dire qu'elle n'a pas été mise en relations avec le plissement des Alpes par affaissement et contraction des bassins tertiaires environnants, tel que nous pouvons l'entrevoir aujourd'hui.¹⁾ B. Studer a supposé que des collines et des rangées de môles granitiques, de porphyres, de serpentines et des schistes cristallins bordaient la côte méridionale de la mer molassique en contact avec les premières voussures des

¹⁾ Voir *Annales de géographie*, t. 12, 1903, p. 403-410, gr. in-8° a ris.

terrains jurassiques, crétaciques, nummulitiques et du Flysch des Préalpes suisses et bavaoises. Les vagues de la mer molassique et l'érosion atmosphérique aidée des fleuves descendant des Alpes d'alors ont attaqué cette chaîne bordière appelée plus tard „chaîne vindélicienne“ (Vindelisches Gebirge) par C. W. Gümbel, d'après la tribu gauloise des *Vindelicii* qui habitait la Haute-Bavière et le Vorarlberg autour de la ville d'Augsbourg (autrefois Augusta Vindelicorum). Les gros galets arrondis par le roulis des vagues fournirent les cailloux des poudingues molassiques ou du Nagelfluh, tandis que les courants déposèrent au loin le sable et les marnes qui constituent aujourd'hui la Molasse de la Suisse et de la Bavière. Pendant la formation de ce terrain miocène, une faille verticale parallèle à la côte coupe les collines granitiques en deux zones, dont la plus surchargée par le dépôt de la molasse commence à s'enfoncer lentement au fur et à mesure que le reste de la chaîne bordière et des montagnes calcaires de la côte se détruit pour fournir les derniers sédiments de la Molasse. Par places il se forme des bancs de galets surtout cristallins, ailleurs suivant la proximité de roches calcaires, et après la destruction à peu près complète des collines granitiques, il se forme des bancs de poudingues calcaires (Kalknagelfluh, Appenzellergranit, etc.). Après le dépôt de la Molasse et du Nagelfluh, la poussée qui fait surgir les Alpes cristallines presse les voissures calcaires du bord préalpin les unes contre les autres, les fait chevaucher sur les collines granitiques encore debout et les oblige à s'enfoncer avec le Flysch sous la charge des montagnes qui les recouvrent actuellement.

Ainsi, d'après Studer, les premières chaînes subalpines (Stockhorn, Niederhorn, Pilate, Säntis, etc.) étaient déjà plissées dès les premiers temps molassiques et les collines granitiques qui les accompagnaient sur le rivage y avaient été placées par un soulèvement quelconque dont

l'âge n'est pas indiqué. Le contact de ces deux rangées d'éminences est dessiné en discordance dans les croquis illustrant la conception théorique du célèbre géologue bernois. Comme les môles de la Suisse centrale n'étaient pas déterminés alors comme jurassiques, il n'est pas question de les voir en contact discordant avec les collines de granite. Mais Studer en pensait certainement autant des Préalpes romandes puisqu'il dit (*Loc. cit.*, Bd. 2, p. 100) que la chaîne bordière des Alpes, celle des Ralligstöcke, semble remplacer la chaîne du Stockhorn, dans laquelle des dislocations intenses, des écrasements et des failles ont également pris naissance. Il dessine aussi d'après Rüttimeyer (*Denkschriften der Schw. nat. Gesell.* Bd. 40, 1847) du calcaire jurassique (Oxfordkalk, Châtelkalk) et même du grès de Taveyannaz dans la région du Flysch écrasé au N.-E. de Merligen. Ce calcaire jurassique de Bärenegg a passé en Leimernschichten éocènes ou calcaires schisteux riches en globigérines sur la carte géologique de la Suisse, feuille XIII par Jos. Kaufmann.¹⁾ Ce pourrait être aussi du Crétacique supérieur (Turonien) d'après le même auteur ; la question n'est pas tranchée définitivement. Mais les calcaires jurassiques des Préalpes sont considérés par B. Studer comme ayant fourni aux poudingues molassiques des matériaux sédimentaires et des galets. (*Loc. cit.* p. 387). Ainsi pour notre auteur, la chaîne déjà soulevée s'étend non seulement aux collines granitiques aujourd'hui recouvertes, mais aussi aux Préalpes romandes, au moins dans leur bordure externe, aux chaînes côtières marquées „Alpenland“ dans les croquis de Studer, c'est-à-dire aux plis aujourd'hui déjetés des Ralligstöcke, du Pilate, de la Righi-Hochfluh, du Säntis, etc. Studer n'a pas lui-même employé la désignation de chaîne vindélicienne, mais le terme de chaîne côtière ou bordière (*Randgebirge*). Lors

¹⁾ Beiträge z. geol. Karte der Schweiz, Lief. 24, (1886), p. 275 et 553.

bien même que l'on ne voudrait aujourd'hui réserver le nom de chaîne vindélicienne que pour la partie granitique recouverte, Studer pensait bien que toute la chaîne bordière telle qu'il la dessine avait livré les matériaux constitutifs de la Molasse et des poudingues tertiaires. Mais il y a là une erreur, car les Ralligstöcke, le Pilate, le Säntis, c'est-à-dire les premières chaînes crétaciques des Alpes suisses ne devaient pas être plissées, ni même émergées comme les Préalpes romandes dès les temps oligocènes.

La chaîne vindélicienne et ses éléments actuels, relations avec les Préalpes

La chaîne vindélicienne comprend donc pour nous les Préalpes romandes avec leur prolongement recouvert à l'E. du lac de Thoune, puis les môles qui s'en sont détachés, le Rhæticon et les débris constatés par Gumbel dans la région du Grünten près de Sonthofen, c'est-à-dire *les montagnes subalpines déjà plissées dès le début de la période molassique*, à l'exclusion des chaînes crétaciques, indiquées comme „Alpenland“ par B. Studer, et poussées actuellement sur les débris de la chaîne vindélicienne. A part ces différences, les événements orogéniques sont à peu près ceux qu'a entrevus notre devancier. Examinons de plus près les éléments de notre chaîne vindélicienne.

Toute la partie des Préalpes romandes qui s'étend de l'Arve à l'Aar a été décrite récemment dans plusieurs mémoires, notamment dans les Bulletins des services de la Carte géologique détaillée de la France (N^{os} 6, 22, 26, 27, 32, 47, 49 et 108), dans les livraisons 12, 18 et 22 des Matériaux pour la Carte géologique de la Suisse, dans plusieurs volumes du Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles, du Bulletin de la Société murithienne

du Valais, des Archives de Genève, le volume de 1893 des Actes de la Société helv. des sc. nat., etc. Il faut prendre connaissance de ces grands et patients travaux de nos confrères français et suisses, MM. Michel-Lévy, M. Bertrand, E. Haug, E. Renevier, Aug. Jaccard, V. Gilliéron, E. Favre, G. Maillard, J. Schardt, M. Lugeon, Th. Rittener, Fréd. Jaccard, Ch. Jacob. L'ensemble des Préalpes n'a plus été décrit depuis B. Studer dont les ouvrages (*Westliche Schweizer-Alpen*, *Geologie der Schweiz*) sont maintenant à rectifier sur une foule de points. Toutefois la série stratigraphique est déjà bien établie dans le dernier de ces ouvrages. C'est surtout la tectonique qui est envisagée dans son ensemble et dans ses relations avec la structure de la chaîne des Alpes dans les écrits plus récents que nous venons de mentionner. Les profils de M. le professeur Schardt sont jusqu'ici les plus complets pour les Préalpes romandes.¹⁾ Dans aucun de ces écrits, sauf dans les pages citées de B. Studer et dans le travail de M. Haug de 1896 (*Bull. serv. carte France*, numéro 47, p. 60-63), il n'est fait de distinction d'âge entre le plissement des Préalpes et celui des Hautes-Alpes, car la théorie du charriage considère le plissement comme continu. Mais c'est bien là le caractère essentiel des Préalpes, c'est leur plus grand âge que les plis des Hautes-Alpes et du Jura. Il ressort clairement du degré de découpe ou d'érosion de la chaîne; il est frappant dans la région du Stockhorn, dans les plis centraux surtout qui présentent partout des arêtes synclinales de Hils et de Malm, peu ou très-peu de vallons synclinaux crétaciques et éocènes, comme c'est si souvent le cas dans les chaînes crétaciques des Alpes suisses centrales et orientales. Dans la région interne des Préalpes, qui se complique de grands chevauchements avec de vastes lames

¹⁾ H. Schardt: Les Préalpes romandes (Zône Stockhorn-Chablais), (*Bull. Soc. neuchâtel. de géogr.*, t. 11, 1899) et: *Die exotischen Gebiete, Klippen*, etc., (*Eclogae geol. Helv.*, Bd. 5, Nos 4, 6, pl. 2, 1898).

où écaillés jurassiques sortant du Flysch et disloquées avec lui, l'érosion n'a pas imprimé à toutes les montagnes le même caractère de vétusté. Il paraît en être de même dans les Alpes du Chablais et dans les Préalpes vaudoises, où de longues arêtes analogues à celles du Jura font penser à un plissement plus récent, ou peut-être à un plissement qui a rajeuni les anciens plis. Le chevauchement général des Préalpes sur le Flysch et sur la Molasse est bien la preuve de leur remaniement par les plissements alpins postmiocènes. La région disloquée des Ormonds et du Simmenthal répond aussi à ce remaniement.

Régions des Préalpes qui restent en dehors de la chaîne vindélicienne

Il est dès lors bien probable que la chaîne vindélicienne fut constituée presque uniquement par les premiers plis centraux des Préalpes, ceux de la région du Stockhorn en particulier. Les régions adjacentes du Simmenthal, des Ormonds et la chaîne la plus extérieure, celle des Pléiades sont venues s'ajouter plus tard, lors des plissements postmiocènes alpins, à la chaîne vindélicienne en produisant les différences de structure et de découpe que nous venons de signaler. Ainsi, la chaîne vindélicienne et les Préalpes romandes actuelles ne sont pas des conceptions équivalentes, ni dans le temps, ni dans l'espace. La montagne des Voirons, en particulier, ne peut pas être rattachée à la chaîne vindélicienne, bien que nous la comparions aujourd'hui avec les Préalpes romandes, surtout en raison des faciès subpélagiques que présentent dans cette montagne le Malm et le Hils. Mais elle est toute entourée et considérablement recouverte par la Molasse oligocène, avec bancs de conglomérats calcaires qui prouvent bien qu'elle n'a rien de commun avec le soulèvement de

la chaîne vindélicienne. Elle nous montre que la chaîne vindélicienne devait se trouver dans son voisinage pour livrer les éléments des conglomérats dont elle est recouverte. Elle nous montre aussi qu'elle est autochthone, puisque la Molasse la recouvre, comme l'est du reste le Salève. Malgré son déversement vers le N., et peut-être un certain déplacement vers le S., elle nous apprend que la transformation des faciès subjurassiens du Salève s'accomplit sur une distance relativement faible pour produire des faciès subpélagiques ou subalpins dans les Voirons, et dans les montagnes des Préalpes situées plus au S. Les roches à céphalopodes des Voirons sont autochtones, et comme elles sont intimement liées avec celles des Préalpes du Chablais, il en résulte que ces dernières aussi sont autochtones et nullement charriées depuis les régions transalpines. Charmante n'est-ce pas cette montagne des Voirons ! Il serait en tout cas bien singulier que les faciès à céphalopodes des roches mésozoïques fussent exclusivement confinées dans les soi-disantes nappes des Préalpes, ainsi que le voudrait la théorie du charriage. Aux Voirons, ces faciès débordent les nappes et montrent que toutes ces roches subpélagiques se trouvent bien sur l'emplacement de la Mésogée jurassique et infracrétacique, c'est-à-dire sur son axe même. Donc les Préalpes et la chaîne vindélicienne sont autochtones.

La chaîne vindélicienne et les oscillations du fond des mers mésozoïques dans les Préalpes

Tous les faciès subpélagiques du Jurassique et du Hils suivent la direction de la chaîne vindélicienne pour passer au Rhæticon et en Bavière. Les môles des petits cantons, ceux du Haut-Toggenbourg jalonnent cette chaîne recouverte et cachée dans la profondeur à partir du lac

de Thoune. Voici donc encore la direction de la Mésogée mésozoïque et l'axe du géosynclinal subalpin des temps secondaires. Il y a un point d'interrogation à poser pour la direction de cet axe durant l'âge Oxfordien¹⁾ et durant l'Albien. Renevier a pensé d'abord qu'un haut-fond qu'on peut appeler une première ébauche de la chaîne vindélicienne avait surgi aux temps de l'Albien, puisque cet étage, non plus que le vrai Oxfordien²⁾ ne sont connus dans les Préalpes. Plus tard³⁾ il a renoncé à cette explication pour supposer au contraire un manque de dépôts dans le centre du géosynclinal, c'est-à-dire dans les grands fonds que devaient former les Préalpes au commencement des temps crétaciques proprement dits. Mais les dépôts du Turonien (les couches rouges à foraminifères), si généralement répandues dans les Préalpes romandes, reposent parfois directement sur le Malm (Wimmisbrücke),⁴⁾ ou sur une surface partielle d'érosion, d'où le Crétacique inférieur aurait été enlevé. En outre, les couches rouges ne sont pas nécessairement des dépôts bathiaux, puisqu'elles contiennent des Rudistes au beau milieu des Préalpes (Leysin)⁵⁾ et que les Rudistes vivaient généralement sous une faible profondeur d'eau.⁶⁾ La transgression cénomaniennne et turonienne a recouvert les Préal-

¹⁾ Voir *Eclogæ geol. Helvetiæ*, vol. 6, p. 343-348, 1899.

²⁾ Sauf sur le bord externe des Préalpes romandes, dans la zone des chevauchements du Flysch (Monsalvens, Hohberg), où Gilliéron. (Matériaux pour la Carte géol. de la Suisse, 12^e liv., p. 82-84, p. 164) signale des « Schistes à nodules » vraisemblablement calloviens et oxfordiens à *Cardioceras cordatum*.

³⁾ Matériaux pour la Carte géol. de la Suisse, livr. 16, 1890. Résumé chronologique p. 507-514 (phases continentales). Archives de Genève, 3^e pér. t. 18, p. 379, dans l'Histoire géologique de nos Alpes lue à la Soc. helv. des sc. nat. en 1887. (Faciès abyssaux).

⁴⁾ C.v. Fischer-Ooster : *Geog. Beschr. von Wimmis, etc.* (Protozoë helvetica, Bd. 1, p. 5-14, in-4^o, Basel und Genf 1869).

⁵⁾ Voir *Eclogæ geol. Helvetiæ*, vol. 8, p. 435-438, 1905.

⁶⁾ Bulletin de la Soc. de France, 4^e série, t. 4, 1904, p. 770.

pes; elle fait supposer que la première explication de Renevier pour le manque de l'Albien et l'érosion partielle du Hils sur les Préalpes était la bonne. Dans le Jura aussi, les mêmes relations existent, puisque le Cénomanién supérieur (avec le Turonien?), les couches rouges du Jura, sont transgressives sur la Valangien (Cressier, Vigneules) et même sur le Portlandien (Stand de Bienne).¹⁾ Ne nous étonnons donc pas de voir aux Mythen sur Schwytz, les couches rouges (Turonien) reposer en transgressivité sur le Hils subpélagique en partie érodé; dans le Rhæticon les mêmes couches rouges reposer directement sur le Malm.²⁾

La chaîne vindélicienne se cache sous les plis crétaciques à l'E. du lac de Thoune

Depuis le lac de Thoune jusqu'au Rhin, la chaîne vindélicienne n'est connue qu'en lambeaux de recouvrement, les môles des Waldstätten et du Haut-Toggenbourg. Nous avons déjà dit que B. Studer considérait la chaîne du Niederhorn et des Ralligstöcke comme un prolongement vers l'E. de celle du Stockhorn, bien que les terrains soient totalement différents de part et d'autre. Cette raison est plus que suffisante pour infirmer la supposition de B. Studer. Mais ce que nous devons aujourd'hui

¹⁾ L'existence du Cénomanién du Stand de Bienne et du Franzosenweg à Alfermée a été mise en doute tout récemment par M. le Dr B. Aeberhardt. (Les gorges de la Suze, p. 11-12, Jahresber. Gymnas. Biel 1907). Cet auteur pense qu'il s'agit là, d'après un fragment de coupe de la carrière du Rusel (partie corrodée et rubéfiée?), de couches marneuses roses ou rouge-lie du Valangien inférieur (Berriasien). Mais la trouvaille de *Holaster subglobosus* Leske sp. faite par V. Gilliéron (Urgonien inf. du Landeron, p. 110) est probante et ne saurait être infirmée, non plus que les *Inoceramus* et autres fossiles cités d'Alfermée par M. le Dr Baumberger (Geol. Verhältn. am linken Ufer des Bielersees, p. 13, Mitt. Bern 1894, p. 158). La position transgressive du Cénomanién est générale au pied du Jura entre Cressier et Bienné.

²⁾ F. von Seidlitz, loc. cit. p. 49 [280], etc.

plus particulièrement et plus fortement accentuer, c'est un mouvement considérable de chevauchement subi par les chaînes crétaciques et éocènes de la rive droite du lac de Thoun par dessus le prolongement des Préalpes subitement déprimées dans cette région. On en voit percer des têtes décapitées, des lambeaux expulsés par compression de bas en haut suivant les joints de stratification du Flysch, sous la nappe des chaînes crétaciques, au S. de Schangnau, Marbach et Flühli. La théorie du charriage ne s'en est guère occupée. Ces pointements, si petits qu'ils soient, sont des plus importants. C'est le bout de l'oreille qui perce et trahit, sous la nappe chevauchée des plis alpins, la chaîne vindélicienne, le prolongement des Préalpes romandes au N.-E. du lac de Thoun. Quand on construit géométriquement le profil (Pl. 6) de cette région, d'après les données de Rütimyer (Nummuliten-Terrain 1850), B. Studer (Geologie der Schweiz, Bd. 2, p. 100), J. Kaufmann (Blatt XIII geol. Kart. Schweiz, etc.) on arrive à une possibilité très marquée pour les débris vindéliciens de la zone du Flysch chevauchée, et elle-même en chevauchement sur la Molasse peu disloquée.

Particularités de la mer du Flysch

Studer a bien vu, ici une chaîne s'est effondrée, bien qu'il n'ait pas employé cette expression un peu vive et brusque. Que cette chaîne ait été ici plus saillante que les Préalpes romandes, exhibant un soubassement cristallin et de roches éruptives (granites, porphyres, etc.), les poudingues miocènes du delta du Napf et de Schwarzenbourg nous le prouvent. Quoi de plus naturel aussi que d'admettre que les blocs inclus dans le Flysch de Habkern peuvent en dériver par un éboulement dans la mer du Flysch ! La chaîne vindélicienne érodée et recouverte actuellement à l'E. du lac de Thoun a-t-elle été assez large et assez

élevée pour produire des glaciers? Peut-on admettre des glaciers¹⁾ au commencement de l'époque oligocène sur les montagnes qui se sont formées dans les Hautes-Alpes, à l'instar de ce qui s'est produit sur l'Ardenne au moment de son plissement (hercynien) à la fin du Houiller²⁾, dans le Salt-Range et ailleurs? Le phénomène n'est pas impossible pour les hauteurs, mais la flore et la faune du Flysch sont trop peu concluantes pour qu'il soit permis de se prononcer catégoriquement. M. le professeur Rothpletz (*Geotektonische Probleme*, p. 86-88) voit des dépôts de plages très-basses dans le Flysch. Les poissons du Plattenberg près Matt (Glaris), comme les *Clupea*, *Meletta*, etc. auraient été à la façon des harengs actuels jetés à la côte par les tempêtes (*Sturmwellen*), avec les rares *Protornis* (Passereaux) qu'on a rencontrés dans ces ardoises de Matt. Mais les *Chelonia*, les *Fistularia* (un Aulostome), l'*Echeneis* (un remora) et d'autres, fréquentent plutôt les régions pélagiques, comme du reste les *Acanus*, les *Lepidopus* ou *Anenchelum* et les *Palæorhynchus* qui sont les poissons les plus communs dans les ardoises de Matt. Osvald Heer, dans son *Urwelt der Schweiz* (2. Aufl. p. 248 et seq.), pense que la mer du Flysch était par place très profonde, là surtout où elle déposait des sédiments très fins et entassés en minces feuillets sur une très grande épaisseur. Du fait que la plupart de ces poissons ainsi que les nageoires de la tortue marine ont perdu leurs écailles, il tire la conclusion qu'ils peuvent avoir été flottés pendant un certain temps. Mais ces schistes très pauvres en calcaires peuvent avoir résorbé ces écailles et ces arêtes, vertèbres, etc., qui ne se rencontrent pas à l'état de pétrifications, mais seulement en empreintes et contre-empreintes mou-

¹⁾ Bull. Soc. géol. de France, 3^e série, t. 269-272 (J. Martin 1874). Archives de Genève, t. 31 et 32, sep. p. 65-69 et Neues Jahrb. Beilageband 8, p. 190, p. 214-215 (Ch. Sarasin 1892-94).

²⁾ Bull. Soc. sc. nat. de Neuchâtel, t. 26, 1898, p. 77.

lées par les schistes. Les maquereaux (*Lepidopus*) analogues au „Silberfisch“, les alphonsines (*Beryx*) et le *Palæogadus* analogue au cabliau fréquentent bien par moments les côtes, mais ils se tiennent en général dans les régions profondes et mêmes très profondes de la mer. Comme la plupart des squelettes sont entiers ou seulement pliés en deux, il n'est pas probable qu'ils aient été maltraités par les vagues, comme le suppose M. Rothpletz. En outre, ce sont des poissons qui ont leurs plus proches représentants actuels dans les mers chaudes, de même que la Chélonide. Il est permis aussi de faire remarquer que ces poissons n'ont peut-être pas vécu normalement dans la mer du Flysch, mais qu'ils y ont pénétré occasionnellement et localement, qu'ils y ont trouvé la mort, puisqu'ils ont été enfouis entiers, comme c'est ordinairement le cas de tous les poissons fossiles. La plupart des grands gisements des poissons fossiles se trouvent dans le voisinage de centres d'éruptions volcaniques (Monte Bolca, Oeningen, etc.) Il semble que l'enfouissement de ces animaux ait été rapide et occasionné par une mort subite dans des eaux qui ont reçu des pluies de cendres¹⁾ ou des substances délétères hydrogène sulfuré, sels, bitume, etc.²⁾. Nous voici donc bien éloignés des eaux froides où venaient fondre des banquises ou iceberg chargés de blocs flottants. Peut-on raisonnablement admettre un concours très remarquable de circonstances fortuites pour rassembler tous ces éléments dans la même région de la mer? Nous ne le sa-

¹⁾ Th. Fuchs: Sitzungsber. k. Akad. der Wiss. Bd. 75, 1 Abth., März-Heft, Wien 1877. Les schistes calcaires d'Oeningen si riches en poissons et en insectes fossiles, plantes, etc. intercalent aussi des tufs volcaniques provenant des volcans alors en activité du Hegau. Voir Jul. Weber: Geolog. des Hegaus (Mitth. der naturf. Gesell. Winterthur, Bd. 2, p. 25 et suiv., 1899), puis J. Erb: Auswurfsmassen im Höhgau. Inaug. Dissert. (Vierteljahrschr. Zürich Jg. 45, sep. p. 1-8, 1900).

²⁾ Voir A. de Lapparent : Traité de géologie 5^{me} édition, 1906, p. 133, p. 335.

vons pas. On a aussi supposé que la mer du Flysch était un golfe profond analogue à la Mer-Noire, où la vie organique est entravée par des ferments produisant de l'hydrogène sulfuré et du sulfure de fer dans la vase.¹⁾ Toutes ces considérations ont un certain degré de vraisemblance, elles ne s'excluent pas réciproquement, mais elles ne nous permettent pas d'établir très clairement ce qui s'est passé dans notre pays pour produire le singulier dépôt du Flysch oligocène. C'est une formation à part, unique en son genre, et d'une grande extension dans les Alpes. Ici des masses uniformément schisteuses foncées, là des intercalations de calcaires à fucoïdes, de brèches et de conglomérats polygéniques, de grès et de roches gréseuses (grès de Taveyannaz ²⁾ formées de débris volcaniques et cristallins arrachés à des roches cristallines préexistantes plus ou moins anciennes à des roches diabasiques tertiaires. Le Flysch est un terrain transgressif qui recouvre les substratum les plus divers, depuis le Nummulitique, jusqu'aux schistes cristallins et pouvant parfois se superposer à des schistes mésozoïques (Lias, Permien) ou même paléozoïques (carbonifères, siluriques), revêtant comme lui un facies uniformément schisteux, foncés, plus ou moins lustrés et le plus souvent dépourvus de fossiles.

Les môles et quelques blocs du Flysch ont été enfouis dans la mer du Flysch

B. Studer ainsi qu'A. Escher admettaient une origine éruptive pour les blocs dits exotiques du Flysch (granites,

¹⁾ Andrussov : La Mer Noire (Publications du Congrès géol. intern de St-Petersbourg 1897, n° XXIX).

²⁾ Voir pour le grès de Taveyannaz : Archives de Genève, 3^e pér., t. 33, p. 435-452, p. 530-560 ; Eclogæ geol. Helvetiæ, vol. 5, p. 142-143, les roches volcaniques tertiaires du Vicentin auraient livré les débris de roches basiques.

diorites, spilite, variolite, etc). Voir la discussion reproduite dans les Actes (Verhandlungen) de la Société helvétique des sciences naturelles, année 1858 (Einsiedeln) p. 63-65, et année 1871 (Frauenfeld), p. 62. Pour les blocs de Habkeren, ce n'est pas nécessaire, ni même possible. Ces blocs sont interstratifiés dans le Flysch d'un synclinal resserré, où rien ne fait prévoir une communication avec les profondeurs du sol. Il est tout naturel de les faire provenir de la chaîne vindélicienne actuellement démantelée et enfouie sous les Ralligstöcke, la Schrattenfluh, etc. Dans une mer basse, ils auraient produit des conglomérats, comme ceux de la Molasse miocène. Dans un canal profond au contraire, ils ont été rapidement enfouis. Il en est de même pour tous les blocs d'autres roches cristallines, éruptives et sédimentaires, roches que les môles nous présentent en partie. Il est tout au moins singulier de voir les môles et les accumulations des blocs du Flysch placés dans le voisinage de la zone du Flysch chevauché sur la Molasse. Cet alignement nous paraît être significatif. S'il s'agissait de transport par les banquises, ne devrait-on pas trouver des blocs „exotiques“ un peu partout dans le Flysch et surtout dans le Flysch des Hautes-Alpes? Il devrait en être de même si ces blocs avaient été arrachés par le Flysch à des nappes en mouvement sur ce terrain. On devrait par exemple trouver dans le Flysch du synclinal glaronnais des blocs de Verrucano, dans le Flysch du Niesen des blocs de roches des Préalpes, etc. Et puis les môles eux-mêmes ne sont que des blocs „exotiques“ un peu plus grands que les autres; il n'y a pas de limites de grandeur entre ces deux sortes de masses détachées. Il ne me paraît pas possible d'attribuer aux uns une autre origine qu'aux autres. Tous sont des débris arrachés aux mêmes montagnes, tous sont inclus dans le Flysch, tous occupent la même zone du Flysch, tous ont glissé dans la mer du Flysch depuis la chaîne vindélicienne à laquelle les rattachent les faciès de leurs roches.

Aux abords des Préalpes, il y a des lames, paquets et noyaux de roches, qui ont été expulsés depuis la profondeur par les dislocations postmiocènes

Ici se dresse une objection. C'est la présence de blocs inclus formés de roches cristallines (gneiss) et éruptives (granites, protogine, porphyres, porphyrites, etc.) dans le Flysch des Ormonds et du Chablais, en dehors de la chaîne principale des Préalpes et de la chaîne vindélicienne. Dans les Préalpes romandes on ne connaît pas de massif granitique ni cristallin. En est-il de même de leur soubassement ? M. le professeur Schardt a admis dans deux de ses travaux antérieurs ¹⁾ la possibilité d'un massif cristallin dans la profondeur des Préalpes vaudoises. Et des blocs de granites polychrômes sont signalés dans le Flysch du Gurnigel par B. Studer, ²⁾ par V. Gilliéron ³⁾ en plusieurs points de la zone de Flysch disloqué qui s'étend depuis le Gurnigel jusqu'à Bulle où elle est fortement érodée et où l'association des blocs de granite et des mûles de Dogger fossilifère est particulièrement remarquable. A l'E. de Corbières, aux Botteys (porphyres, etc.), au Fettesbad (N. de la Pfeife), à l'E. de Charmey, aux Echelettes, au Hohberg (Néocomien), au Seeligraben (Malm fossilifère), à la Stockweide près du Gurnigel, dans la Schwarzwasser (Lias),

¹⁾ H. Schardt: Excursions de la Soc. géol. suisse dans les Préalpes en 1891 (*Eclogæ geol. Helv.*, vol. 2, p. 528-569, pl. 14, 1892; *Archives de Genève*, 3. pér., t. 26, p. 618-635, 4 pl. 1891). H. Schardt: Structure des environs de Montreux (*Bull. Soc. vaud.* vol. 29, p. 241-255, 2 pl. panor. et prof. col; *Eclogæ geol. Helvetiæ*, vol. 4, p. 29-43, pl. 1-2 1893).

²⁾ B. Studer: *Geologie der Schweiz*, Bd. 2, p. 6, p. 31. B. Studer (*Berner Mitth.* 1866, p. 293 et seq.

³⁾ V. Gilliéron (*Matér. Cart. géol. Suisse*, livr. 18, p. 105 et suiv. p. 127. p. 206.)

au Schwefelberg (Keuper) il y a des blocs et des lames de toutes les roches des Préalpes et de leur soubassement qui ont pénétré dans les strates du Flysch et entre les plans de chevauchement qui le traversent ici comme au pied N. des Rallistöcke et partout dans la zone de dislocation qui s'étend entre la Molasse et les chaînes subalpines. Il n'est pas possible d'admettre autre chose dans cette zone de chevauchements énergiques et multiples qu'un *emballement* dans le Flysch de fragments, blocs et lames de rochers arrachés au pied N. des Préalpes et à leurs couches profondes (Trias) jusqu'à leur soubassement cristallin. Il s'agit sans doute de phénomènes analogues dans le soubassement du Rhæticon et des montagnes d'Arosa, Parpan, etc. tout autour du synclinal de Flysch du Prätigau et du Schanfigg, où l'on voit des lames de granite et des brèches polygéniques s'intercaler par chevauchement entre le Malm et le Flysch¹⁾ (Falknis-Breccie). Les mêmes phénomènes peuvent être évoqués dans la région du Simmenthal, des Ormonds et du Chablais où les compressions ont été également très énergiques, les lignes de failles inclinées et les chevauchements très fréquents, ainsi que le montrent fort bien la carte et les profils relevés aux environs de Zweisimmen par M. Frédéric Jaccard.²⁾ Ce sont des paquets, des noyaux de roches, des blocs *comprimés et expulsés* par les plans de chevauchements dont le bord méridional des Préalpes est aussi entrecoupé suivant la ligne directrice de la chaîne. De même que ceux de la zone de refoulement des plis subalpins sur la Molasse, les chevauchements du bord méridional des Préalpes sont plus jeunes que la désagrégation de la chaîne vindélicienne, la naissance des môles, des brèches et des blocs enfouis

¹⁾ Voir les récents travaux de W. v. Seidlitz et de Hoek dans les volumes 16 et 13 des Berichte de Fribourg in Brisgau.

²⁾ F. Jaccard in Bulletin des laboratoires géol. etc. de l'Univ. de Lausanne, n° 5, 1904.

dans le Flysch. Tous ces noyaux et paquets de roches resserrés et comprimés dans le Flysch des Ormonds, du Simmenthal et de la zone de contact entre le Flysch et la Molasse se sont produits en même temps que les dislocations du Flysch, c'est-à-dire pendant le plissement alpin ou postmiocène des Alpes.

Le remaniement des Préalpes par les plissements postmiocènes a eu pour conséquence naturelle d'augmenter les dislocations aux abords immédiats des Préalpes et de leur donner, avec le caractère de vétusté qu'a conservé la chaîne vindélicienne proprement dite (Stockhorn, Alpes fribourgeoises), un aspect des plus déchiquetés et des plus pittoresques. Les ploiements réguliers ne se rencontrent guère dans cette partie des Alpes.

Deux catégories de môles et de blocs

Nous pensons donc qu'il y a deux catégories de blocs inclus dans le Flysch, deux sortes de môles également. Les plus anciens sont les môles et les blocs qui jalonnent au S. la chaîne vindélicienne recouverte et qui se sont détachés d'elle peu après et pendant son soulèvement (blocs de Habkeren, môles des Waldstätten, Berglittenstein) pour être enfouis dans le Flysch sans être beaucoup comprimés par les plissements alpins, (1^{re} catégorie). Les autres blocs, môles, lames, noyaux, paquets, etc. ont été laminés et broyés dans le Flysch pendant les plissements postmiocènes et se rencontrent dans les plans des grandes dislocations des Préalpes et leurs abords immédiats, (2^e catégorie). Ils s'écartent davantage de la chaîne vindélicienne primitive, mais ils peuvent aussi s'en rapprocher et provenir de blocs et fragments de la première catégorie qui auraient été mis en mouvement, remaniés et comprimés avec le Flysch lors des soulèvements alpins. Dans ce cas se trouvent une partie des blocs, lames et fragments inclus dans la zone du Flysch

au contact de la Molasse. Leur caractère essentiel est donc la compression, l'étirement, etc. Cette seconde catégorie de blocs inclus dans le Flysch est composée de roches sédimentaires plus variées que la première, parce que les plissements alpins ont affecté non seulement les roches vindéliciennes avec leurs faciès spéciaux, mais encore les régions voisines de la chaîne vindélicienne avec des roches à faciès alpins. Ainsi le Mattstock et les montagnes voisines sont des môles de la seconde catégorie, parce qu'ils sont étirés, comprimés et qu'en outre ils n'appartiennent pas aux faciès des Préalpes, mais aux faciès alpins plissés après le dépôt de la Molasse. De même la plus grande partie des montagnes du Simmenthal, des Ormonds et du Chablais représentent des môles, des lames, des paquets et noyaux de roches de la seconde catégorie.

Résumé des caractères et de l'origine des môles

En résumé les premiers blocs ou môles peu ou point laminés sont venus d'en haut en glissant depuis la chaîne vindélicienne dans la mer du Flysch. Ils ont subi sans déplacements considérables les plissements postmiocènes. Les seconds sont fortement laminés. Ils sont sortis d'en bas, expulsés par compression et dislocation le long des surfaces de chevauchement qui traversent le Flysch, lors des plissements alpins postmiocènes. Dans la zone de contact du Flysch et de la Molasse il y a des blocs de la première catégorie qui se sont joints à ceux de la seconde. On pourrait les désigner à part. Les roches cristallines, les éruptives, les blocs de radiolarite peuvent donc appartenir suivant les régions à l'une ou l'autre catégorie des blocs inclus. Les roches sédimentaires des faciès vindéliens peuvent aussi appartenir à l'une ou à l'autre catégorie des blocs inclus,

suivant qu'elles ont été remaniées ou non remaniées par les dislocations postmiocènes. Par contre les roches sédimentaires des faciès alpins appartiennent toutes à la seconde catégorie des blocs inclus.

Roches granitiques vindéliciennes et poudingues miocènes

On peut et doit même raisonnablement admettre partout dans le soubassement ou matelas des Alpes (Hautes-Alpes, Préalpes, Plateau, etc.) des roches cristallines (gneiss, micaschistes, etc.). De même il peut se trouver partout des filons, dykes, massifs ou dômes granitiques, dioritiques, porphyriques, des laccolithes, des coulées et des culots par dessus et dans les roches cristallines. Entre les granites de Gasteren et ceux du Schwarzwald, il doit y avoir dans le sous-sol de la Suisse des masses de granite voisines ou différentes de celles de ces massifs connus. Il en est de même des porphyres. Nous ne connaissons qu'une minime partie des roches éruptives anciennes cachées par les sédiments. Il n'est pas exclus ni impossible qu'un granite dont nous ne connaissons pas l'homologue dans les affleurements connus ne puisse provenir par la voie des dislocations des profondeurs inconnues du sol. Il n'est donc pas toujours nécessaire, ni même possible de déterminer la provenance de ces roches éruptives anciennes. Les différences d'aspect et de composition peuvent être minimales sur de grands espaces, tout comme elles peuvent être brusques sur des petits espaces. Les schistes cristallins et surtout les roches sédimentaires sont par contre soumis à des changements de faciès que régissent certaines mesures et certaines règles. Leurs modes de transformations nous sont mieux connus, la direction des changements peut être établie plus sûrement d'avance. La loi des fa-

ciès est très applicable à la chaîne vindélicienne et aux régions environnantes, quand on considère la largeur considérable que présentaient ces régions avant les rétrécissements et les plissements postmiocènes. Mais quand il s'agit de granites „exotiques“, ils ne doivent pas nécessairement provenir des massifs granitiques connus du voisinage ou plus éloignés. Ils peuvent être sortis du matelas cristallin situé dans les profondeurs du sol, surtout quand il s'agit de régions disloquées comme le sont les Préalpes. Et pour les roches éruptives plus récentes, si l'âge peut être approximativement fixé, le lieu d'origine est pour ainsi dire ubiquiste. Les porphyrites, les variolites, les spilites du Flysch peuvent avoir surgi partout dans la mer du Flysch et sur les bords comme aux abords de la chaîne vindélicienne. Il n'est pas facile de découvrir les cheminées dans le substratum du Flysch et surtout dans les régions chevauchées. Les débris de ces roches enfouis dans le Flysch et le plus souvent remaniés avec lui ne peuvent guère nous renseigner sur leur histoire orogénique. Quant aux jaspes à radiolaires, nous avons déjà dit qu'ils se rencontrent dans les faciès alpins et subjurassiens aussi bien que dans les vindéliens, partout où les dépôts sont de mer un peu profonde. Ils existent aussi bien dans le Malm de Bavière que dans celui du Tessin, des Grisons, des Préalpes, des môles, des Churfirsten (Arnold Heim) et dans les schistes permien (Quartenschiefer) de l'Engadine (Jennings, Rothpletz). La couleur varie du rouge au gris et au noir. Mais peut-on admettre que le Jurassique des plis vindéliens contenait assez de concrétions de jaspes à radiolaires pour en fournir abondamment les poudingues miocènes, et pour en laisser des témoins parmi les blocs inclus dans le Flysch, à quelle catégorie qu'ils appartiennent? Nous ne le pensons pas, et comme pour certaines roches cristallines et profondes des Alpes, il faut admettre un transport fluvial, ainsi que l'a indi-

qué Studer, et comme l'a démontré M. le professeur J. Fröh dans son bel ouvrage sur le Nagelfluh suisse.¹⁾ Mais ces apports n'excluent pas l'existence de la chaîne vindélicienne, les poudingues à gros éléments du rivage vindélicien ayant été enfouis avec la chaîne elle-même.

M. le Dr H. Frey (Zur Heimatbestimmung der Nagelfluh. Programmarbeit in-4°, Bern 1892) est arrivé à la conclusion que le Nagelfluh de l'Emmenthal est d'origine peu éloignée, surtout à cause du gros volume, jusqu'à $\frac{1}{2}$ m³, de galets peu arrondis.

Dans les poudingues miocènes éloignés des Alpes, les galets de jaspes à radiolaires sont aussi fréquents que les granites polychrômes et les porphyres. Mais il ne faut pas oublier que sur le long trajet de roulis et d'usure qu'ils ont subi, ils ont résisté mieux que toute autre roche à la trituration, beaucoup mieux que les roches calcaires qui les renfermaient dans leurs lieux d'origine. Leur rareté dans les Préalpes romandes et régions voisines se traduit bien dans les poudingues miocènes de la Suisse occidentale, de la Savoie et du Dauphiné (Voreppe), tandis qu'ils sont beaucoup plus fréquents, les rouges surtout, dans les poudingues miocènes de la Suisse centrale (Napf, Sorvilier) et orientale. Les jaspes ou lydites à spicules siliceux de spongiaires sont encore moins localisés dans les terrains des Alpes que les jaspes à radiolaires, aussi ne livrent-ils aucun indice certain sur leur provenance.

Klippes de V. Gilliéron

Pour les blocs inclus dans la zone de Flysch située au N. des Préalpes romandes, Gilliéron (Matér. liv. 18. 1895, p. 296) admet une origine vindélicienne et suppose

¹⁾ J. Fröh: Beiträge 3. Kenntniss der Nagelfluh der Schweiz, p. 123-136 (Neue Denkschriften der Schweiz. nat. Gesell. Bd. 30, 1887-1890.

que ces masses ont fait partie de montagnes aujourd'hui désagrégées, „ qui existaient dans l'intérieur et sur les bords de la mer du Flysch“. Mais il ne parle pas des Préalpes déjà plissées dans la mer du Flysch. Ce seraient plutôt des annexes des Préalpes actuelles ou le prolongement de leurs roches vers le N. et vers l'E. Puis les plissements alpins auraient formé les Préalpes en même temps que les Hautes-Alpes et auraient produit les chevauchements considérables du Flysch sur la Molasse. De cette façon la chaîne vindélicienne est seulement un peu déplacée vers le N. sous l'emplacement actuel de la Molasse subalpine. Mais les môles des Waldstættén, les blocs inclus dans le Flysch ne se sont pas formés sur place aux dépens de la chaîne vindélicienne, car ce ne sont pas des „klippes“, comme nous l'avons vu. Personne aujourd'hui n'admet plus cette explication. Les blocs inclus et les môles sont nécessairement détachés de leur lieux d'origine et ce mécanisme s'est produit selon nous de deux manières différentes.

En résumé, notre genèse des Alpes, Préalpes, de la chaîne vindélicienne, des môles et des blocs inclus dans le Flysch subalpin est la suivante.

Genèse des Alpes, des Préalpes, des môles, etc.

Au commencement de la période oligocène, une dislocation par plissement et peut-être aussi accompagnée de phénomènes volcaniques et d'un laccolithe engendre une chaîne de montagne ou un faisceau de plis dans la mer du Flysch. C'est la chaîne vindélicienne existant encore en partie aujourd'hui, très découpée et très disloquée, dans les Préalpes romandes proprement dites. Dans la Suisse centrale et orientale, cette chaîne formée de roches mésozoïques pélagiques ou subpélagiques comme dans les Préalpes, dans le Rhæticon et en Bavière, possédait un soubassement saillant ou surélevé de granites,

porphyres et de schistes cristallins. Les dislocations vindéliennes, puis les érosions tertiaires morcelèrent cette chaîne et firent tomber des môles et des blocs dans la mer du Flysch. Des éruptions de roches basiques (variolites spilites, etc), dont l'âge reste à préciser, amenèrent aussi dans la mer du Flysch des blocs de ces roches éruptives. Les conglomérats et les brèches du Flysch ne sont pas uniquement formés de roches vindéliennes, mais ils doivent provenir en grande partie aussi de la ligne de faite des Alpes qui étaient émergées depuis longtemps déjà. L'origine des grès de Taveyannaz, qui renferment des éléments de roches éruptives anciennes et récentes, ne peut guère se passer d'éruptions volcaniques dans l'intérieur et sur le pourtour de la mer du Flysch dont la stratigraphie est encore obscure, mais qui semble devoir réclamer le concours des produits et des émanations volcaniques.

La Molasse oligocène s'est formée aux dépens des rivages subalpins, elle a des conglomérats provenant des roches calcaires des Préalpes (Voirons, Chambéry), des roches calcaires et dolomitiques des Alpes bavaïses (Miesbach, Reit-im-Winkel), etc.

En général, la Molasse oligocène subalpine, surtout l'Aquitainen, contient très peu de conglomérats, et ses dépôts sont lagunaires, avec gypse, bitume (Genève et Orbe), calcaires lacustres, marnes rouges et Molasse rouge avec *Helix Ramondi* (Appenzell) montrent que la chaîne vindélienne fut d'abord peu élevée, puis bientôt recouverte par l'Oligocène transgressif.

Au début des temps miocènes, de nouvelles commotions orogéniques se firent sentir et soulevèrent plus complètement la chaîne vindélienne avec d'autres régions du globe en général et des Alpes en particulier. Les conglomérats miocènes du pied S. des Alpes (Monte Olimpino) témoignent de ce nouveau soulèvement de toute la chaîne alpine. Au N. des Alpes, la Molasse oligocène et

le Flysch sont mis à sec et la mer miocène s'arrête au N. de la chaîne vindélicienne. La désagrégation intense de cette chaîne va s'accomplir. Les parties les plus saillantes (Suisse centrale et orientale, Bavière occidentale, jusqu'au Peissenberg) livrent des matériaux calcaires, des roches granitiques, porphyriques, etc., en grande quantité pour la formation des poudingues miocènes (Nagelfluh) polygéniques et calcaires suivant les endroits. Les rivières descendant des Alpes amènent aussi des matériaux de leur couverture de Flysch (calcaires du Flysch, grès et conglomérats du Flysch, etc.), des sédiments crétaciques (oolithes barrémiennes, calcaires néocomiens etc.), et même des sédiments plus profonds (malm à radiolarite, lias rouge des Grisons, quartzites, granites verts, etc.). Pour Vézian (Revue scient. 2^e sér., t. 11, p. 171-176, in-4^o, Paris 1876) les poudingues du Righi sont liés à des phénomènes glaciaires. Mais les Alpes sont encore relativement peu plissées, peu découvertes et peu surélevées au-dessus du niveau de la mer. La ligne de faite du massif du Gothard devait être située plus au S. qu'actuellement, d'après les conclusions de M. le professeur J. Fröh. Les grands synclinaux de Flysch (Glaris, Grisons, Engadine, etc.) n'étaient pas encore affectés de grands chevauchements. La chaîne vindélicienne est fortement attaquée dans sa partie moyenne plus élevée (Suisse centrale, orientale et Bavière occidentale), tandis que la partie occidentale ou actuelle de cette chaîne (Préalpes romandes), probablement alors moins élevée que la partie centrale, et aussi moins élevée qu'elle ne l'est aujourd'hui, ne se découvre pas jusqu'aux roches cristallines.

Les deltas miocènes (Val de St-Laurent-du-Pont, p. Grenoble, Pèlerin p. Vevey, Emmenthal et Napf, Righi, Speer, Pfänder, Peissenberg) nous renseignent très bien sur les apports alpins et sur l'état de la chaîne vindélicienne à l'embouchure des rivières de la côte subalpine. Tandis que les roches cristallines, les granites polychrô-

mes, les porphyres, etc., sont très fréquents dans les poudingues miocènes du Righi et de l'Emmenthal (jusque dans les vallons du Jura bernois), ils sont beaucoup plus rares dans la Suisse occidentale et en Bavière. Ici, les dolomies et les calcaires triasiques avec les grès et les calcaires du Flysch prédominent. Dans la Suisse occidentale, se sont les roches des Préalpes, celles du Flysch et de ses blocs inclus qui forment les poudingues miocènes et les grès de la Molasse. (Pl. 4).

A la fin du Miocène, la chaîne vindélicienne est à peu près arasée dans la Suisse centrale et orientale. L'entassement des couches de conglomérats dans les deltas subalpins (jusqu'à 1500 m. d'épaisseur et plus) produit une ligne de faille ou de dislocation sur le rivage subalpin. La Molasse et une partie de la chaîne vindélicienne déjà recouverte s'enfoncent au fur et à mesure que la transgression miocène s'accomplit. Après les marnes rouges de l'Oenigien et les poudingues rouges subalpins, la mer miocène prend un régime lacunaire et se retire à peu près du sol de la Suisse. Les calcaires lacustres, d'Oeningen, de Vermes, Sorvilier, Courtelary, du Locle, etc. résultent des dernières flaques d'eau douce du Miocène supérieur.

L'érosion de la Molasse commence sans doute suivant les lits des rivières subalpines, au fur et à mesure que le plateau helvético-bavarois s'élève au-dessus du niveau de la mer. C'est alors que se dépose le Pontien dans les vallées du Rhône et du Danube.

Dislocations postmiocènes

L'érosion continue. Les mûles de la première catégorie commencent à se dégager par l'érosion de leur enveloppe de Flysch. Puis, durant la période pliocène, voici les commotions alpines qui vont plisser et surélever les Alpes en même temps que leurs zones externes, la bordure septentrionale surtout, sont soumises à des

compressions ou des resserrements énergiques. La partie la moins érodée de la chaîne vindélicienne, c'est-à-dire les Préalpes romandes, est poussée en chevauchement sur le Flysch. Le Flysch est coupé par plusieurs plans de chevauchement au N. et au S. des Préalpes, il s'enfonce sous les Hautes-Alpes au S. du Niesen. (Pl. 2. fig. 2.)

De grands plissements combinés avec des chevauchements considérables se produisent dans les Hautes-Alpes, les Alpes glaronaises, les Alpes bernoises, vaudoises, etc. (Voir notre petite esquisse tectonique Pl. 7). Dans la Suisse centrale et orientale, depuis le lac de Thoune jusqu'au Rhæticon, la compression ou poussée tangentielle qui a pris naissance dans le sol par la contraction de l'écorce terrestre est si considérable qu'elle fait chevaucher les plis crétaciques subalpins de plusieurs dizaines de kilomètres sur la chaîne vindélicienne arasée et par dessus les poudingues miocènes, emportant des têtes de couches dans la zone de froissement du Flysch, où nous voyons aujourd'hui ces lames, ces blocs et ces môles de la deuxième catégorie sortir en désordre entre les couches du Flysch comprimé et broyé. (Pl. 5).

Ce qui reste des plis vindéliens doit naturellement subir une compression et une dislocation considérable dans les profondeurs du sol (voir Pl. 3). A ce moment-là les nappes empilées de la région du Glærnisch et des Churfirsten prennent naissance en glissant les unes sur les autres, enserrées qu'elles sont d'un côté par les grandes nappes rigides et encore peu érodées des poudingues miocènes, de l'autre par les chevauchements et les plis empilés des Hautes-Alpes.

Les grandes masses des poudingues miocènes, comme le soc d'une charrue pénètre dans la terre, ont donc écrasé dans la profondeur les restes des plis vindéliens, les défonçant sous les plis alpins. Ces derniers ont été obligés d'escalader les poudingues et de s'empiler les uns sur les autres. La tectonique de nos Alpes ne

se comprend pas, lorsqu'on néglige l'action du géosynclinal molassique comblé de plus de 2000 m. de poudingues et de grès peu flexibles et présentant à la contraction du manteau des sédiments alpins une masse aussi rigide que les massifs cristallins des Hautes-Alpes. Les couvertures calcaires des Alpes ont été prises là comme dans les branches d'un étau, elles ont dû fléchir et se soulever par des plis, glisser les unes sur les autres, *par des plans obliques, vers le haut*, vers le vide, contre la direction de la pesanteur.

Voilà pourquoi les plis calcaires s'entassent les uns sur les autres dans les Hautes-Alpes, voilà pourquoi ils pénètrent dans les massifs cristallins. Auraient-ils pu le faire, si la poussée venue uniquement du S. les eût mis en mouvement vers le N. en glissant à la descente sur le dos des massifs cristallins ?

C'est du N. que le mouvement a reçu son énergie, c'est vers le haut que se sont produits les glissements, contre la direction de la pesanteur, et sous le poids immense des nappes empilées.

Dans tout mouvement ascensionnel d'une couverture en voie de plissement, les noyaux anticlinaux doivent nécessairement tous être dirigés *en arrière*, et ce fait n'est pas une preuve en faveur d'un plissement venant du S. La masse de Flysch comprimée du grand synclinal glaronnais, emprisonnée comme dans un fond de bateau (voir Pl. 3) a dû faire un mouvement final de sortie vers la moins surchargée des nappes, vers le Sardona, c'est pourquoi ses replis sont couchés vers le N. ou en arrière, sous la nappe du Mürtschen. Du reste ces plis sont aussi disposés sur un plan incliné vers le N., et de quel côté que vienne le mouvement de plissement du Flysch, les boucles anticlinales doivent nécessairement s'incliner dans le même sens que la pente générale. Voir l'opinion contraire qui attribue cette orientation à un glissement de la nappe du Mürtschen du N. au S. (Bull. Soc. géol. de France, 4^e sér. t. 1, p. 824).

En Bavière, les mêmes phénomènes se produisent par la compression venue du N. et du S. à la fois entre la Molasse et les massifs cristallins du Tyrol. L'éventail composé se dessine (Pl. 2), les plis du Flysch et du Crétacique sont poussés sous le pied des montagnes triasiques. Celles-ci chevauchent également vers le S. sur les plis des schistes appliqués contre les vieux plis écrasés de l'Azoïque. Au S. des Alpes orientales, les plis hercyniens étaient formés depuis longtemps, ils étaient recouverts par le manteau triasique des Dinarides. Ils se sont comprimés encore mais n'ont guère bougé lorsque les Dinarides se sont plissées par la poussée venant du S. contre les massifs cristallins. La compression étant moins énergique en somme au S. des Alpes qu'au N., les chevauchements sont ici moins considérables, le plissement est généralement régulier et les Dinarides n'ont pas subi de charriage vers le N.

Dislocations transverses

Le resserrement des chaînes crétaciques subalpines se vérifie non seulement par glissement des nappes de roches les unes sur les autres, ainsi qu'on le voit dans la Suisse orientale et dans les chevauchements qui bordent les Préalpes, mais encore à des dislocations transverses qui ont jalonné les grandes vallées transversales des Alpes. On retrouvera sans doute un peu partout de petits décrochements horizontaux dans les Alpes calcaires, comme ceux qu'ont figurés les auteurs de la Monographie du Säntis (Beiträge, 2^e série, Lief. 16). Mais des dislocations transverses de 12 à 15 km. de déplacement relatif se voient entre les deux rives de plusieurs vallées, là surtout où les masses des poudingues miocènes présentent des différences d'épaisseur d'une rive à l'autre.

On voit dans la vallée de l'Iller (Pl. 7.) la grande ligne de chevauchement du Flysch sur la Molasse à Buch-

berg, tout près de Sonthofen, sur la rive droite, tandis qu'elle se trouve à 12 km. plus au S., près de Langwang, sur la rive gauche. De même dans le Rheinthal il doit y avoir une dislocation transverse entre les chaînes crétaciques du Säntis et celles du Vorarlberg, mais la largeur considérable de la vallée ne la met pas bien en évidence.¹⁾ Le Flysch de Vaduz refoulé sous les masses chevauchées du Rhæticon montre assez combien le resserrement est considérable dans cette région. On en a de plus la preuve dans les nappes empilées des Churfirsten, du Neuenkamm et du Mürtschen, (d'après la carte de M. le professeur Rothpletz). Un décrochement horizontal devient par le fait insensible dans la vallée de la Linth entre Weesen et Næfels. Il n'est guère frappant non plus dans la vallée de la Reuss entre le Righi et le Pilate, les masses de poudingues étant ici considérables de part et d'autre, mais elles doivent s'enfoncer bien profondément vers le S. sous le lac de Lucerne, ainsi que le suppose avec beaucoup de sagacité M. le Dr Arn. Heim (*Loc. cit.* p. 453 et suivantes). La grande ligne de dislocation entre le Flysch et la Molasse subit entre les deux rives de la vallée de l'Aar, aux environs de Thoune un décrochement horizontal de plus de 15 kilomètres. La partie la plus massive de la Molasse (rive droite de l'Aar) a refoulé plus facilement les plis érodés de la chaîne vindélicienne vers le S., c'est-à-dire sous les plis crétaciques des Ralligstöcke, que ce ne put être le cas de la Molasse du Guggisberg contre les Préalpes romandes ou la chaîne du Stockhorn restée plus intacte.²⁾ De même la masse

¹⁾ Mon ami M. le Prof. Dr A. Tornquist a fait ressortir l'importance des dislocations transverses du Flysch et de la Molasse dans une publication récente sur la zone du Flysch de l'Algäu et du Vorarlberg. (Sitzungsber. der k. Preussischen Akademie der Wiss. 20 Juni 1907).

²⁾ La cause de ce fait ou de ces différences d'érosion dans la chaîne vindélicienne à droite et à gauche du lac de Thoune doit être sans doute recherchée dans des différences d'élévation de ces deux régions avant les plissements postmiocènes, au plus grand enfouissement des Préalpes (Stockhorn) dans le Flysch du Niesen, etc.

du Pèlerin a fait avancer les Préalpes vaudoises plus loin vers le S. que la Molasse de Savoie ne put le faire, de là un grand décrochement horizontal dans la vallée du Rhône et le Léman entre Thonon et Villeneuve. L'emplacement de ce décrochement doit ici, comme ailleurs, avoir été déterminé par une érosion transversale des Préalpes antérieure aux mouvements postmiocènes qu'elles ont subies et ne détruit en rien la manière de voir de M. le professeur Lugeon¹⁾ sur l'influence des inflexions synclinales des Préalpes dans le sens longitudinal pour déterminer le choix de cet emplacement. Il en est plutôt une conséquence, comme aussi d'une différence d'épaisseur dans les poudingues miocènes de chaque côté de la vallée.

A Bonneville, c'est la masse des Préalpes qui reste en arrière, c'est-à-dire vers le N. dans le mouvement de rétrécissement et le plissement des chaînes subalpines, mais ici, comme à Vaduz, on constate nettement ce défoncement de la chaîne vindélicienne sous les plis alpins postmiocènes; c'est là le critère le plus évident du remaniement tectonique et du plus grand âge de la chaîne vindélicienne.

Coup d'œil d'ensemble

La genèse de nos Alpes, telle que nous venons de l'exposer, peut paraître un peu compliquée, par contre celle de M. le professeur Steinmann est plus simple. Toutes deux exigent deux phases de plissement, l'une postéocène, l'autre postmiocène. L'explication de M. Steinmann donne au charriage postéocène la grande part dans le plissement du sol, un surplissement inconnu jusqu'ici dans les chaînes de montagnes, comme aussi en général après le dépôt du Flysch. Les plissements

¹⁾ Voir : Annales de géographie, t. 10, p. 295 et suiv., pl. 37, gr. in-8°, Paris 1901.

postmiocènes sont insignifiants à côté du charriage. Il y a lieu de s'en étonner en face des relations des plis alpins avec la Molasse, et surtout au début des temps qui ont été marqués par des phénomènes glaciaires universels. Pourquoi en outre les mouvements postéocènes sont-ils essentiellement tangentiels, tandis que les postmiocènes sont dirigés de bas en haut? Nous ne connaissons qu'une manière d'être du plissement de l'écorce terrestre. D'abord moins énergique, il soulève la chaîne vindélicienne et produit le premier relief des Alpes à la fin de l'Eocène ou au début des temps oligocènes (Flysch). Puis une recrudescence d'énergie orogénique se manifeste au début du Miocène. Les Alpes s'élèvent, la chaîne vindélicienne se détruit. Après le dépôt de la Molasse, au début des temps pliocènes, se produisent les grandes dislocations des Alpes.

Ce fut pour moi comme une révélation, quand dans une conférence au cercle que préside notre honoré professeur M. Albert Heim, son fils, notre ancien étudiant à tous les deux, nous fit part de ses observations sur le petit môle du Berglittenstein, dont j'ignorais jusque là l'existence, ou plutôt l'emplacement. Comment, une „klippe“ dans le voisinage du Rhæticon! mais c'est un trait d'union entre Yberg et la Bavière. Qu'avons-nous encore besoin du charriage? Je vis alors la chaîne vindélicienne, je la vis se recouvrir de plis alpins, je relus Studer que je compris enfin, puis les ouvrages récents, et tout s'éclaircit pour moi. Et je vis aussi que notre honorable confrère M. le professeur Schardt a été tout près du but en suivant les traces de B. Studer, qu'il a malheureusement abandonnées. C'est la théorie des nappes qui lui a fait perdre la bonne trace. Espérons qu'il y reviendra, lui qui connaît si bien les Préalpes.

Qu'elle est donc mystérieuse cette chaîne des Préalpes, et ces môles qui sont un trait d'union entre la Suisse et la Bavière, des mausolées d'une ancienne chaîne de

montagnes ensevelie dans le cœur de la Suisse, et qui reste debout, encore bien conservée dans le pays romand, mais les pieds dans la tombe, devant les hautes chaînes aux têtes déjà blanches !

Comme tout ce monde alpin, qui veille aux frontières de la Suisse, s'élève majestueux, riche en décors, glorieux en souvenirs, au-dessus des verts côteaux qu'il a vus naître et qu'il nous a préparés sous le regard de Dieu. Qu'elles ont été nécessaires et bien dirigées, les dislocations des Alpes !

Conclusions

Les dislocations alpines sont partout et toujours le résultat de la contraction de l'écorce terrestre dans ses manifestations multiples, plis, déjettements de plis, chevauchements parfois très considérables, dislocations transverses et failles verticales, tout est possible et tout se retrouve dans les Alpes. Vouloir tout expliquer par un mouvement unique du plissement dirigé du Sud vers le Nord, c'est une conception qui peut plaire autant par son uniformité que par son amplitude. Mais la vérité n'est jamais coquette, et la nature ne connaît pas l'uniformité parmi ses lois, au contraire, elle a des buts et des moyens qui ont plutôt lieu de nous surprendre par leur diversité.

Il naît à certains moments des idées qui plaisent et sont reçues d'emblée, sans peine ni objections, surtout lorsqu'elles sont exposées, comme ce fut le cas pour la théorie du charriage, avec talent et enthousiasme. Puis le temps et la réflexion aidant, on se lasse de ce qui avait plu d'abord, on abandonne ces idées aussi facilement qu'on a cru devoir les adopter sans conteste. D'autres, au contraire, moins entourées de faveurs au début, et provenant quelquefois de source plus modeste, mettent beaucoup plus de temps à faire leur chemin. Si elles devancent leur temps, elles rencontrent tout d'abord l'op-

position du plus grand nombre. Puis les adhérents se déclarent dans la mesure où s'est faite l'opposition. La lutte une fois engagée, c'est ordinairement le petit nombre des adhérents qui va en augmentant, tandis que l'opposition se tait peu à peu et la vérité triomphe. Comme on n'a pas fait jusqu'ici beaucoup d'opposition à la théorie du charriage, et qu'au contraire elle a eu beaucoup d'adhérents, il faut s'attendre à la voir tomber d'elle-même en défaveur. Et si l'hypothèse de Bernard Studer a tout d'abord été critiquée et même rejetée, c'est qu'elle est apparue, comme beaucoup d'autres, avant le temps favorable à son développement.

Nous pensons lui avoir donné les développements que comporte l'état actuel de la géologie, et si nos vues nouvelles sont critiquées, nous savons d'avance le sort final qui leur est réservé. Si elles n'en valent pas la peine, eh bien ! on n'en parlera pas. On a émis beaucoup d'idées dans notre science qui n'ont trouvé ni opposants, ni défenseurs. L'avenir nous dira si la chaîne vindicatrice a été ressuscitée en vain.

ZURICH, 1906-1907.

D^r LOUIS ROLLIER.

