

LES
RÉGIONS EXOTIQUES DU VERSANT NORD
DES ALPES SUISSES

(Préalpes du Chablais et du Stockhorn et les Klippes)

LEURS RELATIONS

AVEC L'ORIGINE DES BLOCS ET BRÈCHES EXOTIQUES
ET LA FORMATION DU FLYSCH

PAR LE

D^r H. SCHARDT

Professeur de géologie à la Faculté des Sciences de Neuchâtel.

Avec 1 planche.

Extrait du *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles*
Vol. XXXIV, N^o 128, année 1898.

LAUSANNE
IMPRIMERIE CORBAZ & C^{ie}

1898

LES

RÉGIONS EXOTIQUES DU VERSANT NORD

DES ALPES SUISSES

LES
RÉGIONS EXOTIQUES DU VERSANT NORD
DES ALPES SUISSES

(Préalpes du Chablais et du Stockhorn et les Klippes)

LEURS RELATIONS

AVEC L'ORIGINE DES BLOCS ET BRÈCHES EXOTIQUES
ET LA FORMATION DU FLYSCH

PAR LE

D^r H. SCHARDT

Professeur de géologie à la Faculté des Sciences de Neuchâtel.

Avec 1 planche.

Extrait du *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles*
Vol. XXXIV, N^o 128, année 1898.

LAUSANNE
IMPRIMERIE CORBAZ & C^{ie}

1898

LAUSANNE. — IMPRIMERIE CORBAZ ET C^{IE}

LES
RÉGIONS EXOTIQUES DU VERSANT NORD DES ALPES SUISSES

(PRÉALPES DU CHABLAIS ET DU STOCKHORN ET LES KLIPPES)

LEURS RELATIONS
avec l'origine des blocs et brèches exotiques et la formation
du Flysch.

par le Dr **H. SCHARDT**,

Professeur de géologie à la Faculté des Sciences de Neuchâtel.

Planche I.

AVANT-PROPOS

La région des Alpes suisses appelée « Préalpes romandes » est comprise entre la vallée de l'Arve et le lac de Thoune et forme ainsi un segment nettement déterminé des Alpes calcaires septentrionales. En introduisant le nom de Préalpes romandes, il y a une vingtaine d'années, M. Renevier a sans doute voulu faire ressortir le contraste stratigraphique qui existe entre cette région et les autres parties de la bordure calcaire du versant N. des Alpes. Il était sans doute loin de supposer l'étrange situation que les recherches tectoniques allaient plus tard assigner à cette région. Loin de former un simple segment tectonique équivalant aux Alpes d'Unterwalden et d'Annecy, toute cette région est, selon moi, un morceau de terre étrangère venu de loin posé sur le bord des Alpes, à cheval sur les terrains miocènes et sur les premiers plis alpins proprement dits.

C'est cette explication que j'ai eu l'honneur d'exposer à la

Société vaudoise des Sciences naturelles, dans sa séance du 2 novembre 1893¹.

Elle a suscité l'étonnement général des géologues, la sympathie des uns et les objections des autres. De nombreuses notes ont été publiées à cet égard; les unes reconnaissent le bien-fondé des motifs qui ont pu faire naître une interprétation aussi hardie en apparence; d'autres expriment des contestations d'ordre varié, basées soit sur des arguments stratigraphiques, soit sur des observations tectoniques.

Je n'ai pas répondu à tous les adversaires, bien que j'aurais dû toujours prendre part au débat comme le plus directement intéressé. Si cela n'a pas eu lieu, c'est, d'une part, parce que d'autres occupations, la revision de la feuille XVI de l'Atlas géologique suisse, une charge d'enseignement très absorbante et divers travaux que je comptais expédier auparavant, ont jusqu'ici amplement occupé tout mon temps; d'autre part, je me plaisais à assister, sans y prendre une part trop directe, au débat qui s'est ouvert à plusieurs reprises, soit en Suisse, soit devant la Société géologique de France. Je voulais laisser venir les objections, les peser une à une, et attendre le moment propice pour les combattre.

Dans plusieurs publications assez importantes, mes vues ne paraissent cependant pas avoir été bien comprises par les divers auteurs. Le moment est donc venu pour moi de prendre part au débat, de relever et de controuver les objections qui m'ont été faites et surtout de préciser les points qui paraissent n'avoir pas été bien interprétés, puis de faire l'exposé des faits qui se sont succédé depuis que j'ai pour la première fois exposé cette nouvelle manière de voir. Je m'efforcerai d'être absolument impartial, de rendre à chacun ce qui lui revient, et de présenter l'évolution de la solution du problème conformément à la réalité et en montrant l'influence qu'ont exercé les travaux des divers géologues. En le faisant, je crois rendre un service appréciable à tous ceux qui

¹ Voir *Archives des Sciences physiques et naturelles*, Genève, t. xxx, déc. 1893. — *C. R. Acad. des Sciences*, Paris, 20 Nov. 1893.

s'intéressent à la géologie de la Suisse, de même qu'aux membres de notre société, qui ont souvent assisté à des communications sur cet objet, et n'ont trouvé dans notre Bulletin que des résumés très abrégés, incompréhensibles pour ceux qui ne sont pas spécialistes et qui n'ont pas suivi le débat de près.

Après avoir rappelé en quoi consiste la nouvelle théorie et après un exposé historique de la question, je passerai à un exposé précis et rigoureux des *faits* qui m'ont conduit à formuler une explication qui a pu paraître au premier abord, à plus d'un, absolument invraisemblable. Je discuterai en même temps les objections qui m'ont été opposées et présenterai enfin les arguments nouveaux à l'appui de la solution proposée.

I. — L'origine des Préalpes, les Klippes et la formation des brèches du Flysch

(D'après ma théorie.)

Il n'y a pas seulement le problème des Préalpes ; l'énigme de la formation des klippes, des blocs exotiques et du Flysch s'y rattache directement. La solution du problème que j'ai proposée en séance de la Société vaudoise des Sciences naturelles est la suivante :

Vu leur facies absolument différent de celui des Alpes d'Unterwald et d'Annecy et de la chaîne du Wildstrubel-Dents du Midi, les Préalpes romandes ne peuvent pas être un segment normal des Alpes calcaires, établissant une jonction réelle entre les Alpes d'Unterwald et celles d'Annecy. Les terrains des Préalpes qui appartiennent au facies austro-alpin, sont constamment *superposés* aux plis des Alpes d'Unterwald-Wildstrubel-Annecy, lesquels offrent le facies dit helvétique, facies très semblable à celui du Jura. De même sur leur bord N., le Trias des Préalpes repose sur le Flysch. Ce fait (non hypothèse) est exprimé par la **Loi des Préalpes** : *Partout où l'on trouve dans les Préalpes, le substratum du Trias, du Permien ou du Carbonifère, il est formé par un terrain plus récent, ordinairement du tertiaire (Flysch)*. C'est-à-dire que sous le terrain le plus ancien des Préalpes, on trouve toujours le tertiaire. Cette loi est restée jusqu'ici sans exception, qu'il s'agisse des Préalpes proprement dites ou de la Brèche du Chablais et de celle de la Hornfluh, qui jouent vis-à-vis des Préalpes le même rôle que celles-ci vis-à-vis de leur entourage à facies helvétique. Reconnaisant l'analogie des Préalpes avec les klippes d'Unterwald et de Schwytz, ainsi qu'avec celles de la vallée du Reposoir (Alpes d'Annecy), j'ai été conduit à admettre que la nappe des Préalpes qui repose bien réellement sur un substratum plus récent (Flysch recouvrant des terrains plissés à facies helvétique), a dû s'étendre autrefois *pardessus* les Alpes d'Unterwald, de Schwytz et de Glaris pour se souder à la masse du Rhæticon. Celle-ci est d'ailleurs dans la même situation vis-à-vis du Flysch et des plis du Vorarlberg. De même au SW de l'Arve, les terrains du Chablais devaient s'étendre jusqu'au delà d'Annecy *sur* les plis des Alpes de cette région.

Les lambeaux connus sous le nom de Klippes et les grands

blocs exotiques sédimentaires sont les restes de cette nappe superposée qui a été érodée par les cours d'eau miocènes, en alimentant de ses débris les poudingues miocènes du plateau suisse, d'où la fréquence des roches à facies austro-alpins dans ces conglomérats.

Cette nappe ayant existé encore à l'état continu au début de l'époque miocène, doit avoir glissé d'une région centrale des Alpes vers le nord, en passant *pardessus* les massifs cristallins du Saint-Gothard, de l'Aar, du Mont-Blanc et Aiguilles-Rouges. Son gîte primitif était probablement la zone Adula-Simplon-Mont-Rose-Combin et les régions des schistes lustrés, situées au N et au S de cette ligne. C'est pendant son mouvement vers le N que cette nappe a entraîné avec elle des paquets de roches cristallines qui sont venus avec les débris des sédiments eux-mêmes, s'effondrer dans la mer du Flysch. Ils ont formé ces brèches à débris polygéniques anguleux, ayant l'aspect d'éboulements et qui sont stratifiés avec des marnes à fucoides et à helminthoïdes. Finalement, la nappe sédimentaire est venue s'échoir au bord des Alpes, ayant culbuté, plissé et recouvert elle-même le Flysch. Soumise aux érosions tertiaires, la partie comprise entre le lac de Thoune et l'Arve fut conservée à l'état continu, par suite d'un affaissement considérable.

Cette solution explique à la fois :

1° Le contraste stratigraphique entre les Préalpes et leur entourage ;

2° Le contraste tectonique : les Préalpes offrent des plis très réguliers, des plis-failles et des chevauchements, tandis que dans les Alpes à facies helvétique s'observent des plis en lacets couchés et étirés ;

3° La superposition anormale constante des terrains les plus anciens des Préalpes sur leur substratum tertiaire ;

4° La formation du Flysch, des brèches à matériaux exotiques et de blocs exotiques. La sédimentation du Flysch a été nourrie par la nappe de recouvrement. *Pendant* que celle-ci se déplaçait vers le N, son front se désagrégeait et les sédiments qui le composaient, ainsi que d'immenses quantités de roches cristallines entraînées dans le mouvement, passèrent dans les sédiments du Flysch et y furent stratifiées, souvent sans aucune usure ;

5° L'origine des poudingues à matériaux exotiques du plateau miocène suisse, qui proviennent du démantèlement de la nappe préalpine, allant jadis du lac de Thoune au Rhaeticon ;

6° Les klippes, qui sont les derniers restes de cette nappe, conservés dans des synclinaux.

II. — Historique ¹.

De 1820 à 1890.

Le problème des Préalpes du Stockhorn et du Chablais est en réalité aussi vieux que nos connaissances sur la structure et la stratigraphie du versant N. de nos Alpes. Il remonte à l'époque où Studer fit, il y a plus de 70 ans, ses premières publications sur la géologie de la Suisse. Sans encore arriver à une précision nette des faits, STUDER² remarque déjà en 1825 que les poudingues du plateau miocène, surtout ceux de la région de l'Emmenthal, renferment des roches différentes de celles qui constituent le versant N. de la chaîne des Alpes. Il connaît les grands blocs de la vallée de Habkern et suppose leur relation avec celles du poudingue miocène. Ces blocs, dit-il, ne peuvent être confondus avec les blocs erratiques glaciaires, dont le plateau suisse est parsemé. Il laisse entrevoir la possibilité, exprimée déjà par L. de Buch, que ces roches soient attribuables à un prolongement vers le S. du massif vosgien et de la Forêt-Noire.

Dans sa publication de 1834 sur les Alpes de la Suisse occidentale, STUDER³ remarque en outre que les vallées transversales des Alpes séparent souvent des régions *totalelement différentes*. Il cite la vallée transversale de l'Aar, le long du lac de Thoune, qui sépare la région du Stockhorn et les montagnes entourant les vallées de la Sarine et de la Simmen, de celles d'Unterwald, qui sont absolument différentes ; il cite le fait analogue de la vallée de l'Iller, dans le Vorarlberg. Il montre sur plus d'une page de ce livre le contraste entre les formations du groupe du Wildhorn (c'est ainsi qu'il nomme la région des hautes Alpes calcaires, allant du lac de Brienz jusqu'à la Dent de Morcles) et celles qui

¹ Cette notice historique ne tient compte que des publications ayant plus spécialement trait au problème des Préalpes, des klippes, des blocs exotiques et des brèches du Flysch sur le versant N des Alpes suisses.

² (N° 1) B. Studer, *Beiträge zu einer Monographie der Molasse*. Bern, 1825.

³ (N° 2) Studer, *Geologie der Westlichen Schweizer Alpen*, 1834, p. 409.

composent les montagnes situées au N. Ses définitions le montrent clairement. Son coup d'œil tectonique lui fait relever sur un autre point (p. 321) qu'au NE du lac de Thoune, les diverses chaînes qui composent le groupe du Stockhorn, vont en convergeant vers l'Est, en se resserrant, alors que la zone du Wildhorn offre un changement contraire et se divise en plusieurs chaînes parallèles.

C'est surtout la présence de roches cristallines et autres roches étrangères, dans les poudingues miocènes, qui a suscité au plus haut degré l'étonnement de Studer. Il a constaté, le premier, que toutes ces roches sont absolument *inconnues à l'état d'affleurement*, sur le versant N. des Alpes. Pour expliquer leur provenance, il admet que sur le versant N. des Alpes il existait autrefois une chaîne marginale dénudée jusqu'aux terrains cristallins. Ce seraient les débris de cette chaîne qui auraient fourni les matériaux des poudingues miocènes et des brèches du Flysch. L'énoncé de cette hypothèse qu'il donne déjà dans sa « *Geologie der westlichen Schweizer Alpen* » (p. 389-411) est une des pages les plus saisissantes de ce livre. En lisant cet exposé, on ne croirait pas qu'il a été écrit il y a plus de 60 ans. Le point d'attache de cette conception est formé par les affleurements de calcaire de Châtel (oxfordien) au pied des Ralligstöcke, sur la rive E. du lac de Thoune. Constatant l'association étrange de cette lame de calcaire, absolument différente de celui qui compose les Ralligstöcke, au milieu de grès du Flysch et de grès de Tavayannaz, Studer croit y reconnaître les restes d'une *continuation de la région du Stockhorn, au NE du lac de Thoune*, où cette chaîne fait actuellement défaut. La région tout entière des Préalpes, dès la chaîne du Stockhorn jusqu'à la ligne Bex-Leissigen, est clairement désignée comme étant une partie conservée de cette ancienne chaîne marginale des Alpes.

1853. L'explication en est donnée avec une clarté parfaite dans la « *Geologie der Schweiz* »¹. Reconnaisant le contraste entre la région alpine, allant du cours de l'Arve jusqu'à l'Aar, et celles qui se trouvent plus à l'intérieur ou qui se placent sur son prolongement au SW et au NE, Studer pose de nouveau la question de l'ancienne existence d'une chaîne marginale qui lui paraît être la seule explication possible de la formation des immenses amas détritiques du Flysch et des poudingues mio-

¹ (N° 3) B. Studer, *Die Geologie der Schweiz*. 2 vol. 1851-1853.

cènes. Il donne cette fois une explication au moyen de trois profils montrant la disposition successive des terrains de cette chaîne marginale, au début de la sédimentation tertiaire, pendant celle-ci et après son achèvement, où le massif marginal fut recouvert de ses propres débris et par les plis des terrains secondaires refoulés et déjetés vers le nord (t. II, p. 387-389). Cette démonstration si hardie et si claire est certes un beau couronnement de l'œuvre si grandiose de Studer.

La même explication est relevée et admise aussi dans un remarquable mémoire de RUTIMEYER ¹ paru peu avant et qui décrit en détail la structure géologique des Ralligstöcke.

1862. B. STUDER ² mentionne de nouveau le fait remarquable de l'arrêt brusque du Stockhorn et du Niesen au bord du lac de Thoune et constate qu'il est bien difficile de s'en expliquer les raisons, autrement que par l'hypothèse déjà exprimée.

1863. Peu après, J. BACHMANN ³ a publié une notice très riche en faits du plus grand intérêt. L'auteur poursuit les blocs dits exotiques depuis le lac de Thoune jusqu'au Rhin, le long de la bordure des Alpes d'Unterwald jusqu'aux environs d'Iberg, puis à travers le Toggenbourg jusqu'à Grabs. C'est pour la première fois que le terme « blocs exotiques » est employé dans la géologie de la Suisse et appliqué à des masses de terrains sédimentaires. Jusqu'ici les blocs de roches cristallines seules avaient suscité l'étonnement des géologues. Bachmann a montré que du lac de Thoune jusqu'au Vorarlberg, il y a une zone jalonnée par des débris de roches sédimentaires, ayant le facies de la chaîne du Stockhorn. Il considère positivement la région du Stockhorn comme un reste de l'ancienne chaîne marginale admise par Studer. Cette chaîne, primitivement dénudée, jusqu'aux terrains cristallins, existait non seulement entre l'Aar et l'Arve, mais se prolongeait à l'époque tertiaire jusque dans le Vorarlberg et

¹ (N° 4) L. Rutimeyer, *Ueber das Schweizerische Nummuliten-Terrain*. « Mém. Soc. helv. Sc. nat. », 1850.

² (N° 5) Studer, *Observations géologiques dans les Alpes du lac de Thoune*. « Archives Genève », 1862, XV, 5.

³ (N° 6) J. Bachmann, *Ueber Petrefaktenführende Jurablocke im Flysch des Sihlthal u. Toggenburg*. « Vierteljahrsschr. d. Naturf. Gesellsch. Zürich », 1863, VIII, 34 p. 1 pl.

⁴ Ce terme a été appliqué par Hohenegger à une apparition analogue observée par lui en Moravie.

même plus loin. Elle fut conservée dans la région du Stockhorn, mais disparut presque entièrement par affaissement et érosion au NE. de l'Aar, ainsi que l'avait déjà exprimé Studer; les blocs exotiques cristallins et surtout les débris calcaires, *localement de vrais rochers* qui affectent d'une manière très tranchée le *facies du Stockhorn* et de *Châtel* (Châtel-St-Denis) sont les preuves les plus évidentes de l'ancienne existence de cette chaîne aujourd'hui disparue, entre l'Aar et le Rhin.

1865. Dans son beau mémoire sur le monde primitif de la Suisse, OSWALD HEER¹, tout en rappelant l'hypothèse de Studer, lui substitue l'idée déjà exprimée par de Buch. En se basant sur la répartition des restes d'êtres vivants dans les terrains sédimentaires de la Suisse, autant des terrains secondaires que des terrains tertiaires, il admet qu'au début de l'ère tertiaire, il existait un prolongement méridional du massif de la Forêt-Noire ayant atteint la région du Napf et qui aurait nourri la formidable sédimentation détritique à roches cristallines entre l'Aar et la Reuss.

ALPHONSE FAVRE² s'est étonné à juste titre de trouver dans la vallée du Reposoir et de Servaval, en Savoie, les montagnes des Almes et de Sullens, composées de terrains triasiques et liasiques, superposés à des couches tertiaires renfermées dans un fond de bateau, au point même où l'on devait s'attendre à trouver les couches les plus récentes. Par cette constatation, Favre a nettement reconnu la situation réelle de ces klippes ou lambeaux; mais plus loin il admet que ces contacts étranges doivent être attribués à des failles, vu qu'on ne trouve nulle part entre le terrain triasique et le terrain tertiaire des roches dont la présence permettrait de croire que cette structure est le résultat de simples contournements (II, p. 219). Encore une vue extrêmement juste, qui montre bien la clairvoyance de celui qui fut pour les Alpes de Savoie ce que fut Studer pour les Alpes Suisses.

Alphonse Favre ne se prononce pas sur l'origine des roches cristallines du Flysch, qu'il désigne pourtant, en parlant des

¹ (N° 7) Oswald Heer, *Le monde primitif de la Suisse*. Traduction française. Genève et Bâle, 1872, p. 351-353. Edition allemande, 1865.

² (N° 8) Alph. Favre, *Recherches géologiques dans les parties de la Savoie, du Piémont et de la Suisse voisines du Mont-Blanc*. Genève, 1867. II, 207 et 215.

blocs de Mont Vouant, de « blocs erratiques de l'époque éocène ». On sait le grand embarras qu'il a éprouvé à classer la brèche calcaire du Chablais, qu'il a fini par réunir au Lias, sans y avoir trouvé des fossiles attestant positivement cette classification.

BACHMANN¹ revient encore une fois, en 1875, sur ce problème, en résumant la structure géologique des environs de Thoun et rappelle l'étrange coïncidence du développement le plus considérable du poudingue miocène, justement sur cette partie du bord des Alpes où la chaîne du Stockhorn fait défaut!² Il donne une coupe de la région comprise entre les Ralligstöcke et les premiers bancs du poudingue miocène et montre sur ce point si intéressant pour la géologie alpine, des sédiments à facies préalpin (Malm, Lias, Rhétien, gypse et cornieule triasique) pincés en forme de lames, accompagnés de Flysch et de grès de Tavayanz, entre le Néocomien à facies helvétique et les grès de Ralligen (oligocène supérieur).

Cette même coupe, avec les mêmes détails aussi, a été figurée par M. E. FAVRE³ et auparavant par RUTIMEYER dans le mémoire déjà cité (N° 4). KAUFMANN⁴ a, depuis lors, donné de nouveaux détails, sans chercher à élucider le problème. (Voir plus loin.)

L'hypothèse de la chaîne marginale des Alpes paraissait, vers 1870, bien établie et fermement admise. Aussi dès ce moment elle ne donna plus guère matière à débats; pourtant, il ne semblait pas que le dernier mot fût dit sur cette question, car le sentiment général était que l'origine des blocs exotiques restait problématique et que la solution définitive du problème, c'est-

¹ (N° 9) J. Bachmann, *Geologisches über die Umgebung von Thun*. « Jahrb. S. A. C., XI », 1875.

² Bachmann cite à plusieurs reprises le nom de A. Escher de la Linth, soit seul, soit associé à celui de Studer, comme étant l'auteur de l'hypothèse d'une chaîne marginale disparue. Je n'ai rien trouvé d'imprimé sous le nom d'Escher qui confirme cette opinion. Il se pourrait pourtant que la longue et étroite collaboration de Studer et d'Escher n'ait pas toujours permis de séparer exactement leurs conceptions personnelles.

³ (N° 10) E. Favre, *Note sur la géologie des Ralligstöcke*. « Arch. Genève » et « Revue Géol. Suisse », 1871.

⁴ (N° 11) J. Kaufmann, *Emmen- u. Schlierengebiet*. « Mat. Carte Géol. Suisse XXIV », 1888.

à-dire la démonstration positive ou la réfutation de la théorie de Studer, exigerait encore bien des recherches.

Un point important nous reste acquis et qui met bien en lumière le génie de Studer, *c'est d'avoir attribué au même phénomène l'origine des roches exotiques du poudingue miocène et l'origine des blocs exotiques contenus dans le Flysch; puis, d'avoir ramené l'explication de l'énigme à des phénomènes tectoniques qui ont agi sur le versant N des Alpes.*

Avec l'année 1870 se termine la première période des recherches tendant à trouver une solution du problème qui nous occupe. — Les années de 1870 à 1890 constituent une période transitoire où se préparent des vues nouvelles ayant pour base les phénomènes tectoniques constatés par les études de détail. C'est pour ainsi dire la période d'incubation de la solution définitive.

C'est après 1860 que parurent les premiers volumes des matériaux pour la carte géologique de la Suisse et les premières feuilles de celle-ci; il semble que les recherches auxquelles les géologues suisses se sont livrés de 1865 à 1886, en vue de cette grande publication d'ensemble, aient presque fait oublier ce problème si intéressant. C'était d'ailleurs la vraie voie à suivre, puisque pour arriver à l'élucidation du problème, il fallait des observations de détail sans nombre, et si la solution définitive ne s'est pas faite spontanément et plus tôt, c'est en grande partie, grâce à la circonstance que les géologues explorateurs, travaillant au relevé de la carte géologique, exécutèrent leur travail en se tenant confinés chacun dans son étroit district. Ce n'était plus le temps où Studer, Escher, Merian, avec des amis venus même de l'étranger, firent de longs voyages à travers les Alpes et les régions voisines. On a pratiqué quelque peu de la géologie de clocher. Ainsi Kauffmann, qui a étudié les Alpes d'Unterwalden, n'avait guère visité la région du Stockhorn, dont la connaissance lui eût été si utile pour l'explication des Klippes. Sur la feuille XVII, trois géologues ont teinté le même terrain de trois manières différentes! Les grands et beaux volumes de texte accompagnant la carte géologique de la Suisse et qui sont si riches en observations consciencieusement relevées, manquent souvent de résumés théoriques et de données permettant la comparaison indispensable avec les régions voisines. On sent l'isolement des différents collaborateurs par l'absence des résultats d'un ordre général qui devraient pouvoir se déduire de chaque étude de détail.

De là provient aussi la difficulté de comparer les observations

et conclusions contenues dans les diverses publications qui attestent cependant un travail très consciencieux, surtout au point de vue stratigraphique.

Les recherches dans les Alpes occidentales n'ont pas conduit à la découverte de phénomènes tectoniques aussi grandioses que ceux qui ont présidé à la formation du grand pli glaronnais supposé par Escher et si superbement illustré par le professeur Heim. Et pourtant n'était-on pas en droit d'admettre que l'énorme intensité du refoulement qui a fait naître ce grand pli couché a aussi dû se faire sentir dans les Alpes de la Suisse occidentale?

C'est cette question que s'est posée M. MARCEL BERTRAND ¹, lorsque en 1884, il soumit le problème du double pli glaronnais à un examen comparatif, en relevant les analogies de ce phénomène gigantesque avec les grands recouvrements constatés dans le bassin d'Anzin.

Il a proposé premièrement de considérer le double pli glaronnais comme un seul pli venu du sud et dont le front, où l'entassement des replis devait singulièrement augmenter l'épaisseur des terrains, se serait enfoncé, simulant ainsi la racine d'un second pli. Cherchant ensuite le prolongement de ce phénomène vers l'ouest, M. Bertrand voit dans les Alpes du Stockhorn (d'après la carte géologique Suisse) des indices d'un prolongement du grand pli glaronnais et considère les chaînes calcaires de cette région comme des lambeaux de recouvrement *reposant sur le Flysch*. Je transcris ici textuellement ce qui est dit dans cette note :

« L'étude des cartes géologiques de la Suisse mène à cette » conclusion, que le phénomène du recouvrement n'est pas » spécial aux Alpes de Glaris. La feuille de Sion (XVII) récem- » ment publiée, donne dans son ensemble l'impression très nette » d'un « fond » de Flysch, sur lequel s'étaient de grandes taches » de terrains plus anciens, occupant en général les hauts som- » mets. Quelques lambeaux sont, il est vrai, dans le fond des » vallées, mais ce serait là le résultat d'un glissement postérieur, » uniquement dû à la pesanteur, tel qu'on en voit encore actuel- » lement se dessiner et s'amorcer en quelque sorte, partout où » une puissante corniche calcaire couronne une pente de terrain » marneux.

¹ (N° 12) Marcel Bertrand, *Rapport de structure des Alpes de Glaris et du bassin houiller du Nord*. « Bull. Soc. Géol. France. » 1884. XII. 318-330. 1 pl.

« Le sud de la feuille de Fribourg (XII) et la carte de la région du Mont-Blanc, par M. Favre, permettent de suivre les mêmes phénomènes, dont les dernières traces s'arrêteraient en face de la pointe S. du Mont-Blanc (près de Serraval, à l'ouest du Mont-Charvin). Partout, on semble constater, limitant tous les lambeaux de recouvrement et toujours parallèle au massif central, la continuation du « cran de retour ». Il y a lieu de signaler seulement les décrochements, souvent considérables, que subit cette ligne, ainsi que celle qui limite la molasse, en face des principales vallées normales à la chaîne.

» A l'est de Glaris, dans le Tyrol (Rhætikon), M. Mojsisovics a observé des faits de même ordre; il y a là de plus cette circonstance, bien intéressante, que les terrains dans la masse de recouvrement présentent le *facies alpin*, et dans les autres affleurements le *facies helvétique*. »

Enfin, M. Bertrand met en relation ces recouvrements ou plis couchés avec les blocs exotiques du Flysch, dont il marque sur une esquisse de carte, la situation au N du « cran de retour », limitant la zone des lambeaux de recouvrement. On remarquera que M. Bertrand ne relève pas la différence de facies entre les Alpes de Glaris, de Schwytz et d'Unterwald d'une part et celles du Stockhorn et du Chablais, et il n'envisage aucunement le problème des Préalpes de cette dernière région, problème dont la solution consiste justement dans l'explication de ce contraste. M. Bertrand n'avait pas en ce moment visité les Alpes du Stockhorn et ne pouvait conséquemment proposer une solution à ce problème; il ne parle pas davantage de l'origine du Flysch et des brèches.

Cette note ne fut pas d'ailleurs relevée comme elle le méritait; en particulier l'allusion faite à la région du Stockhorn est restée sans écho jusqu'en 1893.

1884. Dans mon étude sur les *Alpes du Pays d'Enhaut vaudois*¹ parue la même année, je n'ai guère envisagé le problème des Préalpes dans son ensemble, l'objet de mon étude ayant été trop réduit pour m'amener à poser une question d'ensemble.

J'ai relevé toutefois le contraste entre les terrains des Préalpes et ceux de la chaîne si rapprochée de l'Oldenhorn.

¹ (N^o 13) H. Schardt, *Etudes géologiques sur le Pays d'Enhaut vaudois*. « Bull. Soc. vaud. Sc. nat. » 1884. XX, 188 p. 9 pl.

J'expliquai ce contraste par une différence de profondeur des bassins sédimentaires. J'ai aussi examiné la question de l'origine des blocs exotiques et des brèches à matériaux exotiques du Flysch, en me ralliant, faute de mieux, à l'hypothèse de leur transport par des glaciers et des glaces flottantes, d'une région peut-être très éloignée, vu l'analogie frappante de plusieurs roches cristallines, contenues dans les brèches du Flysch, avec des roches des Grisons et du versant S. des Alpes. Dans ce travail, nombre de gisements de gypses, de cornieule et de dolomie, ainsi que la brèche de la Hornfluh sont classés dans le tertiaire, en raison de leur *superposition manifeste* sur le Flysch et de leur contact constant avec ce terrain.

Le beau mémoire de GILLIÉRON ¹, paru en 1885, ne donne pas de vues d'ensemble sur la situation tectonique de la région. Les détails stratigraphiques extrêmement nombreux relevés d'une manière si consciencieuse, ont été le principal souci de Gilliéron et il n'a cherché à constater avec le plus grand soin que ce qui est *réellement visible*. Aussi les coupes profondes, les *relations souterraines* des terrains font défaut. C'est encore pour n'avoir pas cherché à élucider la situation tectonique profonde que Gilliéron n'a pas songé à donner aux klippen, dont les Alpes fribourgeoises abondent, une signification autre que celle de masses ayant percé le Flysch par suite de dislocations diverses ². Il range la brèche de la Hornfluh dans le tertiaire, *parce qu'il a vu sa superposition sur le Flysch et le Crétacique*, constatation qui lui paraissait péremptoire pour cette interprétation.

Les mêmes opinions que celles exprimées dans mon mémoire de 1884, se retrouvent dans le volume de M. E. FAVRE ET MOI ³ sur la géologie de la partie N W de la feuille XVII de l'Atlas géologique suisse. Nous envisagions toutefois comme nettement triasique la zone dolomitique qui borde le pied de la chaîne du Meléson, au contact avec la zone de Flysch du Niremont-Gurnigel.

¹ (N° 14) V. Gilliéron, *Description géologique des territoires de Vaud, Fribourg et Berne compris sur la feuille XII*. « Mat. Carte Géol. Suisse. XVIII. 1885.

² (N° 15) V. Gilliéron, *Montsalvens*. « Mat. Carte Géol. Suisse, » livr. XII. 142. 1873.

³ (N° 16) E. Favre et H. Schardt, *Description géologique des Alpes vaudoises, etc.* « Mat. Carte Géol. Suisse », XXII. 1887.

Les ouvrages de KAUFMANN ¹, sur la région alpine comprise entre l'Aar et la Sihl, donnent d'intéressants détails sur les klippes, sans en élucider la situation étrange. Les Mythen sont bien classées dans le jurassique, vu leur superposition au Trias. Les Giswylerstöcke, par contre, sont comme les Klippes d'Iberg, désignés de « Ibergsschichten », formation d'âge encore incertain, mais qui serait comprise entre le tertiaire et la craie. Escher avait même pris cette roche pour de l'Urgonien ². En adoptant cette nouvelle classification, KAUFMANN se met nettement en contradiction avec sa précédente manière de voir ³, d'après laquelle les Klippes des Mythen, jusqu'aux Giswylerstöcke, seraient jurassiques. C'est évidemment après avoir constaté la superposition de cette formation *sur* le tertiaire, que Kaufmann a adopté cette nouvelle classification.

Il faut mentionner encore ici les conclusions du mémoire couronné de M. FRÜH ⁴ qui touche très directement au problème qui nous occupe. Basé sur la comparaison des roches contenues dans les poudingues miocènes du plateau suisse, Früh soutient que ces formations sont attribuables à des fleuves, ayant eu leur champ collecteur dans les *Alpes orientales* et *méridionales*, vu l'incontestable analogie des roches *exotiques* contenues dans les poudingues avec celles des Alpes orientales. Cette explication est rendue possible, si l'on admet un déplacement du partage des eaux vers le N. (C'est donc l'exclusion de l'hypothèse de Studer.)

De 1890-1893.

La Carte géologique de la Suisse allait être terminée vers 1890; la grande entreprise éveillée par Studer allait voir son couronnement, et sur la base de cette source si riche en documents, on pouvait maintenant tenter des recherches spéciales

¹ (N^o 17) F.-J. Kaufmann, *Kalkstein- u. Schiefergebiet von Schwyz u. Zug*, 1877. « Mat. Carte Géol. Suisse. » XIV.

(N^o 18) Kaufmann, *Emmen- u. Schlierengebiet, etc.* « Mat. Carte Géol. Suisse. » XXIV, 1888.

² C'est en réalité du Trias, etc., superposé au Flysch et au crétacique.

³ (N^o 19) F.-J. Kaufmann, *5 Neue Jurassier*. « Jahrb. S. A. C. » 1875.

⁴ (N^o 20) J.-J. Früh, *Beiträge zu Kenntniss der Nagelfluh der Schweiz. Gekrönte Preisschrift*. « Denkschr. Schw. Naturf. Gesellschaft ». XXX, 1888.

nouvelles. L'origine toujours discutée des blocs exotiques du Flysch devait nécessairement être un des premiers objets à mettre à l'ordre du jour. C'est ce qu'avait compris la commission du prix Schlöfli de la Société helvétique des sciences naturelles, lorsqu'en 1889 elle mit en concours, pour le 1^{er} juin 1891, la question suivante : *Die exotischen Gesteinsblöcke im Flysch der Alpen sind einer allseitigen Untersuchung besonders im Hinblick auf Ihre Herkunft und Wanderung zu unterziehen.*

Peu de temps après apparut une note de U. STUTZ¹ portant le titre : *Das Keuperbecken am Vierwaldstättersee*. Stutz comprend sous ce nom les Mythen, les Klippes du Buochserhorn, du Cleven, du Stanserhorn et des Giswylerstöcke. Loin de se douter de la vraie situation tectonique de ses objets d'étude, Stutz considère ces lambeaux comme des masses jurassiques reposant sur un socle de dolomie, de cornieule et de gypse triasiques, mais il n'a pu découvrir leur substratum et n'exprime aucune supposition (*Leider wissen wir nicht worauf der Gyps selbst liegt*, p. 105.)

Il a toutefois reconnu que c'est dans le synclinal crétacique et tertiaire, compris entre la chaîne du Pilate-Brüenstock-Hochfluh et celle de Frohnalp-Bauen, que se montrent les masses jurassiques et triasiques en question. Bien que réduits à l'état de lambeaux (Schollen), l'auteur les considère comme formant un bassin triasique complet (Keuperbecken)². En tout cas les définitions stratigraphiques si nettes de la superposition des terrains et sa supposition, non moins remarquable, d'une ancienne jonction entre le trias des Giswylerstöcke et celui de la ligne de Krattigen-Bex méritent d'être relevées. C'est la première fois que ce point de vue est exprimé, bien que très timidement.

L'on voit par ces vagues allusions que la voie pouvant conduire à une solution, était celle de définir la relation entre les roches et blocs exotiques du Flysch et les klippes d'une part,

¹ (N^o 21) U. Stutz, *Das Keuperbecken am Vierwaldstätter See*. « N. Jahrb. f. Min. Geol. u. Pal. » 1890, II, 100-140.

² En faisant cela, Stutz n'a-t-il pas exprimé *inconsciemment* la réalité des faits, en reconstituant, par une sorte de vision, l'ancienne jonction entre les klippes en question ; s'il avait eu cette notion d'une manière *consciente*, n'aurait-il pas dû saisir la superposition de cette ancienne nappe continue, sur le tertiaire du synclinal Sarnen-Schwytz-Iberg ? Mais une telle perspective allait au delà de son horizon.

et entre celles-ci et les terrains de la zone du Stockhorn, qui manque au N E du lac de Thoune. Mais cela ne pouvait se faire que sur la base d'une *étude tectonique serrée*, en y appliquant les vues nouvelles que les recherches des tectoniciens tels que Heim, Bertrand, Gosselet, venaient de mettre en lumière. Or, si la valeur *stratigraphique* de nos mémoires sur la géologie de la Suisse accuse une équivalence assez sensible pour la plupart de ces travaux, il n'en est pas de même des *vues tectoniques* qui s'y trouvent exprimées. La plupart de nos géologues collaborateurs à la Carte géologique suisse n'ont pas osé supposer ce que l'œil ne peut pas voir ; c'est pourtant la définition de la structure invisible du sous-sol qui constitue une tâche essentielle du géologue, à la condition, bien entendu, que la théorie *soit assise sur des observations assez nombreuses faites sur le terrain*. Il est toujours permis, et c'est même très désirable, qu'à la suite d'une étude de détail sur une région, l'auteur donne des profils d'ensemble montrant non seulement la structure géologique superficielle, mais aussi les *relations profondes, supposées*, des terrains.

Or, ce sont précisément les indications tectoniques d'ordre général qui font défaut dans beaucoup de mémoires descriptifs sur la Suisse, et pourtant la connaissance aussi complète que possible de la *structure tectonique du versant N. des Alpes suisses était indispensable pour s'approcher de la voie conduisant à une solution du problème posé*. J'avais alors la notion très nette de cette nécessité et des lacunes considérables qu'il faudrait combler pour arriver à un résultat. Si néanmoins je me suis décidé à la fin de l'année 1890 à proposer une solution à la question posée pour le prix Schläfli, c'est dans le sentiment intime que cette solution *n'était pas définitive*, mais qu'elle ne constituait qu'un *acheminement vers la vérité*. C'est dans ce sens qu'elle fut intitulée « Versuch einer Bahnbrechung » et munie de la devise *Errare humanum est* ¹.

Dans ce travail il est question d'abord des conglomérats du Flysch, des conglomérats à galets roulés et surtout des brèches

¹ (N° 22) H. Schardt, *Versuch einer Bahnbrechung zur Lösung der Flyschfrage und zur Entdeckung der Herkunft der exotischen Blöcke im Flysch*. Manuscrit présenté au concours pour le Prix Schläfli et couronné du prix. Compte rendu par C. Schmidt, professeur, « Actes Soc. helv. Sc. nat. Fribourg, 1890. »

polygéniques à gros blocs granitiques des Ormonts et des zones du Niesen et du Gurnigel, ainsi que de la région située au N E du lac de Thoune. La brèche de la Hornfluh est considérée comme eocène, vu sa superposition normale sur le tertiaire; elle dériverait de la désagrégation de terrains secondaires (jurassiques, etc.). Après l'examen de la situation tectonique des bords du lac de Thoune, cette étude montre que l'origine des blocs exotiques ne peut, en aucun cas, être attribuée au transport par des glaciers, hypothèse admise antérieurement, mais que ces blocs doivent avoir été introduits dans le Flysch, après s'être détachés presque sur place de leur roche-mère. Cette dernière devait former une falaise que des chevauchements renouvelaient constamment et qui finalement vint se superposer aux amas détritiques. Cela a lieu sur tout le bord N W des Préalpes entre Thoune et Montreux et entre Bouveret et Bonneville. Elle explique clairement la formation de la zone extérieure du Flysch des Voirons au Gurnigel. Une seconde falaise était supposée au pied des Hautes-Alpes, entre Leissigen et Samoëns; elle devait constituer, avec un socle granitique, un prolongement du massif du Mont-Blanc et de celui de l'Aar, qui offre, dans la vallée du Gasteren, des granites semblables à ceux des Ormonts. Après avoir nourri les amas détritiques du Flysch du Niesen, cette seconde falaise fut recouverte à son tour par le renversement et le charriage des plis des Hautes-Alpes. Au N E du lac de Thoune et au S W de la vallée de l'Arve, le charriage des plis à facies helvétique fut si intense que toute la zone des Préalpes fut recouverte, sauf les quelques lambeaux au-dessus de Ralligen, et les blocs et débris contenus dans le Flysch. Quant aux klippes, que je considérais comme des *blocs exotiques gigantesques reposant librement sur le Flysch, ou enfoncés dans celui-ci*, leur situation en arrière de la première chaîne à facies helvétique est expliquée provisoirement comme résultant d'une percée ou d'un retournement de la nappe préalpine qui devait exister ici *au-dessous* des plis du facies helvétique. C'était, comme on le voit, un développement de l'hypothèse de Studer. Subsidiairement l'origine des roches à facies austro-alpin dans les poudingues miocènes se rattache à la disparition de klippes plus grandes ayant existé sur le bord N. des Alpes et que l'érosion miocène a démantelées.

Dans son grand mémoire sur les Hautes-Alpes vaudoises et une partie adjacente des Préalpes des environs de Bex, M. RENE-

VIER¹ a admis, pour les Préalpes et les Hautes-Alpes voisines, des différences de profondeur, comme explication de la différence de faciès. Il admet une série d'oscillations inverses, autour d'une ligne nodale, formée par le contact entre les deux régions, soit par la zone des gypses de Leissigen à Samoëns. Le transport des blocs exotiques par des glaces n'est plus pour lui une simple supposition, mais c'est une explication qui s'impose réellement.

Depuis 1890 jusqu'à aujourd'hui, le débat sur l'origine des blocs exotiques du Flysch est entré dans une phase nouvelle et vraiment féconde.

En montrant que la solution ne pouvait être atteinte que par une étude *tectonique* simultanément avec des recherches *stratigraphiques* et *pétrographiques*, le mémoire présenté par moi, au concours pour le prix Schläfli, avait donc entièrement atteint son but, qui était *de montrer le chemin*.

Pendant que Maillard travaillait encore en 1890 dans les Alpes de Savoie, MM. RENEVIER et LUGEON continuèrent leurs recherches dans le Chablais. M. CH. SARASIN entreprit des études pétrographiques sur les roches cristallines du Flysch, et M. STEINMANN, à Fribourg-en-Brigau, toujours attiré par les problèmes qui se rapprochent d'une solution imminente, se préparait à lancer un de ses élèves sur cette voie. D'autre part, la commission géologique suisse chargea, vers 1891, M. BURCKHARDT d'une étude tectonique du contact entre les terrains miocènes et la première chaîne alpine entre le lac de Thoune et le Rhin, où devrait exister la trace du contact anormal résultant du charriage supposé par moi. Une volumineuse littérature est venue s'ajouter pendant ce septennat à ce que nous possédions déjà sur cette question, et ce résultat est plus que réjouissant. Cette littérature représente plus de dix fois toute la littérature parue sur les objets en discussion depuis 1853 à 1890. La préparation du congrès géologique international devant se réunir en 1894 à Zurich, a sans doute beaucoup contribué à cette recrudescence d'activité dans cette direction.

Voici en quoi consistent les résultats et les conclusions de ces travaux :

1891. Nous ne possédons, malheureusement, aucune donnée

¹ (N° 23) E. Renevier, *Hautes Alpes vaudoises*. « Mat. Carte Géol. Suisse. » XVI, 1890.

imprimée sur les idées de *Maillard*¹ que le problème intéressait beaucoup. Dans les correspondances et les conversations que j'ai eues avec lui peu de temps avant sa mort, il me disait être intimement convaincu de *l'existence d'un massif ancien sous les Alpes du Chablais*, massif dont les affleurements cristallins du plateau du Gets ne seraient que des pointements; il m'affirmait aussi avoir toujours considéré le contact entre les chaînes alpines et le tertiaire miocène entre Annecy et La Roche comme un *contact absolument normal*, ce qui serait contraire à l'hypothèse d'un charriage du faciès helvétique (faucignyën d'après Maillard).

Dans une publication relative à l'excursion de la *Société géologique suisse*², dans les Préalpes fribourgeoises et vaudoises, j'ai définitivement renoncé à considérer comme éocènes les cornieules, dolomies et gypses, classés auparavant dans le Flysch. Leur contact avec le Flysch est dû partout manifestement à des chevauchements. J'ai également admis, quoique avec doutes, l'âge jurassique de la Brèche de la Hornfluh. Dans le profil théorique accompagnant cette note est figurée pour la première fois la superposition par chevauchement³, sur plus de 10 kilomètres de largeur, du bord des Préalpes sur le Flysch de la zone du Niremont, ainsi que le deuxième chevauchement dirigé en apparence en sens *inverse*, du côté du Flysch de la zone du Niesen, ce qui expliquerait la configuration en fond de bateau de l'ensemble de la région des Préalpes; sur ces deux lignes de contact anormal, le Trias des Préalpes est figuré en superposition concordante, mais anormale, sur le Flysch, ce qui est réellement le cas (N° 24, pl. V, fig. 1).

En 1892 paraît déjà une étude pétrographique de M. CH. SA-

¹ Je crois devoir faire mention ici de l'opinion de Maillard, qui mérite d'être connue, comme ayant une valeur scientifique très réelle. Maillard est mort en juin 1891, avant d'avoir pu conclure ses recherches.

² (N° 24) H. Schardt, *Excursion de la Société géologique suisse dans les Préalpes fribourgeoises et vaudoises du 21 au 24 août 1891*. « Arch. Sc. phys. et nat. Genève. » Déc. 1891 et Janv. 1892. T. XXVI et XXVII.

³ D'après mes précurseurs (Gilliéron, Favre, etc.), j'avais admis là auparavant une *faille verticale*, sauf au pied du Grammont et du Mont Cubly sur Montreux, où j'avais observé moi-même la superposition presque concordante, mais anormale du Trias sur le Flysch.

RASIN¹, portant sur les roches des conglomérats du Flysch de la zone du Niesen, de celle du Niremunt-Berra-Gurnigel, de la vallée de Habkern et de quelques autres régions. L'auteur est conduit à constater une analogie frappante entre certaines roches des brèches du Flysch et des blocs exotiques, avec des roches cristallines du versant sud des Alpes. Mettant en doute l'hypothèse de Studer, M. Sarasin admettrait plutôt le transport des blocs exotiques d'une région méridionale éloignée, par des cours d'eau et des glaciers, tout en considérant la question comme n'étant pas encore mûre pour être résolue définitivement.

Les études de M. MICHEL LÉVY² sur les klippen de roches cristallines des Gets conduisent à des conclusions tout à fait opposées. Ces grands affleurements de roches éruptives ne sont ni des blocs exotiques, ni des filons ayant pénétré dans le Flysch, vu leur caractère de roches anciennes. Ce seraient donc des pointements d'un massif ancien enveloppé de Flysch.

En cela, M. RITTENER³ adhère aux idées de M. Michel Lévy, en décrivant le bloc de porphyrite de la vallée des Fénils près Rougemont (Pays-d'Enhaut vaudois).

Une notice pétrographique de M. FREY⁴ s'occupe de la nature de quelques roches cristallines du poudingue miocène des bords du lac de Thoune. L'auteur cherche leur origine successivement en Scandinavie, en Angleterre, dans les Vosges, dans la Forêt-Noire et dans les Alpes orientales et méridionales, avec des résultats négatifs partout. Il finit par penser que la théorie de Studer est peut-être la vraie.

Un mémoire de M. JACCARD⁵ sur les massifs du Chablais, spécialement sur la région de la Brèche jurassique, insiste sur la nécessité de considérer celle-ci comme terrain jurassique. Cette étude manque de vues générales et ne se termine par aucune

¹ (N° 25) Ch. Sarasin, *Die Conglomerate und Breccien des Flysch*. « Neues Jahrb. f. Min. et Geol. » VIII. 1892. 180-215.

² (N° 26) M. Lévy, *Etude sur les pointements de roches cristallines*, etc. « Bull. Serv. Carte Géol. Fr. » II. 1891-92.

³ (N° 27) Rittener, *Pointements cristallins dans le Flysch*. « Bull. Soc. vaud. Sc. Nat. » 1892. XXVIII. 180.

⁴ (N° 28) H. Frey, *Zur Heimatbestimmung der Nagelfluh*. Bern, 1892.

⁵ (N° 29) A. Jaccard, *Etude sur les massifs du Chablais*. « Bull. Serv. Carte Géol. France. » III. N° 26. 1892.

conclusion quant à la situation tectonique ou stratigraphique de cette région et quant à ses rapports avec son entourage.

M. QUEREAU ¹, élève de M. Steinmann, a fait en 1892 déjà un compte rendu préliminaire sur ses recherches dans la région des klippes d'Iberg, mais sans émettre de conclusion. Lui aussi voit une certaine relation entre les klippes, les blocs exotiques et les brèches du Flysch, et admet l'hypothèse d'une *chaîne marginale disparue* (Studer), la *chaîne vindélicienne* (selon Gümbel) ², où serait à chercher l'origine du matériel exotique; car les blocs exotiques et les klippes reposent toujours sur le Flysch, ou y sont enfoncés, toujours sans aucune connexion visible avec des terrains *in loco* de même âge des chaînes voisines.

1893. Dans une notice sur les *environs de Montreux* ³, j'ai essayé de représenter au moyen de profils la situation présumée du massif cristallin, dont on peut supposer l'existence sous les Préalpes. Les terrains de celles-ci chevauchent également sur le Flysch de la zone extérieure et sur celui de la zone intérieure; il devient donc nécessaire d'admettre un *écrasement* ou *étranglement du horst préalpin*, pour expliquer ce mouvement bilatéral.

Cette même année, M. MARCEL BERTRAND ⁴ a achevé et fait paraître sa monographie géologique du Môle, montagne des plus remarquables, qui marque, comme une pierre angulaire, l'extrémité occidentale des Préalpes du Chablais, tout comme le Stockhorn limite les Préalpes bernoises au N E. L'étude de ce massif a conduit l'éminent professeur de l'École des mines de Paris à admettre, le long de la vallée de l'Arve, un *rebroussement* des plis, autant du système des plis préalpins que de ceux des Alpes d'Annecy (plis faucignyens).

Malgré la difficulté que ressent l'auteur à reconnaître les

¹ (N^o 30) Quereau, « Bericht über die 39. Versamml. Der deutsch. Geol. Gesellsch. », Strassbourg. 1892.

² (N^o 31) Gümbel. *Geologie von Bayern*. 1894, p. 19-31, 266, 401 et 583.

³ (N^o 32) H. Schardt, *Coup d'œil sur la structure géologique des environs de Montreux*. « Bull. Soc. vaud. Sc. Nat. » XXIX. 1893, 241-255.

⁴ (N^o 33) M. Bertrand, *Le Môle et les collines du Faucigny (Haute-Savoie)*. « Bull. Carte Géol. France. » IV. 1892-93.

mêmes éléments tectoniques de part et d'autre de cette vallée, il conclut que *ce sont les mêmes plis qui se continuent de part et d'autre de l'Arve; les deux moitiés d'un même pli se rejoignent dans la vallée de l'Arve, après s'être déviées le long d'une véritable arête de rebroussement (Schaarung), au point même où un changement de facies se produit, entre les sédiments de même âge, des deux côtés de l'Arve.* Ce changement de facies serait le résultat de la formation, à l'époque liasique, d'un pli monoclinale courbe, dont le Môle occuperait le sommet d'angle. C'est autour de ce pli, qui a commencé à s'ébaucher dès l'époque liasique, que sont venus se mouler les plissements subséquents des terrains formés de part et d'autre. Cette explication paraît à M. Bertrand bien plus logique que celle d'une faille, soit d'une faille de décrochement, d'une faille verticale d'affaissement, ou d'une faille de plissement (pli-faille). Si faille il y a sur le cours de la vallée de l'Arve, elle est secondaire et sans importance pour l'explication que comporte la situation tectonique de ce point.

On voit que l'éminent maître n'applique guère, après examen sur place, sa supposition d'un vaste pli de recouvrement, prolongeant, à travers la Suisse occidentale, jusqu'au delà de la vallée de l'Arve le grand pli glaronnais, ainsi qu'il l'avait fait en 1884, avant d'avoir visité le Chablais. La mollasse rouge qui contourne le Môle, au Sud et à l'Ouest, en formant son socle, se serait déposée le long du pied de la chaîne, en discordance et en transgression; puis elle fut entraînée dans la dislocation post-miocène, ce qui expliquerait sa position actuelle, renversée et plongeant visiblement sous le massif du Môle.

En somme, les phénomènes tectoniques observés et étudiés par M. Bertrand se résument à la constatation d'un *renforcement* des plis sur l'emplacement de la vallée de l'Arve, perpendiculairement à la direction générale des plis; ce renforcement se continuerait même vers le Sud, dans le massif de Platé, où il serait indiqué par les contours de l'Eocène. D'autre part, M. Bertrand considère le pli du Semnoz près d'Annecy, comme un équivalent du pli des Voirons. Comme qu'il en soit, l'auteur conclut par la constatation, bien positive pour lui, qu'au Môle les plis alignés du Nord au Sud, au moment où ils arrivent à la vallée de l'Arve, se dirigent vers l'Est, en se renversant vers le Sud, et ne se continuent pas dans cette direction au delà de Châtillon.

L'année 1893 a vu apparaître aussi les premiers résultats des

études de MM. RENEVIER et LUGEON¹ dans le Chablais, et tôt après des profils transversaux de cette région, accompagnant un programme d'excursion de la Société géologique suisse et un aperçu plus complet du champ d'excursion.

Le premier point à noter est la séparation qu'il faut faire entre les *Préalpes proprement dites*, aux chaînes arquées, touchant avec leur base triasique, par contact anormal, au Flysch de la zone des Voirons, et la zone de la *Brèche du Chablais*, également jurassique comme les chaînes extérieures, mais offrant un *facies bréchiforme*.

Le résumé des conclusions conduit les auteurs à admettre, sous la brèche du Chablais, un massif ancien, dont les pointements cristallins des Gets seraient des témoins. *C'est ce massif, couvert de terrains triasiques, qui a nourri de ses débris la sédimentation de la brèche jurassique du Chablais.* Immergé pendant la sédimentation crétacique, le massif ancien a été remis à nu pendant la formation du Flysch et a fourni à celui-ci ses blocs cristallins et sédimentaires. Pendant la grande dislocation post-miocène, ce massif ou Horst a subi un écrasement complet et produit un déjettement des plis préalpines vers les Hautes-Alpes (au S.-E.), puis il s'est déplacé tout d'une pièce vers le N W, en déterminant ainsi la forme arquée des chaînes extérieures des Préalpes, qui durent se mouler autour de ce pilier poussé vers le N W.

Le rôle si remarquable toutefois de la faille de recouvrement qui marque le contact des chaînes calcaires des Préalpes avec la première zone du Flysch (celle des Voirons) n'est pas mis en évidence et cet accident n'est qu'à peine mentionné par M. Renavier.

M. LUGEON² s'étend plus longuement sur la disposition de la

¹ (N° 34) Renavier et Lugeon, *Géologie du Chablais et du Faucigny-Nord*. « Soc. vaud. Sc. Nat. », 2 nov. 1892; « *Eclogæ geol. hel.* » III. 293. 1892.

(N° 35) Renavier et Lugeon, *Programme d'excursion dans le Chablais*.

(N° 36) Renavier, *Géologie des Préalpes de la Savoie* (discours présidentiel). « C.-R. Soc. helv. Sc. Nat. », Lausanne 1893; « *Eclogæ geol. hel.* » IV. 1893. 45-73, 98-108.

² (N° 37) M. Lugeon, « C.-R. Soc. hel. Sc. Nat. », Lausanne 1893; « *Eclogæ* ». IV. 1893. 110-113.

Brèche jurassique du Chablais et constate que la tectonique de cette région est aussi étrange que sa stratigraphie. Les couches de Brèche empiètent de part et d'autre sur le Flysch ¹, de telle sorte que le front ou contour convexe du pli déjeté que suppose cette disposition n'est pas aligné en ligne droite, mais décrit une courbe fermée semblable à un *vasque* ou *champignon*. Ce serait donc réellement un *pli à déversement périphérique, dont le socle enfoncé dans le Flysch simule la tige d'un champignon*. La Brèche du Chablais présente donc la forme d'un champignon surgissant au-dessus d'un massif ancien.

De 1893-1898.

L'on sent qu'après ces préliminaires, où ont été mis en présence l'opinion de tous ceux qui ont poursuivi de longues et patientes recherches, le moment ne pouvait pas être loin de résumer en une conception unique les connaissances sur le problème et d'en indiquer une solution définitive. C'est ce que je fis encore avant la fin de l'année 1893. Constatant la grande difficulté d'étendre l'hypothèse de Studer à la région au N E du lac de Thoune et à celle au S W de la vallée de l'Arve, je sentis d'autre part, très nettement, que *la nature tectonique des Préalpes, les klippen, les blocs exotiques, la formation des brèches à matériaux exotiques et le facies du Flysch en général, ne formaient qu'un enchaînement d'énigmes, qu'un seul phénomène, encore indéfini, devait expliquer*. L'examen approfondi de la tectonique des Préalpes qui faisaient alors l'objet de mes études de prédilection depuis près de 14 ans, m'a fait entrevoir la solution déjà exprimée dans le chapitre I ²; *celle de considérer l'ensemble des Préalpes comme une seule nappe de recouvrement ou plutôt de charriage (nullement un pli couché) qui aurait glissé du centre des Alpes vers le Nord, en passant par-dessus les massifs cristallins. Elle s'étendait au N E jusqu'au Rhæticon et au S E jusqu'au delà d'Annecy. Pendant son déplacement, entraî-*

¹ C'est cette constatation, faite déjà par Gilliéron et avant lui par Studer, et qui fut observé constamment par moi, soit dans les Alpes vaudoises pour la Brèche de la Hornfluh et dans le Chablais valaisan pour la Brèche du Chablais, qui avait motivé la classification de ce terrain dans le tertiaire.

² (N^o 38) H. Schardt, *a) L'origine des Préalpes romandes*. « Archives, Genève, » XXX. Décembre, 1893. *b) « C.-R. Acad. des Sciences, Paris »*. 20 Nov. 1892.

nant avec elle des masses considérables de terrains cristallins, elle a nourri de ses débris la formation des brèches et grès du Flysch. Entre l'Aar et le Rhin et au S W de l'Arve, cette nappe charriée a disparu presque entièrement par l'érosion pendant la formation des poudingues miocènes et plus tard, en ne laissant que les klipptes et les lambeaux de recouvrement, comme témoins de son ancienne extension. Les régions de la Brèche du Chablais et de la Hornfluk, de part et d'autre du Rhône, appartiennent à une seconde nappe de charriage, superposée à la première et provenant d'une région située encore plus au sud que le point de départ de la première.

Cette note, de 14 pages à peine, a eu quelque retentissement, soit qu'elle ait trouvé de la sympathie, soit qu'elle ait soulevé des objections. Quoi qu'il en soit, *c'était pour moi un devoir de faire connaître* cette manière de voir qui ouvrait des horizons si nouveaux. en découvrant un champ d'activité pour plus qu'une génération de géologues. J'en reparlerai plus loin et passe à l'étude des publications parues depuis lors et qui ont apporté plus d'une confirmation de ma conception.

Le premier mémoire qui a paru est celui de M. K. BURCKHARDT¹ sur le contact entre la première chaîne alpine et le miocène du plateau suisse entre l'Aar et le Rhin. L'auteur fait le procès de l'hypothèse de Studer et combat l'application et l'extension que j'en avais faite dans le mémoire pour le prix Schläfli, en montrant que sur toute la bordure des Alpes (sauf dans le voisinage du lac de Thoune) ce contact est normal; qu'il n'y a donc pas eu de chevauchement des plis alpins sur le tertiaire ayant pu recouvrir la chaîne préalpine disparue. L'on voit que cette contestation de ma précédente manière de voir n'est qu'une attestation de ma nouvelle explication.

Il est donc d'autant plus étonnant que le mémoire de M. QUÉREAU², également publié sous les auspices de la Commission géologique suisse, revienne catégoriquement sur l'hypothèse de Studer. M. Quereau, après avoir reconnu par des études minutieuses, des roches très semblables à celles du Trias, du Lias et

¹ (N° 39) C. Burckhardt, *Die Kontaktzone zwischen Kreide und Tertiär am Nordrande der Schweizeralpen vom Bodensee bis zum Thunersee.* « Mat. Carte Géol. Suisse. » N.-S. T. II. 1893.

² (N° 40) E. Quereau, *Die Klippenregion von Iberg.* « Mat. Carte Géol. Suisse. » N.-S. III. 1893.

du Jurassique des Alpes orientales et reconnu aussi que les klippes d'Iberg du moins devaient avoir formé jadis une nappe unique avec les Mythen, conclut *que cette nappe doit être due à un chevauchement venu du Nord et dont le point de départ, soit la chaîne vindélicienne ou marginale de Studer est à rechercher sous les sédiments de la mollasse*. Ce travail peut certainement passer pour un modèle d'étude locale minutieuse et de figuré cartographique détaillé de ces accidents si compliqués. Quereau a constaté encore que le facies des terrains des klippes passe dans la direction de l'Est insensiblement au facies austro-alpin. Il considère la chaîne vindélicienne comme un prolongement des Alpes orientales qui se serait étendu jusqu'au delà d'Annecy et dont les Préalpes du Stockhorn et du Chablais seraient une partie *moins enfoncée* que le reste.

1894. M. SARASIN ¹ a publié une réédition développée de ses études sur les roches du Flysch en y joignant des analyses. Dans ses conclusions, il soutient que les Klippes cristallines des Gets, les brèches des Ormons et du Niesen et les poudingues des Voirons-Habkern, *sont des choses absolument différentes*. Il considère les premiers comme des témoins du prolongement du massif de Belledonne sous les Préalpes du Chablais. Les roches cristallines de la zone du Niesen proviendraient du versant N du massif du Mont-Blanc, tandis que les roches du Gurnigel et du Habkern auraient leur origine dans les Alpes méridionales (Baveno-Predazzo) et auraient été apportés par des courants d'eau et des glaciers. Quant à la théorie d'un charriage des Préalpes et de la nappe des klippes, il la croit sans fondement.

M. MÖESCH ², qui a consacré aux klippes du canton d'Unterwalden une large partie de son récent mémoire et une série de planches, ne dit rien sur leur origine, sauf que les brèches du Flysch qui entourent les klippes proviennent probablement de la destruction de celles-ci. Quant à l'origine des klippes, la cause de leur tectonique étrange, leur apparition et leur disparition subite, etc., M. Mœsch s'en étonne... mais laisse la question ouverte ³.

¹ (N° 41) Ch. Sarasin, *L'origine des roches exotiques du Flysch*. « Arch. Genève. » XXXI et XXXII. 1894.

² (N° 42) C. Mœsch, *Geologische Beschreibung der Kalk- und Schiefergebirge zwischen Reuss und Kienthal*. « Mat. Carte Géol. Suisse. » XXIV. 3. 1894.

³ Wir wollen das Fabulieren Andern überlassen.

Déjà en février 1894, M. KILIAN ¹ a fait présenter à la Société géologique de France une série de remarques sur sa *théorie du charriage lointain des Préalpes et des klippes*. Admettant que la chaîne des Voirons constitue un pli en place absolument indiscutable, M. Kilian ne peut pas croire au charriage des Préalpes, dont le facies néocomien est tout à fait semblable à celui des Voirons. Le savant professeur de Grenoble admet par contre la possibilité que la *Brèche du Chablais* et de la *Hornfluh* forment des nappes superposés au Flysch des Préalpes et proviendraient bien d'une nappe de charriage venue du sud.

Dans les programmes d'excursion, publiés à l'occasion du Congrès géologique de 1894, le problème en débat a été touché soit par M. SCHMIDT ², soit par moi. M. Schmidt, s'inspirant des idées de M. Quereau, admet la manière de voir de ce dernier au sujet des klippes d'Unterwalden et de Schwytz, en reliant les klippes et les blocs exotiques à un recouvrement *venu du Nord*, d'une chaîne aujourd'hui disparue sous les sédiments miocènes (chaîne vindélicienne).

J'ai indiqué, en peu de mots ma théorie ³ dans le programme d'excursion sur les Alpes suisses occidentales en l'appuyant par des profils de part et d'autre de la vallée du Rhône.

M. QUEREAU ⁴ a donné le résultat d'une exploration faite sur la zone de contact des Hautes Alpes et des Préalpes dans la région de la Lenk. Il montre là la colline de l'Oberlaubhorn, formée d'une série normale de couches liasiques et triasiques reposant sur les plis crétaciques des Hautes-Alpes, sur une ongueur d'environ 4,5 kilomètres. L'auteur revient sur ses conclusions précédentes et voit dans ce phénomène une des preuves du chevauchement de la *chaîne vindélicienne* sur les Hautes-Alpes à facies helvétique. Le chevauchement du bord N. des Préalpes sur le Flysch de la zone du Gurnigel est passé entièrement sous silence par l'auteur.

¹ (N° 43) Kilian, *Origine des Préalpes romandes et de la région de la Brèche du Chablais*. « C.-R. Soc. Géol. France. » 5 février 1894.

² (N° 44) Schmidt, *Excursionsprogramm durche die Centralalpen*. « Livret-Guide géologique. » 1894. 121.

³ (N° 45) Schardt, *Excursion géologique au travers des Alpes occidentales suisses*. « Livret-Guide géologique. » 1894. 171.

⁴ (N° 46) E. Quereau, *Grenzzone zwischen Hochalpen und Freiburgeralpen*. « Ber. d. Naturf. Gesellsch. » Freiburg i. Br. IX. 1894.

En se basant sur les caractères stratigraphiques, M. HAUG¹ a cherché à démontrer que la théorie d'un charriage des plis des Préalpes était absolument inadmissible et que le développement stratigraphique de cette région était complètement en accord avec le contraste de faciès qu'elle offre vis-à-vis de son entourage à faciès helvétique. Il admet pour la région des Préalpes deux zones d'affaissement ou géosynclinaux, séparées par un géanticlinal, marqué par les couches à *Mytilus*.

Ces zones se succéderaient comme suit sur une coupe transversale allant de l'extérieur des Alpes vers le centre :

1. Faciès jurassien de mer peu profonde. — Jura.
2. Faciès vaseux de mer relativement profonde. — Chaînes extérieures des Préalpes.
3. Faciès littoral avec dépôts bréchoïdes. — Région des c. à *Mytilus* et de la brèche du Chablais-Hornfluh.
4. Faciès vaseux de mer assez profonde, marquant la zone des cols de la Lenk à St-Maurice.
5. Faciès littoral des Hautes-Alpes calcaires (faciès helvétique).

Les dispositions tectoniques anormales et extraordinaires de cette région, surtout le contact anormal des terrains à faciès préalpin avec le faciès des Hautes-Alpes, s'expliquent, selon M. Haug, par des dislocations ayant déjà commencé à se faire sentir dès l'époque liasique jusqu'à l'ère tertiaire. Il en est de même de toutes les lignes de contact anormal, où le Flysch touche directement des terrains antérieurs au Lias. Ces lignes sont, selon M. Haug, les axes d'anticlinaux anténummulitiques.

Il applique même ce principe aux klippen de la vallée du Reposoir qui jalonnaient encore un anticlinal anténummulitique, surgissant, avec le faciès préalpin, au milieu de ce synclinal à faciès helvétique. Des recherches stratigraphiques lui permettent d'affirmer, en outre, qu'il y a dans cette région des passages entre les faciès de part et d'autre.

L'on voit que M. Haug ne tient guère compte des caractères tectoniques de cette région; les recouvrements constatés sont pour lui le résultat de la compression latérale qui a fait naître, postérieurement à l'époque miocène, la structure imbriquée en

¹ (N° 47) E. Haug, *L'origine des Préalpes romandes et les zones de sédimentation des Alpes*. « Archives, Genève. » T. XXXII. 1894. 154-173.

éventail, qu'il compare au grand éventail imbriqué de la zone centrale des Alpes.

La substitution des plis des Hautes-Alpes à ceux des Préalpes au bord du lac de Thoune et au bord de l'Arve serait due à l'enfoncement des Préalpes sous le Flysch et à un épanouissement des plis des Hautes-Alpes au point même où s'arrête le géant-clinal de l'époque secondaire, expliquant ainsi la concordance entre l'individualité stratigraphique et l'individualité tectonique des Préalpes.

En 1895, M. HAUG¹ revient sur la tectonique et la stratigraphie des klippes du Synclinal du Reposoir, dont l'étude a été entreprise par lui en collaboration avec M. LUGEON. La superposition du Lias et du Trias de ces klippes sur le Flysch, déjà nettement envisagée par MAILLARD², en 1891, est considérée par M. Haug comme le résultat du déversement en sens inverse d'un pli anticlinal, ayant créé la structure imbriquée. Cette dislocation lui paraît accusée par des lames de jurassique plongeant sous le massif liasique. La situation de ce dernier s'explique ainsi facilement, pour M. Haug, par surrection sur place d'un anticlinal triasique et liasique à travers le Flysch qui l'entoure; on a vu que cette explication a été écartée déjà par Alph. Favre.

Cette même année, M. LUGEON³ a opposé à ma théorie une série d'objections: impossibilité de retrouver au sud de la zone du Dauphiné (Hautes-Alpes) les roches du Chablais, en particulier la Brèche; la zone du Briançonnais n'offre aucun point d'attache sérieux à cette hypothèse. Il se rallie, avec MM. Haug et Kilian, à l'idée de considérer la région du Chablais comme étant en place et appartenant à la couverture sédimentaire d'un Horst, déversée et chevauchée sur les plis des Hautes-Alpes, par un mouvement N.—S., comme l'a admis Quereau en 1893. L'hypothèse des plis en champignon a vécu; il n'en est plus question.

¹ (N° 48) E. Haug, *Le synclinal de Serraval et la Montagne de Sullens*. « C.-R. Soc. Géol. France. » Séance du 4 février 1895.

² (N° 49) G. Maillard, *Note sur la géologie des environs d'Annecy, La Roche et Bonneville*. « Bull. Serv. Carte Géol. France. » N° 6. 1889. Pl. V. Pag. 21-27.

³ (N° 50) M. Lugeon, *L'origine des Préalpes romandes*. « C.-R. Soc. vaud. Sc. Nat. » Séance du 15 mai 1895. « Archives, Genève. » XXXIV. Juillet 1895.

M. Lugeon admet, en suivant les facies du dogger, qu'avant le plissement, les facies se seraient succédé comme suit du N. au S. :

Facies à *Zoophycos*, facies à *Mytilus*, couches terrestres, Brèche du Chablais, facies à *Zoophycos*.

Le refoulement a fait chevaucher de part et d'autre la masse de Brèche sur le facies voisin en donnant à l'ensemble la forme en fond de bateau, avec structure imbriquée. Il admet également, avec M. Haug, la même explication pour la klippe du mont Sul lens, en ajoutant toutefois prudemment qu'il ne donne cette explication que comme une hypothèse exprimant sa manière *actuelle* d'interpréter les phénomènes.

J'ai opposé à ces objections une réplique, dont les chefs sont les suivants¹ :

1. L'absence des divers terrains et facies du Chablais dans une région au Sud n'est pas un argument contre l'hypothèse du charriage. Mais cette assertion de M. Lugeon est contraire aux faits, car il est incontestable que la zone du Briançonnais renferme des terrains *analogues* à ceux du Chablais, alors qu'on n'en connaît *aucune trace* au nord des Préalpes.

2. Absence de continuité entre la zone du Chablais-Stockhorn et des terrains de même âge des régions voisines.

3. Le métamorphisme dynamique qui a transformé les sédiments et roches cristallines dans la région centrale des Alpes, n'a pas fait sentir son effet sur les terrains de la région des Préalpes, ceux-ci ayant quitté leur gisement primitif *avant* la grande dislocation post-miocène.

4. La structure en éventail imbriqué est la conséquence du plissement *subséquent* au charriage, alors que la nappe était resserrée entre les plis entassés des Hautes-Alpes et les terrains miocènes.

5. J'ai relevé le contraste entre la forme des plis des Hautes-Alpes et ceux des Préalpes et formulé la *Loi des Préalpes* (voir page 116).

Dans son mémoire sur les hautes chaînes calcaires de la Savoie, M. HAUG² examine de nouveau le problème. Il donne

¹ (N° 51) H. Schardt, *Remarques sur la communication de M. Lugeon* « C.-R. Soc. vaud. Sc. Nat. » Séance du 15 mai 1895. « Archives, Genève. » Juillet 1895.

² (N° 52) E. Haug, *Etudes sur la tectonique des hautes chaînes calcaires de la Savoie*. « Bull. Serv. Carte Géol. France. » T. VII. N° 47. 1895.

même une petite carte expliquant la situation de la région du Chablais et la direction des plis des Hautes-Alpes, mais sans apporter des faits nouveaux appuyant sa manière de voir. Il remarque toutefois que l'alignement différent des plis correspond à deux systèmes de plis conjugués d'âge différent.

En écrivant, à la fin de l'année 1895, les dernières pages de son grand mémoire sur la *Région de la Brèche du Chablais*, M. LUGEON¹ sent son aversion pour la théorie du charriage de la région de la Brèche, et même des Préalpes en entier, s'envoler comme par enchantement. On remarque, en lisant son livre, que les divers chapitres ont vu le jour alors que l'auteur a subi dans son esprit une transformation très sensible. Convaincu en 1893 et 1894 de l'existence de *plis en champignon*, il se rallie, en 1895, à l'*hypothèse de Studer*, que je venais d'abandonner deux années auparavant. Mais en relisant ses arguments et, surtout, en revissant les diverses théories émises pour expliquer l'énigme, il se sent gagné par ma théorie et il termine son mémoire en faisant cet aveu très significatif : « C'est donc par le doute, mêlé pendant de conviction, que je termine ce travail. »

On voit surtout cette transformation s'opérer en lisant la discussion des hypothèses, formant les dernières pages du volume. Peu de semaines après, en remettant le volume imprimé à la Société vaudoise des sciences naturelles, M. Lugeon² se déclare entièrement convaincu, même « le doute » a disparu, et il épouse en entier, sans aucune réserve, mes explications, qu'une année auparavant il combattait encore sur toute la ligne. Il constate lui-même la presque identité de certaines roches de la zone du Briançonnais avec celles du Chablais et accepte point par point les chefs de ma réplique du 15 mai 1895, ce que j'ai constaté alors avec une vive satisfaction³.

1897. En attendant, M. HAUG⁴ soumet tous mes arguments à

¹ (N° 53) M. Lugeon, *La région de la Brèche du Chablais*. « Bull. Serv. Carte Géol. France. » T. VII. 1895-96.

² (N° 54) M. Lugeon, *Les grandes dislocations des Alpes de Savoie*. « C.-R. Soc. vaud. Sc. Nat. » Séance du 6 mai 1896. « Archives, Genève ». II. Juillet 1896.

³ (N° 55) H. Schardt, *Observations sur la communication de M. Lugeon*. « C.-R. Soc. vaud. Sc. Nat. » Séance du 6 mai 1896. « Archives, Genève. » II. Juillet 1896.

⁴ (N° 56) E. Haug, *Le Problème des Préalpes*. « Revue générale des Sciences. » 15 sept. 1897.

un nouvel examen serré et pose le problème tel que je l'ai exposé. Tout en reconnaissant les grands avantages de cette conception, il est néanmoins conduit à écarter entièrement l'hypothèse d'un charriage d'une région centrale des Alpes. Il oppose à cette explication les objections que nous connaissons déjà. Le savant maître de conférences de géologie à la Faculté des sciences de Paris reconnaît cependant l'analogie de certains terrains des Préalpes avec certaines assises de la zone du Briançonnais, mais il conclut néanmoins que l'hypothèse du charriage se heurte à des impossibilités stratigraphiques, tandis que l'hypothèse du géanticlinal préalpin, suivi d'un éventail composé imbriqué, explique facilement, selon lui, toutes les particularités, tant stratigraphiques que tectoniques, de la région du Chablais.

Aujourd'hui, nous sommes au point où l'idée d'un charriage en bloc de toute la région des Préalpes et de la zone des klippen, allant, dans son ensemble, du lac d'Annecy au Rhin, tend à prendre corps et doit s'imposer à tous ceux qui connaissent le problème par le menu et ont visité la région dont il s'agit.

Des maîtres de la science, tels que MM. Heim, Suess, Bertrand, de Margerie, de Lapparent, Kilian, etc., ont déclaré vouloir rester spectateurs et attendre les résultats des recherches futures, tout en se déclarant assez favorables à l'idée du charriage; d'autres pensent que le doute est préférable à l'erreur et s'abstiennent de toute appréciation; enfin grand est sans doute le nombre de ceux qui déclarent, avec M. Haug, l'explication impossible ou inadmissible (*undenkbar*). Il sera réservé aux futures recherches d'achever et de compléter la démonstration¹.

Il y aura lieu d'entreprendre des recherches stratigraphiques nouvelles et détaillées, portant à la fois sur les terrains des Préalpes elles-mêmes et sur les roches métamorphiques des zones intérieures des Alpes. La pétrographie aura à soumettre

¹ Voir encore, outre le présent travail :

(N° 57) H. Schardt, *Un problème de géologie alpine*. Leçon inaugurale du cours de géologie, professé à l'Académie de Neuchâtel; prononcé le 5 Juin 1897. « Bull. Soc. neuch. de Géographie. » 1897-98, t. X (à paraître en 1898.)

(N° 58) H. Schardt, *Die exotischen Gebiete. Klippen, und Blöcke am Nordrande der Schweizeralpen*. Vortrag gehalten an der Jahresversammlung der Schweizerischen naturforschenden Gesellschaft in Engelberg den 12, Sept. 1897. « Eclogæ geol. helv. » 1897. V. N° 4. 233-250.

ces roches à l'examen microscopique, aidé de l'analyse chimique. En même temps, le tectonicien poursuivra ses observations, avec la même patience, en relevant et en notant la position réciproque des terrains. C'est ainsi que peu à peu la construction s'achèvera avec la collaboration de tous. Déjà l'hypothèse d'hier est devenue aujourd'hui une théorie bien assise, un système de géologie tectonique complet qui ne peut plus être qualifié d'illusion ou de poésie scientifique.

Le jour viendra où nous pourrons terminer l'édifice, en y posant une toiture. Ce sera le cas, peut-être, lorsque sera achevé le travail important, dont m'a chargé la commission géologique suisse, consistant en une revision complète des Préalpes comprises entre le lac de Thoune et le Rhône. Cette région, levée géologiquement par cinq géologues (Gilliéron, Bachmann, Ischer, Renevier et E. Favre), offre des différences d'interprétation considérables. Sa revision conduira donc nécessairement à des conclusions importantes et révèle a de nombreux faits nouveaux.

III. Comment je suis arrivé à la conception de l'hypothèse du charriage de la nappe des Préalpes et des Klippes.

Les pages précédentes font voir assez nettement comment les efforts pour arriver à une solution expliquant tous les problèmes et énigmes géologiques du versant N des Alpes suisses, ont fait surgir successivement des idées nouvelles, d'où est sortie, peu à peu, la théorie dont j'aurai à donner la démonstration et que je devrai ensuite défendre contre les objections qui lui ont été faites.

La nécessité de rester absolument impersonnel et objectif, en écrivant le résumé historique qui précède, ne m'a pas permis de traiter mes propres travaux autrement que ceux d'autres géologues ayant trait, d'une manière plus ou moins directe, au problème posé. Je me suis efforcé d'être absolument impartial, selon l'habitude que j'ai prise, en rédigeant, depuis plus de dix ans, tout ou partie de la « Revue géologique suisse ».

L'exposé que je vais donner a trait plus spécialement à mes propres études et recherches et montrera comment mes vues ont peu à peu pris une direction déterminée vers la solution qui m'a paru la plus vraisemblable. Ce sont des éclaircissements que je dois à tous ceux que le problème intéresse, surtout à ceux qui

m'ont précédé et accompagné dans la voie des recherches, et dont les travaux ont souvent contribué à fixer plus clairement la constitution de ma démonstration. C'est avec toute sincérité que je vais exposer les faits, sans chercher à agrandir mon propre mérite au delà de ce qui me revient. Même en défendant mon point de vue, je m'efforcerai d'être aussi impersonnel que possible.

Lorsque j'entrepris, au printemps 1880, mes études sur le Pays-d'Enhaut vaudois (n° 13), l'on ne possédait, à part les travaux de Studer, le mémoire de Gilliéron sur Monsalvens (N° 15), une notice de M. E. Favre, quelques opuscules de Fischer-Ooster, Ooster, Renevier, Sylvius Chavannes, etc., aucun travail géologique sur ladite région ou sur les Préalpes en général. J'étais réduit à examiner et à interpréter les observations de Studer; aussi, les vues de l'éminent maître devaient me guider avant tout. Habitué jusqu'alors à la géologie du Jura, dont je venais d'explorer les parties les plus intéressantes des territoires de Vaud, de Neuchâtel et du département de l'Ain, je n'avais nulle peine à reconnaître des dislocations analogues dans la chaîne du Vanil-Noir et de Corjon jusqu'aux Tours d'Aï. Je reconnus pour la première fois les chevauchements étranges du Bathonien et du Malm sur le Flysch dans la chaîne des Gastlose, entre le mont Laitmair-près Château-d'Œx et la Dent de Ruth, chevauchements atteignant un rejet d'au moins 2 kilomètres. Je fus moins heureux dans le groupe plus compliqué encore du Rubli et de la Gummfluh: Constatant le contact permanent du Flysch avec les cornieules et le gypse qui entourent ce groupe de montagnes, je fus conduit à considérer un grand nombre de ces gisements comme faisant partie du tertiaire; ainsi que l'avait déjà fait Gilliéron pour certains gisements des environs de Montsalvens, dans la Gruyère. Cette interprétation me fit commettre l'erreur de considérer l'arête de la Gummfluh comme une voûte, puisque, formée de Malm, je la trouvais, de part et d'autre, flanquée de cornieule. Sur le versant N., cette cornieule est même nettement *superposée* au crétacique rouge et *supporte*, elle-même, la brèche de la Hornfluh, tandis que sur le versant opposé c'est le Flysch qui fait suite à la cornieule et au gypse.

Par une interprétation analogue, je fus conduit à ranger dans le jurassique les calcaires dolomitiques du Rocher du Midi, formant la continuation apparente du Rocher Plat (chaînon du Rubli) et du Mont d'Or. Cette dernière arête est, comme celle de la Gummfluh, bordée de gypse et de cornieule et entourée de

toutes parts de Flysch. Elle paraissait donc pouvoir s'expliquer comme une arête anticlinale de Malm perçant le Flysch et séparée de celui-ci par du gypse et de la cornieule. Il est vrai que je n'avais aucun fossile à l'appui de cette interprétation, tandis que l'arête de la Gummfluh offre sous le Malm (couvert de couches rouges crétaciques), les couches à *Mytilus* du bathonien, avec fossiles.

L'exploration de la région salifère et des mines de Bex, région que je puis qualifier, d'après nos connaissances actuelles, comme une des plus compliquées de nos Alpes, m'a conduit à des conclusions analogues. J'y constatai le contact du gypse avec le Toarcien fossilifère, entourant lui-même un noyau de Sinémurien, connu chez les mineurs sous le nom de « cylindre », alors que l'ordre inverse aurait dû avoir lieu. Reconnaisant dans une intercalation de grès et de schiste, partant de l'âge triasique du gypse, un synclinal de Flysch, je crus pouvoir affirmer, pour la région de Bex, la superposition suivante :

Flysch,

Dolomie et cornieule,

Gypse et anhydrite,

Toarcien à *Posidonomya Bronni* et *Harpoceras radians*.

Sinémurien.

De même, au col du Pillon, je reconnus le contact direct du Toarcien avec la cornieule et le gypse.

J'eus tort d'en déduire que le gypse et la dolomie fussent tertiaires et en tout cas pas plus anciens que le Toarcien, puisque j'ai pu m'assurer plus tard que, sous le Sinémurien de Bex, on retrouve du gypse et, sous celui-ci, du Flysch. J'eus tort encore de vouloir expliquer par de simples plissements ces contacts étonnants; il ne fallait pas moins de dix années d'études dans les Préalpes et les régions voisines; puis, des recherches spéciales, pendant plusieurs semaines, dans les souterrains des mines de Bex, pour arriver à supposer la réalité des phénomènes, dont ces contacts sont les résultats.

Bien que l'extension du champ d'étude pour la préparation du volume de texte (N° 16) pour la partie occidentale de la feuille XVII de la carte géologique suisse me permit d'envisager l'individualité des Préalpes, entre le col du Pillon et le Niremont, et de constater le contraste frappant entre cette région et celle des Hautes-Alpes (Diablerets), je ne me rendis pas un compte bien net des causes de ce contraste. J'avais cru, au premier abord,

devoir l'expliquer en considérant la ligne des cols, allant de Leissigen à Bex, comme ayant formé, dès le début de l'époque jurassique, une séparation entre le bassin sédimentaire des Préalpes et celui des Hautes Alpes.

Il me semblait que cette séparation devait avoir la forme d'un isthme large et peu élevé, couvert, jusqu'au début de l'ère tertiaire, de lagunes, dans lesquelles eut lieu la sédimentation de terrains halogènes (gypse, anhydrite, sel gemme, dolomies, etc.), considérés comme jurassiques et tertiaires.

Il se fallut de peu que je ne considérasse déjà alors cet isthme comme ayant fourni les roches détritiques du Flysch. Mais je pensais trop sérieusement à leur provenance lointaine et à leur apport par des glaciers.

Le mémoire de M. E. Favre et moi, paru en 1887 (n° 16), défend donc à peu près le même point de vue. Entre la publication de mes *Etudes géologiques sur le Pays-d'Enhaut vaudois* et l'achèvement de ce mémoire et de l'atlas qui l'accompagne, je n'ai guère fait de nouvelles études dans la région déjà parcourue; je devais me restreindre à des recherches complémentaires dans les régions des Alpes vaudoises que je n'avais pas visitées auparavant, puis dans le Chablais, ainsi que dans la région des Dents du Midi. Je terminai le chapitre du Flysch, en disant à propos des klippes, des blocs exotiques et des brèches du Flysch (1885) :

« Pour eux, la théorie de leur transport par des glaciers est la seule qui puisse être invoquée, à moins qu'il y ait des forces ou des phénomènes, dont la portée nous est encore inconnue, comme l'était celle du phénomène glaciaire avant de Charpentier et Venetz! » On a vu combien l'avenir a justifié ces paroles.

Des explorations entreprises les années suivantes dans les Préalpes, sur les deux rives du Rhône, et surtout dans la région des Dents du Midi, me permirent de constater les complications énormes qui marquent précisément la zone de contact entre les Hautes-Alpes et les Préalpes. Une étude détaillée des mines de Bex, pour le gouvernement vaudois, me révéla des complications presque indescriptibles. J'eus le sentiment que l'origine des brèches et roches exotiques du Flysch ne devait pas être étrangère à ces dislocations. Je reconnus que la plaque calcaire du Chamossaire, (Dogger, Toarcien et Trias) qui repose sur du Flysch et du gypse, n'était autre chose que la continuation d'une lame de jurassique, *intercalée dans le Flysch* de la chaîne du Chaussy

et que l'on suit dès les Ormonts-Dessus (Vers-l'Eglise) jusqu'au col des Mosses, sur près de six kilomètres de longueur. La plaque du Chamossaire en est séparée par la profonde vallée d'érosion de la Grande-Eau. La couverture de Flysch qui surmonte le dogger du côté de Chaussy a été enlevée au Chamossaire et n'existe plus que sous forme d'un pointement au Meilleret.

Je compris aussi que la faille qui borde le pied du Moléson et de la chaîne de Ganterist, entre le Trias de celle-ci et la zone de Flysch du Gurnigel, était quelque chose d'analogue au chevauchement de la chaîne des Gastlose, une superposition concordante, en apparence, mais anormale du Trias sur le Flysch éocène.

La mise au concours, pour le prix Schläfli, en 1889, par la Société helvétique des Sciences naturelles, d'une étude sur la provenance des blocs et brèches exotiques du Flysch avait vivement excité mon désir d'élucider cette question. Très enthousiasmé au début, je m'aperçus bientôt des grandes difficultés et ne songeais plus guère à achever ce travail, dont j'avais déjà commencé à préparer la première ébauche.

Je sentais que cette question ne pouvait pas être traitée isolément, qu'à côté des recherches stratigraphiques et tectoniques déjà très vastes, il faudrait des études pétrographiques, que je ne pouvais entreprendre alors. Le contraste des Préalpes avec les Hautes Alpes, la formation des failles de chevauchement entre la première zone du Flysch et les Préalpes, les klippes, si étranges, qui existent dans les Alpes de Schwytz et d'Unterwald, ainsi que dans les Alpes d'Annecy, tout cela ne me paraissait former, avec la formation des brèches et blocs exotiques du Flysch, qu'un seul et même problème, se rattachant intimement au développement tectonique du versant N. des Alpes.

En constatant alors l'identité du Néocomien à Céphalopodes qui existe dans la région de Bex, serré comme une lame entre le gypse et les cornieules des Préalpes d'une part et les plis des Hautes Alpes d'autre part, j'eus, *déjà alors* (en 1889), *la notion très nette que peut-être ce lambeau de Néocomien n'était qu'une partie du Néocomien à Céphalopodes des Playaux-Niremunt*, restée en arrière pendant le chevauchement des Préalpes. Le Flysch du Niesen et des Ormonts serait alors le même que celui du Gurnigel. Je n'osai pas formuler une conclusion dans ce sens, et refoulai ce premier soupçon.

L'étude de la note si complète et si détaillée de Stutz sur les

klippes des bords du lac des Quatre-Cantons (n° 21) m'ouvrit d'autres horizons ; la définition des facies qu'il donne me fit comprendre encore mieux que ce que j'en savais déjà, qu'il ne pouvait s'agir là, en aucun cas, de sédiments surgis de la profondeur et appartenant au facies helvétique, *mais que ces klippes sont formées des terrains à facies des Préalpes, en tout point semblables à ceux du Stockhorn*. Les zones de schistes calcaires rouges que Kaufmann appelle *Leimernschichten* (Flysch) me parurent identiques aux couches rouges crétaciques des Préalpes et devaient rentrer dans la même catégorie de phénomènes que les lambeaux décrits par Stutz et avant lui par Kaufmann et autres¹. Il devint clair, pour moi, d'après les descriptions et les profils de Kaufmann et Stutz, que ces paquets jurassiques étaient bien des klippes, mais des klippes sans racines (Schollen) reposant directement sur le Flysch, sans aucune relation avec les terrains profonds.

La fréquence des blocs exotiques dans cette même zone, où existent les klippes, l'identité de ces blocs, tant cristallins que sédimentaires, avec ceux des brèches du Flysch du Niesen et du Gurnigel, me fit comprendre que la solution ne pouvait pas tarder à se montrer, mais qu'il fallait, avant tout, éclaircir le contraste stratigraphique et tectonique existant entre les Préalpes et les Hautes Alpes. Je le fis par une analyse de la situation géologique le long des trois coupures transversales de l'Aar, du Rhône et de l'Arve-Giffre, dont la première et la dernière délimitent la région naturelle des Préalpes.

Le chevauchement nettement visible de la zone du Stockhorn sur le Flysch, du Gurnigel au bord du lac de Thoune, et qui est identique à la superposition du Môle sur le tertiaire du bord de la vallée de l'Arve, me paraissait devoir s'interpréter comme résultant d'un mouvement tectonique pouvant avoir caché une falaise de terrains anciens. Après avoir nourri la sédimentation de la zone de Flysch du Gurnigel ; la falaise, recouverte déjà en partie par ses propres débris, fut masquée entièrement par le glissement des terrains sédimentaires sur le socle cristallin.

Comme du côté opposé du lac de Thoune existent des chaînes toutes différentes, qui offrent une amorce de chevauchement très net au pied N. du Ralligstöcke, je crus pouvoir admettre l'in-

¹ J'avais constaté, déjà en 1882, par l'analyse microscopique, l'identité du calcaire rouge des Mythen avec les couches rouges des Préalpes.

terversion du mouvement horizontal, en ce sens qu'un enfoncement plus profond, au N E du lac de Thoune, aurait permis aux sédiments du facies helvétique de venir se déverser *sur* la zone des Préalpes qui existeraient en partie encore au-dessous. Les klippes seraient des paquets de ces terrains venus à la surface comme des mottes de terre viennent se superposer à la neige d'une avalanche. J'attribuai au gypse et aux cornieules (dolomies triturées) une forte influence dans l'accomplissement de ces dislocations, en facilitant le mouvement horizontal des nappes sédimentaires charriées, et en poussant, pour ainsi dire, par leur accumulation, les klippes vers la surface.

Cette explication de la situation au N E du lac de Thoune ne me paraissait toutefois pas suffisante, d'autant moins que je ne pus expliquer l'origine de la zone interne de Flysch bréchi-forme, celle du Niesen, que par une même hypothèse, en admettant, là encore, une falaise, aujourd'hui recouverte par les plis renversés et charriés du facies helvétique. Dans mon idée d'alors, le massif de l'Aar formait jadis, avec celui du Mont-Blanc, la charpente de l'isthme qui avait séparé les deux régions (Préalpes et Hautes Alpes). C'est de ces massifs que proviendraient les roches cristallines de la zone interne du Flysch. Je basai cette hypothèse encore sur l'analogie du Granite de Gasteren avec l'une des variétés du Granite de la brèche des Ormonts et l'identité de la protogine des lambeaux et klippes du plateau des Gets, en Savoie, avec celle du Massif du Mont-Blanc. Après la formation de la sédimentation du Flysch, les sédiments à facies helvétique couvrant le massif cristallin auraient glissé sur celui-ci, en s'entassant devant la falaise et sur le Flysch, puisque c'est bien à une peau glissée que ressemblent les plis de la paroi de l'Oldenhorn et des Dents du Midi; des affaissements auraient fait le reste.

J'ai longuement discuté ces points de vue avec mon regretté ami Gustave Maillard, alors conservateur du Musée d'Annecy et collaborateur de la carte géologique de la France. C'est à lui que je le dois d'avoir eu les premiers doutes au sujet de cette explication, qui n'était, en somme, qu'une précision et un développement de l'hypothèse de Studer. Il me démontra en effet que sur le bord extérieur des Alpes à facies helvétique, entre La Roche et Annecy, le contact anormal par chevauchement, que nécessiterait l'explication donnée par moi, n'existe pas et que le bord est ici *absolument normal*; les couches sont à peine renversées, formées d'Urgonien, de Nummulitique, de Flysch suivi de Miocène.

Bien conscient des difficultés qui s'opposaient de ce côté à l'application de cette hypothèse, je ne considérai donc ladite explication que comme un acheminement vers le but proposé et non comme une explication définitive du problème posé.

Je n'avais pas touché dans ce travail la question de l'âge réel des gypses et des roches dolomitiques, considérées par moi auparavant comme éocènes; mais je puis déclarer ici que déjà alors *j'étais intimement convaincu de leur âge triasique*, en expliquant par des chevauchements leur contact avec le Flysch. J'en parlai dans ce sens la même année, lors de l'excursion de la Société géologique suisse dans les Alpes de la Gruyère et du Pays-d'Enhaut.

En attendant d'entreprendre des recherches plus étendues pour bien établir ce point de vue nouveau, je me contentai de le faire connaître dans le compte rendu de l'excursion géologique. Le profil à petite échelle, allant par le Moléson jusqu'au pied des Hautes Alpes (Oldenhorn), en rend nettement compte (N° 24, pl. V). Les gypses et roches dolomitiques du groupe de la Gummfluh et du Rubli y figurent bien comme Trias et la brèche de la Hornfluh comme jurassique. A la Gummfluh, ce que j'avais pris pour le flanc renversé de l'anticlinal de Malm, n'est autre chose que le calcaire triasique gris-clair ou jaunâtre, reposant, avec sa base de Gypse, par chevauchement sur du Flysch. De même au Rubli, au Rocher-Plat et au Rocher du Midi

Malgré la possibilité d'expliquer ainsi la formation du Flysch et des brèches dans la région des Préalpes elles-mêmes, je ne cessai de me heurter à des difficultés insurmontables, en voulant appliquer cette explication à la région au N E du lac de Thoune et au S W de l'Arve. Je visitai en 1892 cette région dans ce but, je parcourus la vallée de Habkern et les abords du Giswylerstock, où je constatai le facies du Stockhorn de la manière la plus tranchée. A Gumenaip, au S E du Rothhorn de Brienz et près de Arvigrat, vis-à-vis du Giswylerstock, j'ai vu une longue zone de « couches rouges » que la carte indique sous le nom de « Wangschichten ». Sur le passage du Marienthal à Habkern, j'ai vu plusieurs intercalations de « couches rouges » dans le Flysch; elles sont notées comme « Leimerschichten ». Enfin, d'après ce que j'ai pu constater sur le versant N de la chaîne du Pilate, j'ai reconnu que là, pas plus que du côté des Alpes d'Annecy, le recouvrement supposé du facies helvétique ne pouvait être démontré; le chevauchement existant bien réellement au pied du Sigriswylergrat (Ral-

ligstöcke), n'est qu'un *phénomène local* qui s'éteint à quelques kilomètres plus à l'Est. Il a néanmoins sa signification et son importance, en ce sens que les lambeaux à facies préalpin conservés dans ce pli étranglé, sont un précieux point d'attache pour affirmer la continuation, au N E du lac de Thoune, de la zone du Stockhorn; seulement ces lambeaux sont pincés dans le tertiaire et paraissent sans continuité en profondeur. J'étais donc absolument convaincu de la difficulté qui s'oppose à ma première explication, lorsque a paru, l'année suivante, le mémoire de M. Burkhardt (n° 39).

Cependant, la structure des Préalpes, comme nappe de chevauchement, détachée d'un Horst cristallin, me paraissait si lucide que je crus pouvoir la représenter au moyen de trois profils parallèles à la vallée du Rhône entre Vevey et Aigle (n° 32). Au printemps 1893 j'eus plusieurs longs entretiens avec M. le professeur Steimann et avec son élève, M. Quereau, qui était occupé en ce moment à conclure ses études sur les klippes d'Iberg. J'ai trouvé absolument insoutenable l'idée de ces savants attribuant les klippes d'Iberg, ainsi que les Mythen à un chevauchement *venu du Nord*. Le point de départ de ces klippes devait exister, selon eux, sous les sédiments miocènes du plateau suisse. Lors d'une excursion aux Ormonts avec M. Steimann, en mars 1893, à laquelle prit part M. Lugeon, la conversation roula sur le même sujet et nous restâmes en complète opposition. D'accord sur la réalité du chevauchement des Préalpes, attesté par la superposition du Trias sur le Flysch et la situation des klippes, comme îlots flottants sur le Flysch, MM. Steimann et Quereau admettaient un mouvement ayant joué du N vers le S, alors que je constatais que ce mouvement devait avoir été dirigé du S vers le N!

En effet, si l'on vient du Nord, on trouve le bord des Préalpes chevauché, comme par un mouvement S - N, tandis que si l'on aborde cette région du S. on trouve le bord interne chevauché, comme par un mouvement N—S. J'avais pensé un moment que cela pouvait s'expliquer par un écrasement bilatéral du Horst ayant supporté la nappe sédimentaire chevauchée.

La session de la Société helvétique des sciences naturelles à Lausanne devait apporter du nouveau. MM. Renevier et Lugeon avaient déjà fait connaître leurs premières conclusions (n° 32) et allaient organiser une grande excursion de cinq jours dans le Chablais. J'avais de mon côté exploré pendant l'automne 1892 le

massif de Treveneusaz et le bord de la Brèche du Chablais, entre Conche et le Val d'Illeiez et j'étais arrivé à la certitude que cette dernière formation repose ici *en concordance sur le Flysch et le créacique rouge*; d'où la conclusion qu'elle est, ou bien tertiaire et équivalente au Flysch, ainsi que je l'avais admis avec Gilliéron, ou bien elle est jurassique et dans ce cas c'est une *nappe de chevauchement*.

Dans la correspondance que j'eus avec M. Lugeon en juin 1893, j'écrivis en substance ceci: « Si la brèche est jurassique, il doit y avoir entre le col de la Croix et le Val d'Illeiez trois écailles superposées. » Je pensais à la série des terrains formant le rocher de Conches, sur laquelle vient chevaucher le bord N. du massif de Treveneusaz, qui chevauche lui-même sur la mollasse rouge et le Flysch du Val d'Illeiez. A cheval sur cette double série déjà chevauchée vient se placer, sans attache en profondeur, la brèche du Chablais! J'écrivis à cette même occasion à M. Lugeon que le lambeau de gypse, reposant sur le Malm du flanc S. du Mont-Chauffé, devait être un lambeau de recouvrement, *attestant l'ancienne extension de la nappe de la Brèche de la montagne de Grange, par-dessus la vallée d'Abondance, jusque sur le flanc du Mont-Chauffé!*

Après que M. Lugeon m'eût affirmé avoir trouvé des *fossiles jurassiques* sinon authentiques, au moins suffisamment caractéristiques pour exclure l'âge éocène de la Brèche, je me suis franchement rangé à l'idée de voir dans cette formation un facies particulier du jurassique. Cette réalité était confirmée pour moi par l'observation que j'avais faite, une année auparavant, au passage de la Porte du Soleil, sur Morgins, de la superposition de la Brèche à une assise schisteuse, ayant l'aspect du Lias supérieur, reposant elle-même sur un banc de calcaire spathique (échinodermique) qui m'avait fourni une *Belemnite*. Mais il était certain pour moi que la Brèche de l'arête entre le Signal de la Croix et la Traversaz formait une nappe de recouvrement sans racine et qu'en conséquence, *la masse entière de la Brèche devait reposer sur le Flysch*.

Quel ne fut donc pas mon étonnement de voir surgir à la session de la Société helvétique des sciences naturelles à Lausanne (1893) une toute nouvelle théorie, celle des *plis en champignon*, dont la paternité, pour ce qui concerne ceux du Chablais, revient à M. Lugeon.

Quant à moi, je n'ai pas cru un seul instant à la possibilité

des plis en champignon, malgré l'exposé si convainquant de M. Lugeon.

Dès que je fus bien sûr de l'âge jurassique de la brèche calcaire du Chablais, je compris instantanément que les lambeaux de brèche de la Hornfluh que j'avais, avec la même certitude, toujours vus superposés au Flysch ou au Crétacique rouge, n'étaient autre chose que des lambeaux de recouvrement, également d'âge jurassique, souvent *resserrés dans des synclinaux*, comme à Cananéen sur Gérignoz, à la côte aux Rayes près Rougemont, et entre la Gummfluh et le Rubli. Tandis qu'en Chablais la nappe de recouvrement de la Brèche est restée entière, elle a été morcelée dans la région du Stockhorn et les lambeaux isolés ont été *plissés pendant et subséquemment* à leur morcellement. Ce que les lambeaux de la Brèche du Chablais et de la Hornfluh représentent en petit, la région tout entière des Préalpes, depuis l'Arve au lac de Thoune, le répète en grand, donc *la même solution devait s'imposer aussi là!* Et je me rappelais de ma réflexion qui m'est apparue comme une vision, quatre années auparavant, où je croyais voir dans le Néocomien à céphalopodes de la vallée de l'Avançon, un lambeau arraché et *resté en arrière* de la bande de Néocomien et de Jurassique enveloppée dans le Flysch de la zone des Playaux-Niremout. Je compris qu'à moins de considérer la région des Préalpes comme un grand pli en champignon, au centre duquel surgirait le pli en champignon de la Brèche, *toute l'étendue des Préalpes ne devait être qu'une nappe sans racines*, sans attache normale en profondeur, venue, comme les lambeaux de Brèche jurassique, d'une région peut-être assez lointaine. Impossible de songer au N. comme le faisait Quereau; alors il ne restait que le Sud! *C'est des Alpes centrales et méridionales que cette couverture sédimentaire doit provenir.* Elle s'est détachée là, en glissant sur le gypse triasique et les détritiques dolomitiques, devenus ensuite les cornieules, si répandues dans toutes les Préalpes et autour des Klippes. Pendant son mouvement, elle nourrissait de ses débris la sédimentation du Flysch, allant du Rhin jusqu'au delà du lac d'Annecy; elle a disparu au S W de l'Arve et au N E du lac de Thoune dès l'époque miocène, en ne laissant subsister là que les klippes. *Tout cela n'a été pour moi qu'un seul jet d'idées*, d'autant plus claires et nettes que *l'enchaînement des phénomènes qu'il faut supposer est d'une simplicité surprenante.* On comprend facilement que ce revirement n'a rien d'artificiel, qu'il n'a eu rien de forcé, puis-

que je possédais dans mon esprit. alors comme aujourd'hui, *tous les détails de la géologie de la région en question*, particulièrement des Préalpes comprises entre le Rhône et l'Aar et de la zone limitrophe du Chablais, fruit de 14 années de recherches. En Chablais, la situation est, dans l'ensemble comme dans les détails, absolument la même, ce qui a été confirmé par les observations de MM. Renevier et Lugeon. Cela étant, je pouvais juger sans nouvelles recherches, car mes observations subsistent dans toute leur intégrité; j'avais partout bien observé, mais c'est l'interprétation qui était fautive en ce qui concerne l'âge de la brèche de la Hornfluh-Chablais et de certains gisements de Gypses et de cornieules. Il en résulte que mes profils peuvent facilement être corrigés dans les régions où des changements sont nécessaires.

J'ai fait part de cette nouvelle conception à la Société vaudoise des sciences naturelles, dans la séance du 2 novembre 1893; elle fut présentée à l'Académie des sciences de Paris, par M. Daubrée, dans sa séance du 20 novembre. M. Marcel Bertrand a eu l'obligeance de condenser lui-même le manuscrit de cette note.

En présentant ce nouveau point de vue, j'ai fait d'emblée le procès des plis en champignon qui n'ont absolument pas d'application dans le cas dont il s'agit, vu l'impossibilité mécanique de leur évolution. S'il en était ainsi, il faudrait d'ailleurs que chaque lambeau de Brèche de la Hornfluh (j'en connais bon nombre dont quelques-uns fort petits), ainsi que chaque klippe, fussent des petits plis en champignon, perçant leur substratum. Cela ne se peut pas! Toutefois, M. Haug a absolument tenu à cette explication pour la klippe du Mont de Sullens.

Depuis lors, aucune objection infirmant sérieusement ma nouvelle conception ne s'est fait jour; la *Loi des Préalpes*, formulée nettement en 1895, *est restée sans exception*.

S'il m'a été pénible d'abandonner mes premières conclusions sur l'âge de certains gisements de gypse et de cornieule, sur l'âge éocène de la Brèche de la Hornfluh et du Chablais et de renoncer à l'application de l'hypothèse si ingénieuse de Studer, il m'a été particulièrement doux de voir se vérifier, point par point, mes prévisions nouvelles. Des adversaires mêmes n'ont fait qu'apporter de nouvelles preuves, ou se sont, comme M. Lugeon, rendus à mes arguments. La conversion de ce dernier a eu lieu surtout ensuite de la réplique absolument convaincante

que j'ai opposée à son attaque (n° 51) et à la suite de documents inédits que je lui ai communiqués et que j'ai discutés avec lui, ors d'une séance chez moi¹.

Je dois relever ici encore un point qui a une certaine importance dans le débat, c'est l'interprétation qui a été faite par M. Lugeon de l'idée émise en 1884, par M. MARCEL BERTRAND, relativement à un prolongement vers l'Ouest du grand pli glaronnais. Dans ma notice de 1893 (n° 38), parlant de la situation tectonique des Préalpes, pour arriver, seulement après, à parler de l'*origine* de cette nappe sans racine, origine que je *plaçai d'emblée au S. de la zone des massifs de l'Aar et du Mont-Blanc*, j'ai cru devoir citer la supposition du maître français, puisque selon cette supposition, la région des Préalpes aurait fait partie de ce pli couché des Alpes glaronnaises. Je renvoie à ce que j'ai dit à ce sujet, p. 124 de la présente note. J'ai rendu d'ailleurs justice entière au grand mérite que s'est acquis M. Bertrand en démontrant l'existence dans la France méridionale de plis couchés développés horizontalement sous forme de vastes nappes. En lisant le chapitre précédent, où je n'ai énuméré avec la plus grande sincérité que des faits reconnus, on verra facilement que ma conception est *absolument différente* de la supposition exprimée par M. Bertrand².

M. Bertrand voyait la possibilité d'admettre entre la Reuss et Annecy un pli couché superposé aux Flysch formant le bord des Alpes comme le pli de Glaris supposé unique et continu est superposé au Flysch de la zone de Glaris. Ce pli devait être du même facies que le pli de Glaris, soit de facies helvétique. Or, cela n'est pas le cas. Les klippes (lambeaux de recouvrement), dont il devait expliquer l'existence dans la région du Stockhorn et dans les Alpes d'Annecy, n'y existent pas dans la forme supposée par M. Bertrand. De plus, les terrains de cette région appartiennent, sans exception, au facies austroalpin. Après avoir exploré entre 1890 et 1893 plusieurs parties du Chablais et en

¹ Il est donc assez étrange que M. HAUG, dans son récent mémoire (n° 56) parle de l'hypothèse de MM. Schardt et Lugeon. M. Lugeon a été, au contraire, adversaire de ma manière de voir; il en est devenu ensuite partisan, ce dont je suis d'ailleurs très heureux.

² En citant la supposition de M. Bertrand dans ma notice de 1893 (n° 38), j'ai commis une erreur en disant que le pli couché de M. Bertrand serait venu du Nord, c'est bien *au Sud* que M. Bertrand supposait la racine du pli couché.

discutant en 1892 les conclusions de son étude sur le Môle. M. Bertrand se déclare convaincu au contraire, que cette région n'offre pas l'ombre de la relation supposée avec le double pli glaronnais et qu'il n'y a pas trace de pli charrié.

Mon interprétation ne s'applique pas d'ailleurs aux *Préalpes seules*; elle s'applique à *tout le versant N. des Alpes* et probablement aussi *au versant N. des Karpathes* et à bien d'autres régions encore, où existe le phénomène des *klippes* et des *brèches du Flysch à blocs exotiques*.

Elle se base sur le postulat suivant qui découle de la *Loi des Préalpes* :

1. **Toute la région des Préalpes romandes (Stockhorn et Chablais) repose, par son terrain le plus ancien, partout sur le tertiaire.**

Deux autres postulats se greffent sur celui-ci :

2. **La Brèche du Chablais et les lambeaux de brèche de la Hornfluh reposent également par leur assise la plus ancienne sur le Flysch ou le Crétacique des Préalpes.**

3. **Les Klippes jurassiques et triasiques des Alpes d'Unterwald, de Schwytz et des Alpes d'Annecy reposent également partout sur le Flysch par leur sédiment le plus ancien.**

Ces faits me paraissent incontestables. On a vu plus haut quelle est l'**hypothèse** que j'en ai déduite, et qui explique non seulement la **provenance des Préalpes**, mais aussi l'**origine des klippes** et surtout celle des **brèches et blocs exotiques du Flysch**.

Il est donc facile de voir combien cette explication diffère dans sa conclusion la plus essentielle — charriage d'une nappe sédimentaire d'une région centrale des Alpes, sans préexistence d'un pli couché, et sa relation avec la formation du Flysch — de la supposition de M. Bertrand. Le pli couché de M. Bertrand devait avoir son amorce ou racine nécessairement dans la zone du Wildstrubel — Dent du Midi. Son déplacement vers le Nord suppose un mécanisme sensiblement différent de celui que j'ai admis.

J'ai donc été fort surpris de lire à plusieurs reprises, dans l'ouvrage de M. Lugeon, qu'en émettant ma nouvelle théorie, je n'avais fait *que reprendre l'idée émise déjà en 1884 par M.*

Bertrand. Cela est une grave erreur! (n° 53, p. 23, 252, 253, 290, 302).

M. Lugeon se trompe surtout en identifiant deux choses absolument différentes, qu'il aurait pourtant pu séparer nettement, connaissant, ou devant connaître les choses et les travaux servant de base aux vues exprimées par M. Bertrand, d'une part, et par moi, d'autre part. En effet, M. Bertrand a exprimé une pure supposition, tirée de l'examen des cartes géologiques de la Suisse et point une hypothèse argumentée au point de vue scientifique du mot, n'ayant pas alors à l'appui de sa supposition des faits constatés par lui, de visu, dans la région des Préalpes.

J'ai de mon côté exprimé une *probabilité*, dans mon for intérieur même une *certitude*, basée sur près de 14 années de recherches, circonstance qui n'était nullement inconnue à M. Lugeon. Ce qui est hypothèse chez moi, c'est le voyage, le charriage de cette nappe exotique et la situation de son lieu d'origine, sa relation avec les klippen et avec la formation des brèches à matériaux exotiques du Flysch. Je ne parle pas de pli couché, mais d'une nappe glissée. *En un mot, la supposition de M. Bertrand diffère de ma conception autant par le fond que par la portée et par ses arguments!*

Mon intention, en exposant, en 1893, les raisons qui me firent considérer la région entière des Préalpes comme une nappe de charriage, en situation anormale, a été de faire connaître cette nouvelle voie. *J'étais d'ailleurs seul en état de pouvoir l'entrevoir nettement en ce moment*, puisque MM. Lugeon et Renevier caresaient alors les plis en champignon, MM. Steimann et Quereau la chaîne vindélicienne, avec chevauchement vers le Sud. Je n'avais pas à produire une argumentation détaillée, puisque mes études de détail sur la région étaient suffisamment connues. J'ai pleinement atteint mon but; car la voie ouverte par moi me paraît être la vraie et cela me donne pleine satisfaction.

L'opinion de M. Bertrand est d'ailleurs absolument conforme à ce que je viens d'affirmer. En me parlant, dans une lettre datée du 7 juin 1897, de sa notice de 1884, M. Bertrand me dit ceci :

« La vérité est bien simple et bien limpide; j'ai eu l'idée d'une » première nappe de recouvrement, comprenant le pli Nord de » Glaris, une partie de l'Oberland bernois et du Wildstrubel; » cette idée, en faveur de laquelle je n'ai donné et ne pouvait » donner que des arguments d'ordre général, était une « wor- » king hypothesis », qui n'enlèvera rien au mérite de celui, s'il

» doit venir, qui en démontrera la réalité. J'ai eu aussi, sans la
 » développer, l'idée bien naturelle qu'une partie au moins des
 » klipptes, que les massifs des Annes et de Sullens, devaient
 » avoir une origine exotique, mais je n'ai pas eu à ce moment
 » la notion que ces massifs devaient provenir d'une autre nappe
 » de recouvrement supérieure et d'origine plus lointaine. Quant
 » aux Préalpes, je n'avais jamais songé à y voir le produit d'un
 » charriage et je crois même devoir ajouter qu'avant vos der-
 » niers travaux et ceux de Lugeon une pareille idée aurait été
 » une véritable folie.

» Quand j'ai reparlé, très incidemment, de ces questions à
 » propos du Môle, j'ai dit, sans prétendre résoudre un problème
 » de cet ordre par l'étude d'une région isolée, que mon impres-
 » sion était toute favorable à l'idée que les Préalpes sont en
 » place. Je m'étais mal expliqué auparavant, si on a pu consi-
 » dérer cette manière de voir comme un changement d'opinion
 » (qui serait d'ailleurs bien permis en pareille matière). »

IV. Démonstration et réplique aux objections.

D'après les publications parues depuis 1890, il n'est presque plus besoin de démontrer la nécessité de considérer la région entière des Préalpes comme une nappe charriée, reposant partout sur le tertiaire; ce serait refaire la démonstration de la Loi des Préalpes et des postulats qui en découlent (voir page 159 et Chap. I). Les profils et la petite carte joints à ce mémoire en disent plus long que des pages d'explications.

Nous aurons toutefois à examiner successivement les divers arguments qui appuient la solution proposée par moi, du problème jadis si énigmatique, et, en le faisant, je répondrai aux objections qui m'ont été faites et auxquelles je n'ai guère répliqué jusqu'ici.

Cette démonstration, aussi claire qu'elle soit, ne dispose pour le moment évidemment que d'une faible partie des preuves qui pourraient être réunies. Il est réservé aux recherches futures d'en découvrir encore un grand nombre. Depuis plus de quatre ans que j'ai conçu la solution proposée, je n'ai ressenti aucun doute; bien au contraire, les recherches poursuivies depuis lors n'ont fait qu'affermir sur tous les points ma manière de voir, tandis que je n'ai pas pu en dire autant de ma précédente interprétation (1891) basée sur l'hypothèse de Studer.

L'énoncé des arguments que je vais avancer, représente l'état actuel de nos connaissances sur le problème et sa solution. Je me réserve de constituer, au cours de mes recherches ultérieures, embrassant la région entière des Préalpes du Stockhorn jusqu'au lac Léman, une démonstration plus complète et plus détaillée. C'est ce travail que je vais entreprendre ensuite de la mission que m'a confiée la commission géologique suisse. En attendant l'achèvement de ce grand travail qui est presque une tâche vitale, le présent résumé sera certainement le bienvenu et aura ainsi sa bonne raison d'être.

Les arguments que j'aurai à constituer et les objections que j'aurai à combattre portent sur les diverses faces de problème : La stratigraphie des Préalpes, leur tectonique, le mécanisme du charriage, le lieu d'origine, la nature et l'origine des brèches du Flysch, etc. Nous aurons donc à constituer autant de chapitres.

A un point de vue général, on peut distinguer dans les Préalpes, d'après leur succession horizontale actuelle, les régions ou zones suivantes :

1. *Zone extérieure de Flysch*, avec lambeaux et lames de terrains secondaires: Zone des Voirons-Niremout-Gurnigel.
2. *Zone des Chaînes calcaires* des Préalpes.
 - a) Zone Nord, avec Dogger à *Zoophycos*.
 - b) Zone Sud, avec Dogger à *Mytilus*, bordant de part et d'autre la zone suivante.
3. *Zone centrale de Flysch*. (Biot-Hundscriëck).
4. Région superposée de la *Brèche du Chablais* et de la Hornfluh avec klippes de cette roche.
5. *Zone interne de Flysch* et *Zone des cols*, avec lambeaux et lames de terrains secondaires d'un facies analogue à ceux qui accompagnent la zone extérieure ¹.

Ces cinq régions ont ceci de particulier, que, dans leur exten-

¹ M. Lugeon distingue :

1. Zone bordière ou Zone du Flysch.
2. Préalpes médianes.
 - a) Zone extérieure avec Dogger à *Zoophycos*.
 - b) Zone axiale avec Dogger à *Mytilus*.
3. Zone du Flysch du Niesen.
4. Zone interne ou Zone triasico-jurassique de contact.
5. Région des Brèches du Chablais et de la Hornfluh.

Cette subdivision fait abstraction de la zone centrale du Flysch, qui a cependant une assez grande importance.

sion horizontale, la zone extérieure du Flysch décrit un arc de cercle dont les deux extrémités tendent à rejoindre la zone interne qui a un alignement sensiblement rectiligne. Ces deux zones du Flysch sont disposées de part et d'autre du Rhône, comme les paupières de deux orbites dont l'ouverture serait occupée par les chaînes calcaires. La zone centrale de Flysch, localement très réduite ou disloquée, joue un rôle analogue par rapport aux masses superposées de la Brèche du Chablais et de la Hornfluh et des klippen qui en dépendent.

En réalité, la comparaison avec un orbite n'est pas absolument exacte en ce sens que le Flysch ne recouvre pas les terrains calcaires qui apparaissent dans son milieu, mais il s'introduit *au-dessous* de ceux-ci, dont il paraît former l'assiette. Le Flysch de la zone centrale fait de même vis-à-vis de la formation de la Brèche jurassique. Il est évident, dès lors, que la division des Préalpes en deux régions ayant l'apparence d'orbites, n'est que le résultat de l'érosion de la vallée du Rhône et du Haut Léman, qui a également séparé en deux la nappe superposée de la Brèche jurassique; ces points tectoniques seront examinés plus loin.

A. Arguments stratigraphiques.

Studer a été le premier à reconnaître la divergence entre les sédiments constituant les montagnes sur les deux rives du lac de Thoune. A part les quelques lambeaux au pied N. des Ralligstöcke, le « Stockhornkalk » manque absolument au N. E. du lac de Thoune. Ce sont des montagnes constituées par des assises appartenant au Néocomien à facies helvétique qui se placent sur le prolongement des Alpes du Stockhorn et du Simmenthal. Cette constatation, faite il y a plus de 60 ans, montre bien la clairvoyance de Studer.

La comparaison des séries stratigraphiques de part et d'autre du lac de Thoune et de la vallée de l'Arve et du Giffre, entre Bonneville et Samoens, montre clairement qu'un changement brusque et inattendu se manifeste dans la série sédimentaire sur le parcours de ces deux vallées transversales. Le même phénomène s'observe aussi le long du contact entre les Préalpes romandes et les hautes chaînes calcaires entre le Wildstrubel et les Dents Blanches. *A l'O., au S. et à l'E., les Préalpes romandes sont encadrées de chaînes appartenant à un facies tout à fait différent; cela ressort sans conteste du tableau suivant pour le Tertiaire et le Crétacique.*

	<p>Alpes d'Unterwald, Alpes d'Annecy et Chaines du Wiedstrubel-Dents-Blanches. (facies helvétique ou jurassien.) (facies normal du versant N. des Alpes.)</p>	<p>Préalpes du Stockhorn et du Chablais, Klippes d'Unterwalden et d'Annecy. (facies austro-alpin, passant au facies méditerranéen-provençal.)</p>
OLIGOCÈNE.	<p><i>Flysch</i> essentiellement schisteux et arénacé bréchiforme autour des klip-pes (blocs exotiques). Intercalations de couches à <i>Nummulites</i>.</p>	<p><i>Flysch</i> arénacé, schisteux et bréchiforme poly-génique. Contient des <i>Fucoides</i>, des <i>Helminthoides</i> et très rarement des <i>Nummulites</i> (dans les grès).</p>
EOCÈNE.	<p>Calcaires et marnes nummulitiques (Parisien et Bartonien).</p>	<p>Manque.</p>
CRÉTACIQUE SUPÉRIEUR.	<p><i>Sénonien</i> et <i>Turonien</i>. Marnes de Wang et de Seewen avec <i>Ananchytes ovata</i>. <i>Cénomannien</i>. Calcaires de Seewen et <i>Vraconnien</i>, riches en fossiles. <i>Albien</i> (Gault inf.), riche en fossiles (grès vert). <i>Aptien</i> (grès vert et schistes).</p>	<p>Représenté par les calcaires et marno-calcaires rouges et verts dits « Couches rouges » avec <i>Foraminifères</i>. Fossiles macroscopiques extrêmement rares. (<i>Inoceramus</i>, <i>Micraster</i>.)</p>
CRÉTACIQUE INFÉRIEUR.	<p><i>Rhodanien</i> et <i>Urgonien</i> à <i>Requienia Ammonia</i>. <i>Hauterivien</i>. Calcaires et marno-calc. à <i>Toxaster</i>. <i>Valangien</i>. Marnes et calcaires passant aux <i>Couches de Berrias</i>.</p>	<p><i>Néocomien</i> calcaire et marno-calcaire, schisteux et plaqueté avec céphalopodes, se confondant au SE avec le facies des couches rouges.</p>

L'on voit sans difficulté et sans qu'on passe en revue détaillée les divers étages de ces deux régions, combien est différente la succession des assises de même âge. Que l'on franchisse la vallée du lac de Thoune, celle de l'Arve-Giffre ou la zone des cols entre la Lenk et Samoëns et l'on se trouve transporté comme par enchantement dans un pays nouveau au point de vue géologique.

Ce qui frappe le plus, c'est la présence, dans les régions à facies helvétique, du Crétacique supérieur, due à une transgression qui a commencé à se manifester dès l'époque aptienne et s'est accentuée de plus en plus jusqu'à l'époque sénonienne, en conduisant à une succession d'assises extrêmement variées, autant par leur facies que par leur faune. Rien de tout cela dans les Préalpes, où un seul terrain, englobant même au S. E. aussi le Crétacique inférieur, représente cette nombreuse série d'étages.

Rappelons encore l'absence totale, dans les Préalpes, de la formation numulitique (Parisien et Bartonien) et la grande rareté des Numulites dans le Flysch de cette région, et le contraste sera complet.

La série jurassique offre aussi un contraste non moins frappant, comme le montre le tableau suivant (page 166):

Dans toute la région à facies helvétique, il y a une série très uniforme d'étages, comparables à ceux du Jura, manquant toutefois du facies coralligène si fréquent dans cette chaîne. Dans les Préalpes, il faut distinguer trois zones sédimentaires, dont la différence se manifeste déjà à l'époque crétacique. Une zone nord où existe le Néocomien supportant les couches rouges (Crétac. sup.), une zone moyenne où le facies des couches rouges repose directement sur le Jurassique et une zone sud, actuellement superposée à la précédente (zone de la brèche jurassique), où le Crétacique manque entièrement.

Ces trois zones sont infiniment plus tranchées dans la série jurassique, en particulier entre le Dogger et le Lias, et aucune d'elle n'a quelque ressemblance quant aux terrains qui la composent avec ceux de même âge des Hautes Alpes à facies helvétique. Le contraste va même croissant, lorsqu'on suit du N. vers le S., dans le niveau du Dogger ou du Malm, par exemple. Arrivé au point de contact des Hautes Alpes, le contraste est on ne peut plus frappant. D'une part, le facies du Jurassique bréchiforme, de l'autre, le calcaire compact du Malm reposant sur un Dogger schisteux. Le Crétacique manque sur la brèche jurassique, alors que dans les Hautes Alpes il constitue la série si hétérogène que nous connaissons. C'est donc sur la ligne de contact que se trouve le plus grand contraste. Le contact entre les terrains mésozoïques des deux régions n'est d'ailleurs jamais direct, une zone de Flysch s'introduit invariablement entre deux. De plus, la troisième zone calcaire, celle de la

	Alpes d'Unterwald et Alpes d'Annecy.	Préalpes (et Klippes).		Régions de la Brèche du Chablais et de la Hornfluh.
		Zone Nord.	Zone Sud.	
Jurassique supérieur. (Malm.)	Calcaire compact massif. (Hochgebirgskalk.) Schiste oxfordien à <i>Cardioceras cordatum</i> .	Calcaire massif. Niveaux ammoniti- fères. Calc. nodu- leux.	Peu de fossi- les, localement facies coralligène.	Facies brècheforme à ma- tériaux triasiques.
Jurassique moyen. (Dogger.)	Calcaires et schistes fon- cés fossiles rares.	Calcaires et marnes à <i>Zoo- phygos scoparius</i> , <i>Am. Parkinsoni</i> , » <i>Humphreysi</i> , » <i>Murchisonæ</i> .	Couches à <i>Mytilus</i> , facies terrestre et littoral ; à la base brèche à maté- riaux triasiques.	
Jurassique inférieur. (Lias.)	Schistes toarciens à <i>Harpoceras</i> . Calcaire compact.	Schistes à Posidonomyes. Calcaire siliceux et echinoder- mique.	Manque localement. Manque localement.	Schistes à fucoides. Calcaire com- pact foncé.
Trias.	Rhétien lumachellique. (loc.) Calcaire dolomitique et cornieule. Schistes rouges et verts. Quartzite lité et arkose.	Marnes et calcaires lu- machelliques. Marnes rouges et verts. Calcaires dolomitiques et cornieule. Gypse et anhydrite. Lambeaux de quartzite.	Rhétien (loc.) Grands massifs de calcaire dolomitique et cornieule. Calc. noir à Gyroporelles. Dolomie grenue (Haupt dolomit.) Gypse.	Marne et cal- caire rhétiens (loc.) Calcaire dolomitique et cornieule. Gypse.
Permo-car- bonifère.	Permien (Sernifite). Carbonifère. (Poudingue et grès de Valorsine et schistes ardoisiers.)	Permien et carbonifère.	Contact anormal par dislocation. Flysch.	
—	Gneiss et schistes cristal- lins.			

brèche jurassique, est réellement superposée à la deuxième (zone des Préalpes) et au Flysch, mais à l'origine elle devait se trouver au sud de celle-là, problème qui sera examiné plus loin.

Le Flysch intermédiaire entre les Préalpes et les Hautes Alpes (zone de Niesen), ne forme, avec ce que j'appelle la *zone des cols*, en réalité qu'une seule zone, tout à fait comparable à la zone extérieure du Flysch avec ses intercalations calcaires.

Il y aurait long à dire sur la comparaison des facies de part et d'autre et si je voulais entreprendre ici cette tâche, ce serait reprendre nombre de faits déjà publiés et connus (voir n° 13, 14, 15, 16, 23, 53, etc.). Ce serait anticiper aussi sur les résultats qui doivent faire l'objectif principal des nouvelles recherches.

De tels contrastes, réunis sur un champ d'observation aussi étroit, montrent clairement que nous ne sommes pas là en présence d'une simple variation de facies explicable par une différence de profondeur dans un bassin de sédimentation. Tout montre, et cette opinion s'impose, que la différence constante du facies entre les sédiments des Préalpes et ceux des Hautes Alpes, pendant les périodes jurassique et crétacique a une *cause géographique*. Les bassins sédimentaires de part et d'autre paraissent avoir été séparés, ainsi que je l'écrivais déjà en 1883. (N° 13, p. 109, 110.)

La situation tectonique qui sera analysée plus loin, rend par contre inadmissible le rôle que j'attribuais alors à la zone des cols entre Leissigen et Samoëns, puisque les terrains liasiques et triasiques de cette ligne sont partout *superposés au Flysch* ou *enveloppés par ce terrain*.

Les terrains des Préalpes appartiennent au *facies méditerranéen* et offrent des caractères intermédiaires entre le facies austro-alpin et le facies provençal, ainsi que Gilliéron l'avait déjà relevé avec évidence; cette constatation a été faite aussi par Quereau.

Opinion de M. Haug. Si ce contraste peut au besoin, et en forçant les choses, s'expliquer en admettant, pour la région des Préalpes romandes, un bassin sédimentaire distinct à facies méditerranéen, un gésynclinal délimité par des géanticlinaux, comme le fait M. Haug, cette même explication ne peut s'appliquer individuellement à chacune des Klippes. Chaque lambeau à facies préalpin, les Giswyler Stöcke, le Rothspitz, le Stanserhorn, les Mythen, le Roggenstock, etc., etc., ainsi que les Annes et le mont Sullens en Savoie, sont dans le même cas vis-à-vis de

leur entourage à facies helvétique et devraient représenter ainsi des gésynclinaux bordés de géantyclinaux. De fait, M. Haug oppose cette interprétation à celle que j'ai donnée en 1893. Je ne puis m'expliquer le raisonnement absolument étrange de mon éminent confrère et ami.

Dans sa note, publiée en 1894 (n° 47), M. Haug admet, si j'ai bien compris, que les Préalpes occupent un gésynclinal, bordé de deux géantyclinaux, ayant existé pendant l'époque jurassique et crétacique. L'un des anticlinaux serait devenu le contact anormal du côté de la zone extérieure de Flysch et l'autre serait indiqué par le contact anormal des terrains des Préalpes sur le bord interne (zone des cols). S'il en est ainsi, il faut admettre qu'à l'époque de la formation du bathonien, il s'est formé, au beau milieu du gésynclinal préalpin, un géantyclinal, celui de la zone des *couches à Mytilus*, puisque ce facies de Dogger se développe le long d'une ligne, où des sédiments littoraux avec lits de charbons et restes de végétaux terrestres attestent l'existence, à l'époque bathonienne, de terres émergées avec abondante végétation. Ces îles étaient des rochers triasiques et liasiques.

En effet, dans toute cette zone, le Malm et le Dogger à *Mytilus* avec sa base bréchoïde, reposent en transgression sur le Lias et le Trias (dolomie et calcaire noir).

M. Haug ne s'étonne pas de cette complication; il confond même avec les couches à *Mytilus* le facies de la brèche de la Hornfluh et du Chablais, sans tenir compte que leur rencontre dans la même région est le fait de leur *superposition anormale*, situation résultant d'un phénomène tectonique bien postérieur à leur sédimentation. Je ne puis absolument pas me faire une idée de la connexité que se représente M. Haug, entre les klipptes et le géantyclinal, supposé par lui, entre le lac d'Annecy et le lac des Quatre-Cantons. Les klipptes des Annes et du mont Sullens et ceux de Schwytz et d'Unterwalden seraient ainsi des parties intégrantes des plis crétaciques qui les supportent! Ce serait des anticlinaux imbriqués surgissant au milieu des synclinaux crétaciques qui les entourent! Comment concilier cette superposition avec le fait bien visible de la *continuité des sédiments crétaciques* et du Flysch au-dessous des klipptes? Comment expliquer les blocs exotiques et les brèches à matériaux exotiques qui entourent les Klipptes? Comment expliquer, enfin, les facies tout à fait différents des klipptes et de leur substratum?

Si ce raisonnement a pu me paraître excusable en 1894 (n° 47), je ne puis comprendre comment M. Haug peut y revenir dans

sa récente note (n° 56), où la même argumentation se trouve reproduite. Cela est bien surprenant après que M. Haug a eu l'occasion de visiter plusieurs des klippes des Alpes d'Unterwald, qu'il a achevé une étude détaillée sur la klippe du Mont Sullens, où le passage de l'Urgonien sous les klippes est visible dans la vallée de la Clusaz, et après avoir traversé, sous ma conduite, toute la région des Préalpes, de Bulle jusqu'à Bex. Il faut avoir des idées bien arrêtées pour venir nous dire : « Tous les contacts anormaux ne sont que des plis exagérés, des éventails imbriqués, des plis en champignon perchés par surrection au-dessus du Flysch, après avoir percé celui-ci. » Passe encore pour les Préalpes dans leur ensemble, comme je l'ai dit ; mais faire passer toutes les klippes dans le « moule à champignons », comme le fait M. Haug, cela est tout simplement nier les faits observables ! Je fais volontiers abstraction de mes propres arguments, mais après l'étude si détaillée de M. Quereau sur les klippes d'Iberg, je ne saurais comment M. Haug veut appliquer sa théorie ? Et ce qui surprend le plus, c'est que M. Haug donne son interprétation non pas comme une supposition, comme une théorie, mais bien, en parlant du mont de Sullens, comme le résultat d'une étude très détaillée.

M. Haug dit aussi que le passage entre les couches des Préalpes et celles des Hautes Alpes s'observe sur quelques points. C'est là une affirmation à laquelle je puis opposer le *démenti le plus formel*. Ce qui fait justement l'individualité des Préalpes, individualité qui se répète aussi pour chaque klippe, c'est que précisément *la continuité entre les terrains des Préalpes et ceux de même âge des régions voisines ne s'observe nulle part !* De toute part, les terrains secondaires des Préalpes se terminent par leur tranche et reposent sur des couches plus récentes, sans aucune connexion avec les terrains de même âge des régions voisines. Il est donc d'autant moins possible qu'un passage des terrains ait été observé par M. Haug ! Cette affirmation de sa part est au moins extrêmement risquée ; elle est écartée d'emblée par la *Loi des Préalpes*, que M. Haug voudrait infirmer et *qui est restée jusqu'ici sans exception*. M. Charles Sarrasin (n° 41, p. 67, etc.), lui aussi, se rallie à l'argumentation de M. Haug — qu'il dit être de M. Kilian — et affirme que les facies des Préalpes et des Hautes Alpes, bien différents d'abord, se confondent petit à petit. C'est une constatation qui n'a jamais été faite et qu'il est impossible de faire.

Je considère donc toute l'argumentation de M. Haug comme

nullement contraire à mon hypothèse du charriage lointain des Préalpes. Je n'ai trouvé aucune objection de poids, aucune constatation contraire basée sur des observations et des faits concrets. M. Haug ne présente qu'un échafaudage de considérations absolument contraires aux faits visibles dans les Préalpes autant que dans les klippes.

Zones des Préalpes.

En allant du N. vers le S., à travers les Préalpes, on constate, ainsi que cela ressort de notre profil II, les zones suivantes de terrains secondaires. Ces zones sont à la fois des zones *stratigraphiques* et des zones *tectoniques* :

1. **Zone extérieure de Flysch.** Lambeaux ou bandes étroites de crétacique et de jurassique enveloppées dans du Flysch. On y observe les terrains mésozoïques suivants :

CRÉTACIQUE SUPÉRIEUR (probablement Sénonien-Cénomannien), calcaire schisteux *blanc et gris* et *localement rougeâtre*, remplis de foraminifères ; grands *Inoceramus*.

NÉOCOMIEN. Calcaire schisteux ou marneux et calcaire en bancs minces, gris ou blanchâtre. Nombreux ammonitides déroulés. Niveaux paléontologiques correspondant à l'Urgonien, au Hauterivien et au Valangien et reposant sur les couches de Berrias. Sans ressemblance avec la succession stratigraphique normale de ces étages dans les Hautes-Alpes et moins encore dans le Jura, cette succession représente toutefois une sorte de facies intermédiaire sur lequel nous reviendrons plus loin.

JURASSIQUE, *Malm* calcaire bien lité avec fossiles de la zone à *Am. bimamatus*. A la base facies grumeleux, rappelant les couches de Birmensdorf à *Am. transversarius*.

Oxfordien schisteux avec fossiles pyriteux (Montsalvens, près Broc) ; **Callovien**, calcaires hydrauliques (c. à ciment). **Bathonien** et **Bajocien** (zone à *Am. Humphriesi*) avec *Zoophycos*. Calcaires foncés.

Les terrains plus anciens ne sont connus dans cette zone que sous forme de klippes ou blocs exotiques.

2. **Zone des chaînes calcaires.**

a) **Zone Nord.** Quatre grands anticlinaux de Jurassique séparés par du Néocomien, des couches rouges et une faible épaisseur de Flysch. Le bord nord de cette zone repose, en commençant par le Trias, sur le Flysch de la zone extérieure.

CRÉTACIQUE SUPÉRIEUR. Calcaires et marnes rouges rarement flambés de vert, remplis de foraminifères. Nodules siliceux.

NÉOCOMIEN. Grande épaisseur de calcaires et marno-calcaires gris, en bancs minces à la base; localement marne noire à rognons de pyrite Céphalopodes méditerranéens.

JURASSIQUE. *Malm supérieur*. Calcaire tithonique; faune à *Am. acanthicus* sur le bord Nord indiquant le passage au jurassique de la zone précédente. Sur le bord interne, massif calcaire unique avec indices de facies coralligènes.

Malm inférieur. Calcaire noduleux et grumeleux avec la faune à *Am. transversarius*; décroissant en épaisseur du N. au S.

Bathonien et *Bajocien*. Calcaires et calcaires marneux schisteux à *Zoophycos*, souvent oolitiques. Zones paléontologiques ammonitifères :

Zone à *Am. Parkinsoni*.

» » *Humphiesi* (calcaire sableux).

» » *Murchisonae*.

LIAS. *Toarcien* schisteux bleu ou gris foncé à *Zoophycos* et fucoides. *Am. opalinus*, *Am. radians*, *Am. bifrons*.

Lias moyen et *inférieur*. Calcaire siliceux à rognons de silex, localement facies échinodermique (calcaire à Entroques, zone à *Aegoceras planicosta*).

Hettangien. Calcaires foncés, schisteux ou sableux.

TRIAS. *Rhétien*. Calcaires lumachelliques et schistes marneux à *Avicula contorta*.

Keuper. Marnes rouges et vertes, Dolomies et cornieules. gypse et anhydrite.

b) *Zone Sud*. Forme deux alignements de plis anticlinaux groupés de part et d'autre d'un synclinal médian comblé de Flysch. Le premier pli Nord est souvent chevauché sur le Flysch qui borde la zone précédente. La dernière arête Sud se superpose également, avec sa base triasique, sur le Flysch de la grande zone du Niesen. Les terrains mésozoïques de cette zone sont :

CRÉTACIQUE. Exclusivement représenté par le facies des *couches rouges*¹, offrant souvent trois assises :

¹ L'opinion exprimée par M. Quereau (n° 40, p. 85) de l'identité des couches rouges et des calcaires rouges tithoniques à *Aptychus* (*Aptychenkalke*) des Alpes orientales, me paraît inadmissible. A moins qu'on arrive à prouver que le facies des couches rouges a commencé à se for-

Couches rouges supérieures, flambées de gris ou vert.

Couches grises calcaires moyennes, ressemblant au Néocomien à Céphalopodes.

Couches rouges inférieures.

Toutes les assises sont remplies des mêmes Foraminifères, surtout les deux assises rouges. Les deux assises inférieures représentent peut-être le Néocomien ?

JURASSIQUE. *Malm*. Massif calcaire gris, foncé et fétide à la base. Localement facies coralligène tithonique à *Diceras*.

Dogger. Couches à *Mytilus* :

a) Calcaire marneux à *Myes* et *Mytilus*.

b) Calcaire et schistes à *Modiola imbricata* et *Cidaris*.

c) Marnes et schistes à fossiles triturés et *Ostrea costata*.

d) Grès, conglomérats et brèches à débris triasiques, reposant sur le calcaire triasique ou manquant. Alors l'un ou l'autre des niveaux à fossiles marins repose directement sur le Trias.

TRIAS Calcaires foncés à *Gyroporelles*. Dolomie grenue grise ou foncée en grande épaisseur; cornieules et gypse (anhydrite).

Avec cette zone s'arrête le développement normal des Préalpes. Mais dans le Chablais se trouve en grande extension et dans la région du Simmenthal, sous forme de lambeaux isolés, la formation de brèche calcaire de la Hornfluh et du Chablais.

3. **Zone centrale de Flysch**, formée de schistes et grès soulevés en grande épaisseur. Dans le Simmenthal, c'est sur ce Flysch que reposent les lambeaux de terrains secondaires appartenant à la région suivante :

4. **La région de la Brèche jurassique de la Hornfluh et du Chablais**, sur laquelle nous renseigne surtout, pour ce qui concerne le Chablais, le récent mémoire de M. Lugeon (n° 53). Ses assises sont toujours *superposées* sur le bord Sud de la zone précédente (au N.E. du Rhône). Elles cachent aussi très souvent le bord de cette zone, en venant reposer directement sur le Flysch du Niesen (Chablais). Ici les terrains se succèdent comme suit :

CRÉTACIQUE. Fait défaut sur la formation de la brèche. Sa

mer dans les Alpes orientales déjà à l'époque du Malm, comme dans la zone interne des chaînes calcaires des Préalpes (à couches à *Mytilus*). Il a succédé directement au malm. Cela ne justifierait toujours pas la classification dans la tithonique de nos couches rouges qui sont certainement crétaciques, vu leur superposition au Néocomien fossilifère.

présence a été indiquée d'abord par M. Lugeon dans le Chablais ; mais ce dernier a fini par en douter, en constatant que les lambeaux de couches rouges observés par lui ne sont que des lames intercalées dans le Flysch.

JURASSIQUE. *Calcaire-brèche*, à débris triasiques ; riche en bancs calcaires dans la partie supérieure (Malm), essentiellement bréchiforme à la base (Dogger). Une zone schisteuse intermédiaire représente peut-être l'oxfordien (Chablais).

Lias supérieur. En partie bréchiforme (?), en partie schisteux avec Fucoïdes.

Lias inférieur. Calcaire échinodermique noir, avec débris dolomitiques.

Trias. *Rhétien.* Schistes et lumachelle.

Keuper. Calcaires dolomitiques et cornieules, gypse et anhydrite.

5. La **Grande zone de Flysch du Niesen**, très étroite dans la région du Chablais, sépare les deux zones précédentes de la dernière zone à terrains secondaires appartenant aux Préalpes ; c'est la **zone des Cols** qui ne forme pas une région orographique proprement dite. Elle est constituée par une série d'affleurement de terrains secondaires resserrés entre les Hautes Alpes et le Flysch du Niesen ou enveloppés dans celui-ci. Sauf les lambeaux superposés au Flysch, tout y est contourné, broyé, laminé. On y trouve du Trias (gypse, anhydrite, dolomie), replié de mille manières avec du Lias, du Dogger, du Flysch, si bien que dans la plupart des cas, il est fort difficile de s'en faire une idée. Le faciès de ces terrains secondaires est généralement celui de la zone Nord des chaînes calcaires avec une forte affinité avec celui des lames de terrains mésozoïques de la zone extérieure de Flysch, ce qui est surtout attesté par la présence de Néocomien schisteux à céphalopodes et de Crétacique supérieur blanc, comme au Niremont. Je comprends dans cette zone les affleurements innombrables de Trias, Lias, Dogger, etc., que l'on suit de Frutigen, par Adelboden, Lauenen, jusqu'à la Lenk et Bex, ainsi que les paquets de couches contournées des rocs d'Ayerne et de Ripaille sur Champéry.

Aux yeux de M. Haug, la présence de ces terrains, surtout du Néocomien à céphalopodes, constituerait sans doute un argument de plus pour soutenir la symétrie en éventail composé qu'il entrevoit dans les Préalpes. J'y vois, au contraire, des lambeaux sans racine, sans connexion avec les autres chaînes de terrains

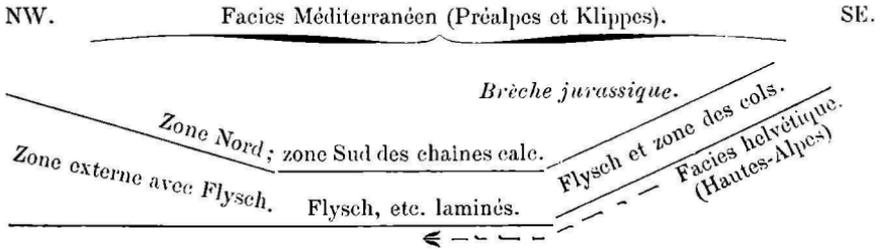
secondaires; ce sont des paquets de terrains restés en arrière, lorsque la nappe des Préalpes se déplaçait vers le Nord. Sous l'énorme poids de celle-ci et pendant le mouvement progressif vers le Nord, les lambeaux furent culbutés avec le Flysch et littéralement roulés avec celui-ci. De là leur situation si compliquée. Nous en reparlerons en examinant les arguments tectoniques.

Comparaison des terrains et situation ancienne.

Si nous comparons les terrains préalpins les plus voisins du bord Sud des Préalpes avec ceux des Hautes Alpes, nous voyons que le contraste est absolument frappant, ainsi que cela ressort des tableaux comparatifs que nous avons donnés plus haut. Mais si nous suivons les facies dans les Hautes Alpes vers l'intérieur, nous trouvons au contraire que les facies ont une légère tendance à se rapprocher de ceux des terrains de la zone extérieure (Gurnigel-Voirons). Il n'y a pas une bien grande différence entre le *Néocomien gris* qui atteint un si grand développement sur le versant Sud de la Dent du Midi et le facies du Néocomien à Céphalopodes de la zone des Voirons-Gurnigel. Si l'on considère encore la succession des niveaux paléontologiques du Néocomien de Montsalvens, on voit même qu'il y a plus qu'une certaine analogie de facies. En outre, dans le pli de Gagnerie, on voit s'intercaler, entre l'Urgonien rudimentaire, presque réduit à zéro et le calcaire nummulitique, une zone schisteuse rouge et verte extrêmement laminée qui contient, quoique entièrement écrasés, des foraminifères rappelant ceux des couches rouges des Préalpes. J'ai considéré cette zone schisteuse rouge comme remplaçant le crétacique supérieur (Sénonien, Cénomaniens, Gault et Aptien), qui ferait ainsi place, vers le Sud, à un facies schisteux analogue aux couches rouges des Préalpes (N° 16, p. 595).

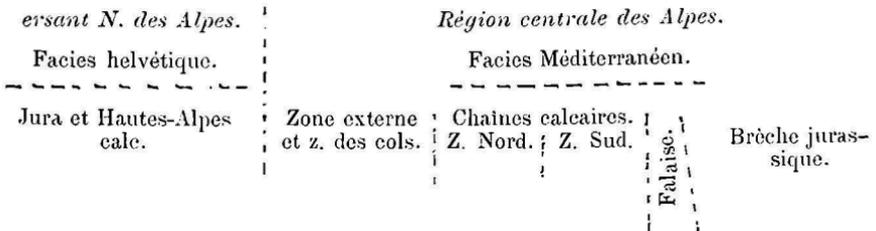
N'est-ce pas étrange de retrouver au *Sud* du facies helvétique un terrain rappelant les particularités du crétacique supérieur du bord *Nord* des Préalpes? N'est-ce pas une coïncidence bien curieuse de constater des indices d'analogie stratigraphique sur les bords opposés des deux régions, alors que, sur leur contact, règne le contraste le plus frappant! La difficulté tombe si, par la pensée, on transporte au S. des Hautes Alpes la nappe entière des Préalpes; car alors les bords homologues ne seront plus opposés, mais viendront se juxtaposer l'un à l'autre!

Cette constatation, qui m'avait déjà frappé il y a plus de dix ans, m'apparaît maintenant comme un argument de plus pour chercher au S. du facies helvétique (Hautes Alpes) le lieu d'origine de la nappe exotique des Préalpes. Actuellement, les zones énumérées se succèdent horizontalement comme suit, abstraction faite des terrains tertiaires (Flysch) :



Avant la grande dislocation qui a, selon moi, jeté la nappe préalpine sur le Flysch et le Miocène du bord N. des Alpes, cette masse sédimentaire se trouvait au S. du facies helvétique dans une région centrale, voire même méridionale des Alpes.

Cela peut se représenter par le schéma suivant qui se déduit facilement de la construction précédente :



Dans cette situation, le facies franchement méditerranéen des Préalpes et des Klippes n'a plus rien d'étrange. Il est situé au S. du facies helvétique ou de l'Europe centrale ; en cela, il y a concordance complète avec ce que l'on observe dans les Alpes orientales et méridionales.

Je ne saurais dire aujourd'hui, si la zone de contact sédimentaire entre le facies helvétique sur le versant N. et le facies méditerranéen de la zone centrale des Alpes a été marquée partout par un passage insensible, ainsi que cela paraîtrait résulter de l'observation citée plus haut — ou s'il y a eu localement des

séparations par des terres émergées; je penche plutôt vers la première hypothèse, en admettant des différences de profondeur. Ce qui est par contre absolument certain, c'est que *ce passage n'existe pas et n'a jamais existé sur la ligne de contact actuelle des deux régions*, qui formaient au moment de la sédimentation les bords *opposés* des deux régions.

La succession des facies dans les Préalpes conduit à une conception bien nette des conditions de profondeur qui ont présidé à la sédimentation dans cette région centrale des Alpes.

A l'époque jurassique, soit vers la fin de la formation du Dogger, le Jura était couvert de mer peu profonde (facies échinodermique). Vers la région des Alpes à facies helvétique, la mer n'était pas très profonde non plus. On y retrouve, entre autres, le facies à fossiles pyriteux de l'oxfordien franc-comtois; tandis que plus au S. apparaît le facies grumeleux rappelant les couches de Birmensdorf du Jura oriental. Dans la région d'origine des Préalpes du Stockhorn et du Chablais, la mer s'approfondit considérablement pour se relever rapidement à l'approche du facies littoral à *Mytilus*, occupant les bas-fonds autour d'une longue zone d'îlots triasiques, dont les débris ont alimenté la formation bréchiforme à la base des couches à *Mytilus*.

Tandis que sur leur versant N. ces îlots et isthmes, formés par les assises du calcaire triasique, offraient une pente sous-marine insensible hantée par d'innombrables mollusques, échinides, coraux, etc., le versant S. était sans doute une falaise se continuant par un abrupt sous-marin, siège de dislocations,, provoquant des éboulements continuels et alimentant ainsi la formation de la brèche du Chablais et de la Hornfluh.

J'ai des motifs très sérieux pour admettre que la brèche du Chablais et de la Hornfluh a été située jadis immédiatement au sud de la zone des îles bathoniennes et qu'elle n'a été jetée sur les Préalpes qu'après l'arrivée de celles-ci sur le bord des Alpes. En ce moment, la situation devait être la suivante :

Figure 1.



Après la sédimentation du Dogger, les dépôts uniformes du Malm ont peu à peu envahi les îles bathoniennes, d'où la superposition directe du Malm sur le Trias sur le bord sud d'une partie des Préalpes.

Au S. des îlots bathoniens, la désagrégation de la falaise ne s'est arrêtée qu'avec la fin de l'époque jurassique. La transgression des couches rouges crétaciques n'a cependant pas pénétré au delà de cette ligne, puisqu'on ne trouve pas ce terrain normalement superposé à la brèche jurassique.

La brèche crétacique à débris dolomitiques que j'ai constatée près de la Croix sur Vionnaz et que MM. Renevier et Lugeon ont remarquée encore sur d'autres points, indique peut-être la limite S. de la transgression crétacique.

A l'époque du crétacique moyen, la situation était bien changée. Le Jura et les Alpes, à facies helvétique, faisaient partie d'un fond de mer allant lentement en s'approfondissant. La limite entre le facies jurassien-helvétique et le facies méditerranéen était sans doute marquée par un pli monoclinale occasionnant une différence de profondeur entre les deux régions, d'où la différence de facies.

On voit que je suis loin des démonstrations de M. Haug. Même les arguments stratigraphiques qu'il m'a opposés et qui lui paraissaient très concluants, ne tiennent pas debout à la lumière d'un examen serré. Tout s'oppose d'ailleurs à leur application.

La provenance de la nappe des Préalpes d'une région centrale des Alpes, située au S. de la ligne des massifs cristallins du Mont Blanc-Aar-St Gothard est attestée encore par l'analogie du facies des terrains mésozoïques qui existent encore là. La zone sédimentaire intra-alpine du Briançonnais et les régions situées encore plus au S. offrent des terrains absolument analogues, quoique modifiés par le métamorphisme. Le métamorphisme dynamique a agi dans cette région centrale des Alpes bien plus que sur le bord, ensorte que les terrains restés en place en ont subi toute l'action, tandis que la nappe charriée vers le N. en est restée presque indemne.

Voici les terrains « préalpin » dont on a constaté jusqu'ici la présence dans la zone intra-alpine du Briançon ou plus au Sud (zones des schistes lustrés) :

Brèche éocène polygénique, analogue aux brèches du Flysch.

Brèche jurassique à débris triasiques analogues à la brèche du Chablais et de la Hornfluh.

Calcaire jurassique supérieur. Malm.

Dogger schisteux à *Zoophycos*.

Dogger d'un facies voisin des couches à *Mytilus*.

Schistes liasiques supérieurs.

Calcaire échinodermique du Lias, facies de Rossinière-Mont Arvel.

Calcaire siliceux liasique.

Rhétien.

Trias avec toutes les assises connues dans les Préalpes.

Permien et carbonifère identiques à ceux des Préalpes.

Le Néocomien à Céphalopodes et les couches rouges seuls n'ont pas encore été constatés avec certitude dans la région centrale des Alpes, mais ils sont bien connus sur le versant sud. Ce fait n'est pas d'ailleurs un argument négatif péremptoire contre l'idée de rechercher dans cette zone centrale des Alpes la place d'origine de la nappe des Préalpes et des klipptes; ce qui en restait peut avoir été détruit par l'érosion, à commencer par les couches les plus élevées (crétacique). Puis il se peut qu'une autre partie a été à tel point transformée par la compression, qu'on n'en a pas encore reconnu l'identité de ces terrains.

Sous ce rapport, les recherches stratigraphiques et pétrographiques dans cette zone centrale des Alpes promettent bien des découvertes intéressantes. A côté des travaux de Gerlach, nous ne possédons, pour la partie suisse, aucun renseignement sur cette région et naturellement aucune recherche dans le sens indiqué, à part quelques études faites dans la zone des schistes lustrés du Valais et des Grisons. La région française, par contre, sur laquelle nous pouvons seule nous baser, est très bien connue par les travaux de Bertrand, Termier, Kilian, Révil, etc.

B. Arguments tectoniques.

Les observations tectoniques qui militent en faveur de l'origine lointaine de la nappe des Préalpes sont innombrables; elles se résument toutes dans ce que j'ai appelé la *Loi des Préalpes*.

Zone extérieure de Flysch.

(Zone du Flysch Voirons-Gurnigel.)

Cette zone qui s'étend de l'Arve à la vallée de l'Aar, est placée en apparence en entier sur le plateau miocène; elle forme, en effet, un entassement de plis jetés sur les terrains miocènes, en-

tourant ou enveloppant des lambeaux de sédiments mésozoïques, surtout du Crétacique supérieur, du Néocomien et du Jurassique. Ces derniers forment d'étroites bandes intercalées en apparence dans le Flysch.

La vallée de l'Arve, celle du Rhône et les bords de la vallée de l'Aar offrent des profils très nets de cette zone qui montre là la particularité frappante d'un *amincissement vers la profondeur*. Loin d'offrir la forme normale d'un anticlinal simple ou multiple, les terrains de la zone des Voirons vont en se rétrécissant en profondeur ; ils ont la forme d'un coin enchâssé entre le Miocène du plateau suisse et les terrains triasiques de la zone nord des chaînes préalpines. Cette zone extérieure n'est d'ailleurs pas continue. Large de plusieurs kilomètres aux Voirons, elle manque, comme zone topographique, entre la colline de Langin qui est l'extrémité E. des Voirons et le chaînon des Playaux-Niremout. Au pied du Grammont et dans la vallée de la Drance sur Thonon, elle est réduite à une zone très étroite, resserrée entre le Trias et le Miocène. Chaque vallée transversale met à découvert *au-dessous* du Flysch les sédiments miocènes généralement discordants.

La présence des sédiments secondaires accompagnant cette zone de Flysch peut s'expliquer de deux manières. Ce sont, ou bien des anticlinaux écrasés, dans le genre de ceux des Playaux¹ et du mont Corbettes, ou bien ce sont des lambeaux de recouvrement plissés avec le Flysch et simulant de faux anticlinaux ; cela paraît être en particulier le cas des nombreuses klippes de la Berra, des lambeaux de cornieule et de gypse au pied de la Berra et du Gurnigel, ainsi que des affleurements jurassiques et crétaciques des Voirons. Pour ce dernier chaînon cette interprétation est nécessaire, si l'on veut que les Grès de ce chaînon soient de la mollasse et non du Flysch. Tout en constatant la grande ressemblance des Grès des Voirons avec le Miocène de la région voisine, je suis bien plus porté à considérer ce terrain comme Flysch, à cause de sa connexion directe avec les conglomérats du mont Vouant. Voirons et mont Vouant ne forment qu'un.

Aux Voirons, comme au mont Vouant, j'ai reconnu la présence

¹ Playaux, nom véritable du chaînon et du pâturage appelé sur les cartes topographiques *Pléiades*, par suite d'une orthographe par trop fantaisiste.

de blocs anguleux dans le poudingue, ce qui parle pertinemment en faveur de l'attribution de ce terrain au *facies du Flysch*.

Il y a d'ailleurs au pied de la grande paroi des Voirons des schistes contenant des fucoides dans le voisinage des affleurements calcaires. Que les conglomérats du Flysch passent à des Grès et que ces Grès *ressemblent* aux Grès miocènes, c'est un fait connu, qui ne justifie cependant en aucune manière l'assimilation de cette formation au Miocène. Le conglomérat des Voirons et du mont Vouant porte d'ailleurs de la manière la plus tranchée le facies des conglomérats du Flysch — débris peu roulés, souvent anguleux, roches *extrêmement dures, associées à des débris très tendres*, circonstance que l'on ne rencontre jamais chez les poudingues miocènes qui sont des formations de delta. Cette particularité sera relevée plus loin.

En somme, la *zone externe des Préalpes, formée essentiellement de Flysch, est une bande de Flysch plissé en forme de coin, devenant plus étroite en profondeur. Elle est formée d'une accumulation de Flysch envloppant des lames de terrains mésozoïques, le tout resserré entre la nappe des Préalpes et le Miocène du plateau.*

Avec cette constatation, tombe l'argument principal que M. Kilian a opposé à mon explication du charriage des Préalpes; il admettait la première zone en place, avec impossibilité d'en supposer le charriage lointain; en conséquence la nappe principale des Préalpes devait être aussi en place. On voit que cette argumentation n'a plus sa raison d'être.

Région des chaînes calcaires.

a) Zone nord (Stockhorn-Ganterist; Grammont-Môle).

Cette zone se compose ordinairement au moins de 4 anticlinaux formant topographiquement deux chaînes ou arêtes (la chaîne du Ganterist et celle du Vanil-Noir, dans la région du Stockhorn).

Ces quatre anticlinaux sont en général assez réguliers, presque semblables aux voûtes du Jura. On remarque toutefois un déjettement plus prononcé vers le N. Leur alignement est arqué du côté extérieur. Ils forment deux systèmes de courbure, un dans le groupe compris entre l'Aar et le Rhône, l'autre est propre au groupe du Chablais entre le Rhône et l'Arve. De part et d'autre du Rhône les plis paraissent aller en convergeant; ce qui

est en partie une apparence, en partie aussi le résultat de la résistance que le massif de poudingue miocène du mont Pèlerin doit avoir opposé à l'avancement des plis vers le N.W. Ceux-ci paraissent en effet s'être *moulés* autour de ce massif, comme le massif du Napf a arrêté les plis des Alpes d'Unterwald, au N.-E. du lac de Thoune, alors que les terrains du Stockhorn se sont avancés de plus de 10 km. au N.W.

Le contact de la zone calcaire N. avec la zone extérieure du *Flysch* est un des points des plus importants pour la connaissance des Préalpes.

Ce contact est toujours anormal. Du Môle au bord de la vallée de l'Arve, jusqu'au Bouveret, au bord du Léman, et de Montreux jusqu'à Spiez, on suit sans interruption cette ligne de contact entre les terrains secondaires de la zone N. des Préalpes et le *Flysch* de la zone extérieure; elle est marquée par la superposition, souvent presque concordante, du Trias sur le *Flysch*. Au contact se voient ordinairement des amas plus ou moins importants de gypse et de cornieule (dolomie triturée et décomposée).

Quelquefois ce contact est simple, c'est-à-dire que sur le *Flysch* suit normalement la série stratigraphique du Trias en amont, formant escarpement; alors on observe de haut en bas :

Couches rouges;
Néocomien;
Malm;
Dogger;
Lias;
Rhétien;
Trias et cornieules.

----- Plan de contact anormal.

Flysch.

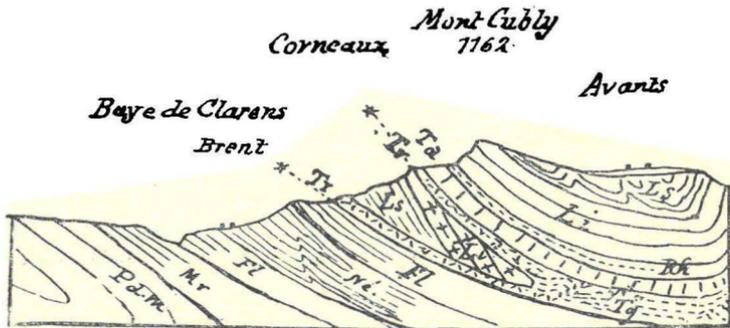
C'est le cas, p. ex., au Grammont et au Moléson. (Voir profil I et II).

Quelquefois, comme p. ex. au mont Cubli sur Montreux, il s'intercale entre le *Flysch* et la série normale des terrains secondaires un paquet de sédiments renversés, ordinairement du Lias, reposant sur du Trias; ce dernier est alors absolument broyé et trituré. On pourrait y voir l'indice d'un flanc d'anticlinal renversé ou d'un bord retroussé de la nappe de recouvrement :

Dogger
 Lias supérieur.
 Lias inférieur.
 Rhétien.
 Trias (cornieule et dolomie).
 ————— contact anormal.
 Lias inférieur.
 Lias supérieur.
 Trias cornieule (zone de trituration).
 ————— Contact anormal.
 Flysch.

Cette bande de terrains liasiques intercalée entre deux zones de Trias, en bonne partie triturée, va en s'amincissant vers la profondeur et finit en forme de coin, les deux bandes de trias allant se rejoindre. La présence de la bande inférieure de Trias montre que *ce n'est pas le flanc renversé d'un anticlinal frontal de la région des Préalpes*, mais tout simplement un paquet de terrains détachés et retroussé du bord de la nappe normale, ou, mieux dit, pincé entre celle-ci et le Flysch. Sinon la présence du Trias entre le Lias supérieur et le Flysch serait inexplicable. D'ailleurs ce Trias est réduit à l'état de cornieule avec quelques paquets de Gypse, le tout *broyé et trituré*. Voici la configuration que l'on observe au-dessus de Brent près Montreux.

(Fig. 2.)



Légende: Pdm. Poudingue miocène
 Mr. Mollasse rouge.
 Fl. Flysch.
 Né. Néocomien.
 Ls. Lias supérieur.
 Li. Lias inférieur.

Rh. Rhétien.	} Trias.
Td. Calcaire dolomitique.	
Tr. Cornieule.	
Tg. Gypse.	
*- - - - - Contact anormal.	

La nappe normale se prolongeait apparemment bien plus au N. et, pendant le mouvement, des paquets ou lames s'en sont détachés, en se renversant, pour être pincés sous la nappe de recouvrement. Ces paquets, la dolomie et les marnes liasiques surtout, ont contribué à la formation de la zone de trituration qui s'observe sous la nappe des Préalpes. Près des bains de Mont-Barry, il y a même sous le Lias du massif du Moléson, tout enveloppé de cornieule, un paquet de Crétacique supérieur rouge et blanc appartenant à un facies intermédiaire entre celui de la zone extérieure de Flysch et celui de la région calcaire.

On pourrait citer mille exemples de ce genre, prouvant péremptoirement le mouvement *vers le Nord* de la nappe des Préalpes.

C'est bien une nappe de recouvrement, venue en glissant sur son soubassement triasique, et non un pli couché, car, sauf de rares exceptions, la nappe de recouvrement repose toujours sur le Flysch *par sa couche la plus ancienne, le Trias* (rarement le permien ou le carbonifère). S'il s'agissait d'un pli couché, il y aurait lieu de trouver, presque constamment, entre la série normale et le soubassement de Flysch un flanc moyen laminé, ce qui n'est pas.

La ligne de contact entre le Flysch et le Trias offre, à chaque coupure transversale, des sinuosités très prononcées vers l'intérieur des Alpes.

Sur le bord de la vallée de l'Arve, on voit le contact entre le tertiaire et le Trias de la base du Môle se poursuivre sur plus de cinq kilomètres au S. de Bonneville et sur plus de dix kilomètres en arrière du bord N. des Préalpes. (Voir la petite carte.)

Sur les deux flancs de la coupure du Rhône, la ligne de contact s'infléchit vers le S.E., d'une manière si frappante, que la situation de la nappe en position anormale sur le Flysch ne saurait être plus nette !

Entre le col du Mont Bénit sur Boège et le Mont Porchet, on voit le Flysch s'introduire très nettement sous le Trias du Mont Porchet. Dans la vallée de la Dranse, la superposition du Gypse triasique au Flysch est des plus nettes.

Au Bouveret, à 10 kilomètres en arrière du bord des Préalpes, le troisième anticlinal de la zone des chaînes calcaires N. (pied N. du Grainmont) repose par sa base triasique sur le Flysch et la mollasse rouge (Oligocène), ainsi que le montre notre profil I.

La rive opposée permet de suivre le contact du Flysch et du

Trias qui lui est superposé, dès le col de l'Alliaz, jusqu'à Montreux, à plus de 5 kilomètres en arrière du bord. Je renvoie pour ce point important au panorama et aux coupes géologiques qui accompagnent ma notice sur les environs de Montreux (N° 32).

La *vallée transversale de la Sarine*, entre Gruyère et Bulle, offre, outre le lambeau de crétacique de Mont-Barry, nombre d'autres preuves de la continuation, en arrière du bord des Préalpes, de cette superposition anormale des couches secondaires sur le Flysch. Entre Mont-Barry et le Paquier, on voit le Flysch de la colline de la Siaz s'introduire sous le Trias du massif du Moléson. Mais c'est surtout aux environs de Broc que la situation est intéressante. Le Flysch de la Berra passe ostensiblement sous le massif calcaire du Montsalvens (lame jurassique et crétacique intercalée dans le Flysch de la zone extérieure) et vient se souder à Broc avec une étroite bande de Flysch qui se glisse entre le jurassique de Montsalvens et le Trias de la chaîne de la Dent de Broc (continuation du Moléson). Sur ce point, *toute la masse plissée de Montsalvens semble reposer sur le Flysch*, et si l'on reconstitue le Flysch disparu, c'est en tout cas une lame plissée de jurassique et de crétacique entourée de toutes parts de Flysch, une klippe sans racine en profondeur. La présence du Flysch typique au Pont de Broc et au Pont de Bataille, de même que l'apparition, déjà indiquée sur la carte de Gilliéron, d'un petit pointement de Flysch au milieu du glaciaire au pied N. du rocher liasique de Gruyère, prouvent péremptoirement que toute la lame secondaire de Montsalvens repose sur le Flysch sans contact en profondeur avec des terrains de même âge.

Il en est naturellement de même des paquets de terrains secondaires occupant le milieu de la large vallée de la Sarine, entre Epagny, Broc, Bulle et la Tour de Trême. Il y a là des schistes toarciens à *Posidonomya Bronni*, des schistes à *Harpoceras opalinum* et *radians*, des calcaires gréseux du Bajocien à *Stephanoceras Humphiesi* et à *Zoophycos*, des calcaires marneux à *Am. transversarius* et des récifs de Malm calcaire dans un désordre complet et sans régularité dans leur plongement et leur direction; le tout est interrompu, çà et là, par du Flysch! Nul doute que c'est la base de la lame de Montsalvens-La Chevasse reposant, ici comme là, librement sur le Flysch. — Après enlèvement de la couverture de Flysch qui allait de la Berra jusqu'au Niremout et à la colline de la Siaz, il ne reste plus aujourd'hui que ce dédale de lambeaux disséminés.

Les vallées parcourues par les deux bras de la *Singine froide* (Kalte Sense) offrent le même phénomène d'une manière ou ne peut plus nette. De part et d'autre de la Muscheren Sense, le Höhmättli et le Hundsbühl, deux tronçons de la zone tectonique du Moléson-Dent de Broc, reposent librement sur le Flysch qui se poursuit encore en amont du Hundsbühl. Dans la vallée de la Hengst-Sense, la situation est encore plus explicite. Le Flysch se retrouve, *sous le Trias*, près de Grenchen, *au centre de l'anticlinal des Wannels*, jusque près du sommet du col. C'est donc un *faux-anticlinal*, formé par la substructure éocène, au centre de la voûte que dessine ici la nappe de recouvrement.

C'est à l'approche de la vallée de l'Aar et sur les *bords du lac de Thoune* que la situation devient surtout intéressante, car c'est la contre-partie de ce qui s'observe sur le bord de la vallée de l'Arve et du Giffre. Malheureusement, les terrains glaciaires ne laissent pas percer beaucoup d'affleurements de terrains plus anciens. Il est visible que le Flysch de Blumenstein s'introduit sous le Trias du Wirtneren. Mais la masse de Flysch, encore énorme au Gurnigel (4 km. d'épaisseur horizontale) s'amincit d'une manière subite, et déjà près d'Üebeschi, la mollasse marine se trouve à moins de 1 km. 500 de distance de l'alignement de la zone liasique et triasique du Zwieselberg. Cette zone triasique, qui n'est autre chose que le soubassement du Wirtneren (prolongement du Trias du Moléson-Dent de Broc) passe de la direction E.-N.E. qu'elle a au Wirtneren à la direction E.-S.E. Puis elle passe en ligne presque droite, devant les divers plis de la zone nord des Préalpes (Stockhorn-Ganterist), sans suivre les ondulations de ceux-ci, pour aboutir à Ghei, au bord du lac de Thoune, où affleure encore le gypse.

Entre Spiez et Leissigen, on voit le long des rives du lac et sur l'arête qui sépare le lac de Thoune de la vallée du Suldbach, de très beaux affleurements de calcaire dolomitique, de gypse, et localement du Lias. A part celui de Spiez, qui correspond au soubassement du Stockhorn, les autres affleurements appartiennent au Trias de la zone calcaire sud et de la zone des cols. Il en sera question plus loin.

Il faut toutefois relever ici ce fait frappant, que nous retrouverons à Bex, de la présence constante, au milieu de ces formations triasiques, d'intercalations de Flysch, sans interposition de terrains liasiques ou jurassiques entre le tertiaire et le Trias.

Orographiquement, ces affleurements triasiques semblent se mouler autour de la masse du *Flysch du Niesen*, en s'y super-

posant, bien plutôt qu'ils ne surgissent au-dessous du Flysch. En comparant cette situation à celle de la *vallée de l'Arve* et du *Giffre*, on constate une analogie complète. Sous le Trias de *Krattigen*, comme sous celui de *Bex*, de *Treveneusaz* et de *Samöens*, on voit surgir invariablement du *Flysch* !

Le Flysch de la zone extérieure, soit des Voirons, soit du Gurnigel, se continue invariablement sous la masse totale des Préalpes. Ainsi, *le contact anormal qui se poursuit sans interruption sur le front N. O. des Préalpes*, du Môle à Blumenstein, *se continue aussi latéralement*, sur la ligne du lac de Thoune et le long de la vallée de l'Arve et du Giffre. De part et d'autre de ces deux vallées, nous trouvons la même situation. Au N. E. du lac de Thoune, les plis des Hautes Alpes s'enfoncent bien positivement sous la nappe du lac, donc sous les Préalpes. La ligne du lac de Thoune correspond à ce contact anormal qui devait se continuer de Blumenstein à Leissigen.

En comparant la situation du Flysch du Gurnigel et de celui du Niesen, on voit que ces deux zones vont en convergeant et tendent chacune à se lier à la zone de la vallée de Habkeren. Le Flysch de cette dernière zone résulterait donc de la fusion des deux autres.

Le long de la *vallée de l'Arve*, le contact est encore plus net et clair. Le substratum des Préalpes est partout le Flysch. Le Flysch qui enveloppe le pli de Cluses à Facies helvétique supporte de nombreux lambeaux de Trias appartenant aux Préalpes et attestant une ancienne extension de cette nappe au S. W. de la vallée du Giffre. Les autres plis, à facies helvétique, s'enfoncent entre Bonneville et Cluses très ostensiblement vers le N. E. soit *sous la nappe des Préalpes*.

Ces constatations nous montrent donc la masse des Préalpes sous forme d'une nappe de terrains sédimentaires plissés *reposant, sur trois côtés de leur pourtour, anormalement sur le Flysch*. *Les régions plissées qui se placent en apparence sur leur prolongement*, soit les Alpes d'Annecy et les Alpes d'Unterwald, *en sont absolument indépendantes ; leurs plis, enveloppés de Flysch, se rejoignent probablement en passant sous les Préalpes*.

L'analyse de la tectonique de l'intérieur des Préalpes n'a guère d'importance pour le problème qui nous occupe. Ce sont des voûtes souvent régulières, quelquefois déjetées ou même chevauchées, surtout vis-à-vis du massif de poudingue miocène

du mont Pèlerin-Vuarat, qui a produit sans doute le rebroussement des plis sur le parcours de la vallée du Léman-Rhône.

Les anticlinaux ne correspondent pas toujours aux arêtes culminantes des chaînes, mais les lignes d'arête sont souvent formées par des synclinaux écrasés. Les mêmes plis peuvent se poursuivre souvent sans interruption dès la vallée de l'Aar jusqu'au lac Léman, où ils se lient virtuellement à ceux de la région du Chablais, si bien que la continuité de quelques-unes, jusqu'à l'Arve, ne peut pas être mise en doute.

b) Zone Süd (Facies du Dogger à *Mytilus*).

Cette zone est caractérisée par le facies *des couches à Mytilus*; elle est séparée de la zone précédente par une bande souvent assez large de Flysch contenant un conglomérat, vrai poudingue à cailloux roulés, que Studer avait nommé *Mocausagestein*.

Au point de vue tectonique, cette région offre plusieurs replis, tant réguliers qu'anormaux. Comme pour la zone précédente, les axes de ces replis sont très continus à travers toute la région, soit au N. E., soit au S. W. du Rhône.

Dans leur ensemble, les plis de cette zone se divisent en deux rangs: le rang N. W., qui comprend la chaîne des Gastlose, allant de la Simmenfluh aux Tours d'Aï et du Mont Chauffé (vallée de Vernaz) à la Pointe d'Orchez, entre la vallée du Giffre et de l'Arve.

Le déjettement des anticlinaux est continuellement dirigé au N. W., soit parce que l'anticlinal est un pli aigu, à flanc isoclinaux, soit parce que l'effet de refoulement a fait naître des chevauchements comme ceux de l'arête des Gastlose. Dans ce cas, le chevauchement a toujours joué dans la direction du N. W. Une seconde zone des plis offrant le facies du Dogger à *Mytilus*, se montre au S. E. de la zone de Flysch du Hundsrück, c'est la zone comprenant les Spielgärten, le groupe du Rubli et de la Gummfluh, auxquels correspond en Chablais l'arête de Trevenusaz, laquelle se perd à Morgins entièrement sous la masse chevauchée de la Brèche du Chablais, pour ne plus se montrer plus au S. W.

Dans la région au N. E. du Rhône, ces deux rangées de plis sont séparées par une zone considérable de Flysch, schistes et grès grossiers, en épaisseur énorme constituant le Rhodomont et le Hundsrück. Cette zone de Flysch, que j'ai nommée zone centrale de Flysch, se poursuit de Boltigen à Erlenbach, dans

toute la longueur du Bas-Simmenthal ; elle a pour continuation en Chablais la zone de Recon-Le Biot-Mieussy.

Si dans la rangée N. de plis de la zone S. des Préalpes, le déjettement est dirigé au N. W., dans les plis de la rangée S., les plis et accidents tectoniques semblent dirigés au S. E., ensorte que la zone intermédiaire de Flysch occupe un vrai fond de bateau, un grand synclinal. (Voir le profil 2.) Ce déjettement vers le S n'est cependant qu'une apparence, vu que la dernière chaîne de cette zone constitue en même temps le bord méridional de la nappe proprement dite des Préalpes *reposant sur le Flysch du Niesen* qui s'élève, au Sud de ce contact, à une grande hauteur.

Comme dans la chaîne des Gastlose, il y a là aussi des chevauchements et des plis-failles. La région des Spielgärten, par ex., recèle des écailles multiples de Malm, tout à fait semblables à celles des Gastlose ; seulement ici le recouvrement *paraît* avoir joué du N. vers le S. Cela s'expliquera facilement lorsque nous aurons soumis le bord S. de la zone des chaînes calcaires à un examen détaillé.

Lorsqu'on poursuit la série stratigraphique dans cette zone, en allant du N. W. vers le S. E., on constate la transgression évidente du Bathonien (avec le Malm et le Crétacique) sur le Lias et le Trias. Dans la chaîne des Gastlose, comme dans la vallée de la Vernaz sur Vouvry, les couches à *Mytilus* reposent sur une grande épaisseur de toarcien schisteux ; plus au S., le Lias se réduit et les couches à *Mytilus*, même le Malm, viennent reposer sur le calcaire du Trias (Treveneusaz). Ce dernier, par son facies (calcaire noir à Gyroporelles, Dolomie grenue, etc.), contraste, par son immense épaisseur, avec le Trias des chaînes situées plus au N.

C'est par cette épaisse corniche du calcaire triasique que se termine invariablement au S. E. la zone moyenne des Préalpes, partout où son bord S. E. est visible. Mais le fait le plus important à retenir c'est que *ce massif triasique repose lui-même toujours sur le Flysch de la zone du Niesen!*

On suit cette corniche triasique sans interruption depuis Wimmis par le Schwarzenberg, le Twirienhorn, le Rothhorn (au S. des Spielgärten), l'Amselgrat (au pied de la Hornfluh), l'arête du Rubli jusqu'au Mont-d'Or qui n'en est qu'une partie détachée et rejetée sur le Flysch. Dans la vallée de la Grande-Eau, elle reprend, toujours en contact avec du Flysch (roches du

bois de la Chenaux), pour se rallier visiblement par le roc de St-Triphon à la corniche triasique de Treveneusaz, qui est la contre-partie de la Gummfluh.

A Treveneusaz, le Trias repose directement sur la mollasse rouge qui paraît être la continuation de celle de Bouveret-Saint-Gingolphe (voir profil I).

Au S. W. de Morgins, le bord de cette corniche est caché par la nappe superposée de la Brèche du Chablais. Elle ne reparait plus, car le pli de la pointe d'Orchez, le dernier du bord sud des Préalpes, fait partie de la rangée située au N. de la zone centrale du Flysch et s'enfonce bientôt sous la Brèche. C'est donc *sous la nappe superposée de la Brèche du Chablais que doit exister la continuation de notre corniche triasique.*

Cette corniche est en réalité la limite S. de la nappe calcaire des Préalpes; c'est avec elle que s'arrête la nappe proprement dite des terrains secondaires constituant la masse principale des Préalpes. En effet, à Wimmis, où commence cette ligne de contact anormal, nous venons de quitter auparavant le contact anormal du bord N. W. et N. E. de la zone N.; si nous pouvions suivre cette ligne au S. W. de Treveneusaz, au-dessous de la nappe superposée de la Brèche du Chablais, elle nous conduirait directement sur le bord de la vallée du Giffre où nous nous étions arrêté en suivant vers le S. W., le contact anormal de la zone extérieure. La conclusion qui s'impose après cette constatation est que *les chaînes calcaires des Préalpes forment ensemble une nappe qui repose sur tout son pourtour sur le Flysch.* Ce dernier forme deux zones qui paraissent se joindre en profondeur et entourent, comme le contact anormal, de toutes parts, cette région calcaire. *Celle-ci est donc comme posée sur une assiette de Flysch;* y a-t-il encore lieu de douter de sa position libre, sans racine en profondeur, si l'on examine la partie *observable* de la coupe représentée dans le profil fig. 1 entre le lac Léman et Treveneusaz?

La région du Flysch du Niesen et la zone des cols.

Au point de vue tectonique, ces deux régions ne forment qu'un, comme les affleurements secondaires de la zone du Gurnigel-Voirons ne peuvent pas être séparés du Flysch constituant cette région.

Le Flysch du Niesen rappelle à plus d'un point de vue celui

de la zone extérieure, soit par son facies, ce qui sera relevé plus loin, soit par son apparition subite en grande épaisseur et surtout par ses replis en lacets fantastiques *enveloppant des lames de terrains secondaires*, dans des situations très compliquées (voir profil II).

Ce Flysch acquiert une grande épaisseur entre la vallée de la Kander et les Ormons, mais se réduit considérablement au S. W. du Rhône, où la grande masse de recouvrement de la Brèche du Chablais en tient lieu topographiquement. Toutefois, ce Flysch existe là sous forme de grès et conglomérats fins comme au Niesen et au Gurnigel, mais il est presque constamment caché par la nappe de Brèche, et partant, il doit avoir une plus faible épaisseur que de l'autre côté du Rhône.

La région la plus intéressante est la zone des cols. Entre le Flysch du Niesen, empiétant autant sur celui-ci et sur les plis en lacets couchés et entassés de la zone des Hautes Alpes à facies helvétique, se trouve une zone absolument étrange qui se poursuit sous forme d'une bande, de largeur variable, du lac de Thoune jusqu'au col de la Golèze. Cette région est caractérisée par un véritable dédale de couches triasiques, jurassiques et localement crétaciques superposés au Flysch, ou laminées et broyées dans celui-ci, alternant même souvent avec ce terrain. Cette zone est surtout bien représentée entre le Rhône et le lac de Thoune, où les lambeaux sédimentaires atteignent, localement même, une très grande extension; du côté du Chablais, par contre, son rôle est bien réduit.

J'ai déjà relevé la situation extrêmement compliquée des affleurements triasiques sur la rive S. W. du lac de Thoune, où, à trois endroits, entre Leissigen et Spiez, le Trias est interrompu par du Flysch. Ce Flysch paraît appartenir au substratum du Trias et former au milieu de celui-ci des *faux anticlinaux*, car on ne voit nulle part, entre le Trias et le Flysch, des couches intermédiaires, soit jurassiques, soit crétaciques. Uniquement au S E, à l'approche des plis du Morgenberghorn, au Gubbenholz sur Leissigen, on voit s'intercaler, entre le Gypse et le Flysch, une lame de calcaire gris et blanc-rosé rempli de foraminifères. C'est le *Crétacique supérieur* absolument semblable à celui des lames calcaires de la zone Gurnigel-Voirons. Un affleurement identique a été constaté par moi sur la nouvelle route allant des bains de Leissigen à Krattigen; tout près de là se trouve, au bord de la voie ferrée, un paquet de calcaires schisteux gris identiques au *Néocomien*

à *Céphalopodes* des Playaux. J'y ai trouvé deux Ammonites, dont l'une a les ornements du *Phylloceras Thetis*, espèce fréquente dans les environs de Châtel-St-Denis.

Voici donc une ressemblance bien frappante. Intercalés au milieu du Gypse du bord du lac de Thoune, on trouve, associés au Flysch des terrains rappelant, à s'y méprendre, le facies des sédiments secondaires de la zone du Gurnigel-Voirons! Cette ressemblance existe non seulement entre les terrains néocomiens de part et d'autre, mais on aura compris que le Crétacique supérieur, blanc, rosé, gris-clair est le même que celui du Niremont et non celui des chaînes calcaires des Préalpes, lequel se reconnaît à sa couleur rouge vif.

Mais ce n'est pas tout.

En suivant la zone des cols, on trouve là les terrains les plus variés : Malm, Oxfordien, Dogger, Lias et Trias, qui ne rappellent guère les facies de la zone précédente des Préalpes, mais ont infiniment plus de rapports avec les sédiments secondaires de la *zone extérieure*, celle des Voirons-Gurnigel. Au col du Pillon, à Aigremont et à Bex, j'ai trouvé des schistes à *Posidonomyes* en contact avec le Trias et le Flysch, identiques à ceux qui se voient au contact du Gypse dans la carrière de Pringy près Gruyère; c'est du Toarcien qui n'existe pas avec ce facies dans les zones intermédiaires.

On connaît la présence d'une énorme lame de Néocomien à céphalopodes identique à celui du Niremont, qui se poursuit entre le Gypse et le Nummulitique de Bex le long de l'Avançon jusqu'à Solalex. Il a été décrit par M. Renevier et forme même un lambeau de recouvrement manifeste (Bovonnaz).

Au *Val d'Iliez*, la même coïncidence se répète. Le Dogger, le Malm, le Néocomien schisteux et le Crétacique supérieur des écaillés d'Ayerne et de Ripaille, sont les mêmes que ceux de la zone Gurnigel-Voirons. Ajoutons encore que la présence d'une couche à *Gryphæa arcuata* à Bex et au col de Morgins, établit une connexion non moins probante entre cette zone et celle de la Berra, où Gilliéron cite ce même fossile dans le calcaire d'une klippe.

Tectoniquement, les lambeaux secondaires de la zone des cols sont tous des « klippes », des lames resserrées entre le Flysch du Niesen et les plis des Hautes Alpes à facies helvétique ou même intercalés dans le premier. Cela est notamment le cas de la lame du Chamossaire que l'on suit sur le flanc N de la vallée

des Ormonts sur plus de 5 kilomètres, *intercalée dans le Flysch* de la chaîne de Chaussy (profil II).

Dans toute cette région il ne règne aucun ordre; aucune loi tectonique ne se laisse déduire de ce dédale inextricable, si ce n'est que tous ces lambeaux de terrains secondaires reposent sur le Flysch ou dans celui-ci, sans connexion avec des roches profondes de même âge, et que les plis des Hautes Alpes à facies helvétique s'enfoncent au-dessous.

Les complications décrites par M. Lugeon aux Rocs d'Ayerne, de Savonnaz et de Ripaille (val d'Illicz) ne donnent même qu'une faible image du dédale qui règne dans cette zone et qui paraît atteindre son comble dans les *environs de Bex*, entre l'Avançon et les Ormonts (voir n° 45, profil 3, pl. X).

En somme, que signifie cette zone aux complications extrêmes, ayant un facies stratigraphique si ressemblant avec la première zone préalpine, celle du Gurnigel-Voirons? La réponse la voici:

Aux environs de Bex se montrent, comme au lac de Thoune, des affleurements de Flysch formant de faux anticlinaux dans le Trias (à Antagne, sous Fenalet, etc.). J'ai donc des raisons pour croire tous ces lambeaux de terrains secondaires, y compris ceux du val d'Illicz, sans aucune racine en profondeur; la carte de Ischer montre clairement ce fait aux environs de la Lenk et ailleurs. Ces lambeaux n'ont aucune connexion stratigraphique, ni tectonique, avec la zone des chaînes calcaires des Préalpes. Le même Flysch qui supporte celles-ci supporte et enveloppe aussi les lambeaux de la zone des cols.

La ressemblance avec la zone externe des Préalpes s'explique si l'on admet *que ces lambeaux ne sont que des lambeaux et des paquets de terrains restés en arrière et empâtés dans le Flysch, alors que l'écaille des Voirons-Gurnigel était charriée vers le N poussée par les écailles suivantes*¹. Toute la masse des Préalpes, c'est-à-dire les trois zones décrites, plus la masse superposée de Brèche, ont dû passer sur cette bande de sédiments restés en arrière; cela explique la complication extrême, la lamination des couches, les replis sans ordre, ni direction constante dans le plongement et les contournements ressemblant parfois à ceux d'un papier froissé et chiffonné (Bex).

¹ J'ai déjà figuré en 1891 une supposition analogue dans un profil théorique (N° 24, fig. 1, pl. V); cette interprétation que je n'avais cependant pas abandonnée, n'est pas répétée dans n° 45, pl. X, fig. 1.

L'arrêt de ces lambeaux innombrables sur la zone des cols s'explique facilement, car c'est là que la nappe charriée des Préalpes a dû faire son « grand plongeon » en aboutissant sur une surface moins inclinée, où était, au surplus, accumulée une immense épaisseur de Flysch. Une partie de celui-ci, avec le bord de la nappe de charriage, a été poussée en avant sur le Miocène et est venue constituer la zone si irrégulière en épaisseur des Voirons-Gurnigel. D'autres parties sont restées en arrière, empâtées, roulées et laminées avec le Flysch de la zone interne (Niesen). L'épaisseur de ce dernier s'explique en bonne partie par des replis et des dédoublements, comme, par exemple, aux Ormons. Une traînée de lambeaux, ayant le faciès des terrains mésozoïque de la zone des Voirons Gurnigel, doit marquer la *surface de glissement* entre les deux bords N et S de la nappe des Préalpes. Le lambeau de Crétacique supérieur du Mont-Barry en est un exemple.

Une autre coïncidence qui appuie bien ce mécanisme est précisément le fait de la différence d'âge des terrains qui composent les lambeaux secondaires de ces deux zones. La zone des cols offre *surtout* les assises du Trias au Dogger et rarement du Crétacique : en effet, c'est *par sa base* que la nappe a dû abandonner ces lambeaux, au moment de son arrivée sur le bord des Alpes, en buttant contre l'accumulation de Flysch. Le reste, soit les couches supérieures, du Malm au Crétacique supérieur, ontseules continué le voyage vers le N, enveloppées dans le Flysch pour constituer, avec le Flysch, la zone extérieure des Voirons-Gurnigel.

Nous voici arrivé au bout de l'analyse tectonique des Préalpes proprement dites ; je suis resté dans les généralités et ne me suis servi que des arguments les plus sûrs et les plus faciles à constater.

Les travaux et études futurs révéleront encore d'autres preuves, qui toutes concourront, je n'ai nul doute, à démontrer encore mieux la réalité des faits que j'ai avancés.

Il nous reste, pour compléter la démonstration, à examiner encore la situation de la Brèche jurassique.

La région de la Brèche de la Hornfluh et du Chablais.

Si l'on peut parler au point de vue tectonique d'une région de la *Brèche du Chablais*, où ce terrain occupe, en une seule masse, une étendue mesurant près de 30 kilomètres de longueur sur une largeur de plus de 12 kilomètres, il n'en est pas de même

dans la région au N.E. du Rhône, où la brèche équivalente de la Hornfluh ne présente qu'une série de lambeaux disséminés et situés dans des positions fort compliquées. Il n'en est pas moins certain que les lambeaux de brèche jurassique de la région de la Hornfluh formaient primitivement une seule masse, une seule nappe superposée à la zone interne des chaînes calcaires ou sur le Flysch de la zone du Niesen ; il est en outre fort probable que cette nappe de la Hornfluh ne formait qu'un avec celle du Chablais, au moment de son arrivée sur le bord des Alpes.

La situation anormale des lambeaux de brèche dans les Préalpes au N.E. du Rhône est aussi évidente, plus évidente même que celle de la masse de brèche en Chablais. C'est le mérite de M. Lugeon d'avoir montré par de patientes recherches et ensuite d'un travail cartographique détaillé que cette brèche est vraiment jurassique et qu'elle paraît se déverser de toute part sur le Flysch, d'où il avait conclu primitivement à un pli en champignon, anticlinal ovalaire à déversement périphérique.

Commençant ses études en venant du côté du S.W., il devait conclure ainsi, malgré la richesse et la multiplicité de ses observations. J'avais, de mon côté, toujours vu la brèche de la Hornfluh *superposée au Flysch et au crétacique rouge*, et j'avais pour ce motif classé ce terrain, pendant longtemps, dans le tertiaire. Sur le bord N.E. de la région du Chablais, la Brèche repose aussi très visiblement sur le Flysch, sans aucune apparence de pli déversé ou couché ; je dus donc conclure de même aussi pour cette région ; d'autant plus que cette masse occupe là une position qui rappelle, au point de vue topographique, la situation en forme de bateau du Flysch du Niesen ¹.

On a vu qu'il a suffi d'un instant de réflexion après que je me fus convaincu de l'âge jurassique de ce terrain pour m'assurer de sa position anormale, en recouvrement, sur les terrains tertiaires qui s'enfoncent au-dessous. Cela m'était d'autant plus facile que les lambeaux de brèche de la Hornfluh sont dans des positions telles que l'on ne peut, *en aucun cas*, songer à y voir des plis en champignon.

¹ Cette circonstance tectonique, jointe à la structure bréchiforme, avait déjà suggéré à Studer la pensée que la brèche du Chablais devait être un équivalent du Flysch du Niesen. Ce raisonnement ne peut pas être incriminé, d'autant moins que la seule chose qui est étonnante chez cette formation bréchiforme, c'est l'absence de roches cristallines, comme celles de la brèche du Flysch des Ormonts.

Il est certain pour moi que *la Brèche du Chablais repose partout avec son soubassement triasique* (localement de Permien ou de Carbonifère) sur le Flysch et sur les replis des Préalpes de la zone des chaînes calcaires. Elle cache, en particulier, le bord interne de cette nappe, entre le col de Morgins et le Giffre.

La disposition actuelle repliée et contournée sur ses bords est en bonne partie le résultat de plissements subséquents à son arrivée sur le bord des Alpes et au-dessus des Préalpes.

Les lambeaux les plus rapprochés de Brèche de la Hornfluh sont distants du bord N.E. de la nappe de Brèche du Chablais de près de 30 kilomètres. C'est entre le **Rubli** et la **Gummfluh**, dans un synclinal des plus manifestes, que se montre une première bande de calcaire-brèche. Il forme la pointe de la Videman et repose sur des calcaires cristallins et ceux-ci sur des Schistes à *Bactryllium striolatum* appartenant au Rhétien. Celui-ci est séparé des couches rouges crétaciques, adossées contre le Malm de la Gummfluh, par un massif de calcaire dolomitique et de la cornieule. La surface du crétacique au contact de la cornieule paraît avoir été le siège de glissements très énergiques. (Voir Profil II.)

Cette bande de brèche se lie à celle du massif de la Hornfluh, où elle forme, sur la nappe normale des Préalpes, et séparée de celle-ci par du Flysch et des couches rouges, une véritable calotte dont les lambeaux du Kummigalm, du Muntigalm et du Niederhorn, au N.E. des Spielgärten, sont la dernière apparition.

Une seconde zone apparaît au N.W. du Rubli, séparée de la précédente par l'anticlinal chevauché de l'arête du Rubli. Elle constitue l'arête du Cananéen, de la Côte aux Rayes et du Vanel sur Rougemont. Ici encore nous avons affaire au remplissage d'un synclinal crétacique. En effet, le Crétacique, adossé contre le Malm du chaînon du Rubli, *passé au-dessous* de la Brèche et reparait de l'autre côté, avec un plongement inverse, dans l'anticlinal de Raveyres-Vanel. J'ai d'ailleurs constaté, en 1882, entre le Crétacique et la Brèche, du Flysch avec fucôides, et comme la brèche ne repose pas ici sur du calcaire dolomitique et du Rhétien, cette constatation devait alors paraître péremptoire pour considérer la brèche comme éocène.

Les profils montrent d'ailleurs avec évidence cette situation plus que surprenante. L'âge jurassique de cette Brèche est attesté par la présence, à sa base, du Rhétien et du Trias, dans la

zone entre le Rubli et la Gummfluh, d'où résulte que ces affleurements ne peuvent être que des lambeaux de recouvrement provenant d'une nappe bien plus étendue. J'ai constaté un lambeau de brèche d'une dizaine de mètres de longueur, près des chalets de la Brayé, à 3 km. au S.W. de Cananéen; c'est l'extrémité la plus méridionale de cette zone. Ce petit affleurement montre que la Brèche s'étendait jadis non seulement plus au S.W., mais aussi plus au N.W., mais qu'elle fut réduite par l'érosion aux zones et lambeaux synclinaux mentionnés. Dans la direction du N.E., la zone de la Videman-Hornfluh-Niederhorn se relie à celle du Cananéen-Vanel par suite de l'abaissement de l'anticlinal du Rubli. La Brèche constitue ainsi entre le Muntigalm et le Bâret, au S. de Weissenbach, un fond de bateau, rappelant quelque peu la situation de la Brèche en Chablais. Mais déjà au N. de Weissenbach la nappe de brèche s'arrête.

J'ai constaté très positivement qu'au Muntigalm et au Kunmiggalm, la Brèche, ayant du Trias à sa base, repose sur le Flysch; le Lias qui se trouve indiqué là, au-dessous de la Brèche, est du Flysch tout à fait typique, mais appartenant à un facies différent de celui qui entoure les Préalpes; il en sera question plus loin.

Contrairement à ce qui a lieu en Chablais, la formation de la Brèche ne dépasse pas la zone interne des Préalpes. Elle se trouve, avec sa base triasique, invariablement superposée aux Préalpes avec couches à *Mytilus*, souvent parallèlement aux strates de celles-ci et en épousant tous les contours de leurs plis; une faible épaisseur seulement de Flysch schisteux sépare la nappe de Brèche du crétacique et du Malm des Préalpes.

La différence entre la région de la Brèche de la Hornfluh et celle du Chablais est celle-ci: En Chablais, la nappe de Brèche jurassique a conservé son intégrité, après sa superposition aux Préalpes de la zone Sud des chaînes calcaires et n'a pas suivi le plissement de celles-ci: elle est d'ailleurs à cheval sur les Préalpes et sur la grande zone interne de Flysch. Dans la région de la Hornfluh, par contre, la nappe de Brèche fut poussée entièrement sur la région des chaînes calcaires, probablement par suite de la grande épaisseur du Flysch du Niesen. Étant probablement moins épaisse ici qu'en Chablais, elle fut plissée ensuite avec la nappe sousjacente des Préalpes, et les bandes isolées les unes des autres par les anticlinaux furent resserrées dans les synclinaux; avec le Flysch l'érosion a finalement morcelé ces

zones synclinales en lambeaux souvent fort réduits, sauf aux environs de Zweisimmen, où la brèche atteint une assez grande extension.

La région de la Brèche de la Hornfluh est encore à soumettre à une révision complète, étant donné que les levés de Gilliéron et d'Ischer ne concordent pas. Ce travail, qui fait partie de ma tâche à entreprendre dans le courant des années prochaines, amènera sans doute nombre de documents nouveaux. Ce que j'en ai vu jusqu'ici m'a suffisamment éclairé pour affirmer, bien positivement, l'identité de cette brèche et de celle du Chablais et sa superposition constante au Crétacique et au Flysch.

En résumé, on peut affirmer aujourd'hui, sans crainte de tomber à faux, qu'un puits foré dans la région du Simmenthal, où existe la brèche de la Hornfluh, traverserait successivement deux nappes anormales superposées, avant d'atteindre la série normale à facies helvétique.

Cette succession serait la suivante :

Flysch.

Brèche de la Hornfluh.

Lias.

Rhétien.

Trias (Rhétien dolomie, cornieule et gypse).

—— Contact anormal.

Flysch.

Couches rouges (et Néocomien).

Malm.

Dogger.

Lias.

Trias (Rhétien dolomie, calcaire noir, cornieule), et

Gypse (lambeaux de Permien et Houiller).

—— Contact anormal.

Flysch.

Nummulitique (?).

Urgonien.

Néocomien (Hauterivien et Valangien).

Malm.

Dogger.

Lias.

Trias (Rhétien dolomie, gypse, quartzites).

Schistes cristallins.

L'expérience serait certainement intéressante, mais malheu-

reusement coûteuse, car il faudrait s'enfoncer à 1500-2000 m. environ.

C. Le flysch et ses brèches et conglomérats.

Les Préalpes sont bordées de deux grandes zones de Flysch, la zone extérieure, allant des *Voïrons* par le *Niremont* et la *Berra* au *Gurnigel* et la grande zone interne du *Niesen* et des *Ormonts*, qui se retrouve de l'autre côté du Rhône, sous une forme moins importante, dans la zone du val d'Illiez-col de Couz-la Golèze.

Ces deux zones de Flysch ne sont pas les seules, car les synclinaux compris entre les plis de terrains secondaires des Préalpes renferment aussi des terrains tertiaires appartenant au faciès du Flysch. Les deux grandes zones de Flysch, celle des Voïrons-Gurnigel et celle du Niesen, ont une importance particulière parce que ce Flysch forme le substratum constant de la nappe des Préalpes et j'admets d'emblée *qu'elles n'ont dû former primitivement qu'une seule masse*, qui fut divisée au moment de l'arrivée de la nappe de charriage sur le bord des Alpes. Une partie fut poussée vers le N., avec les lames de sédiments secondaires que nous connaissons et constitua la zone Voïrons-Niremont-Gurnigel. L'autre resta en arrière avec une partie du front et de la base de la nappe de charriage. C'est la masse de Flysch du Niesen avec la zone des cols.

De fait, bien que très réduit en épaisseur, le Flysch du Niesen doit passer sous la nappe des Préalpes pour aller rejoindre celui des Voïrons. Les deux zones ne sont que des accumulations de la même nappe de Flysch. La zone extérieure a été accumulée par la propulsion de la nappe de charriage et la résistance des terrains miocènes; la zone interne par la poussée des plis des Hautes Alpes.

Cette hypothèse est appuyée par la grande ressemblance du Flysch des deux régions. Dans la région du Niremont, au Gurnigel, comme au Niesen et surtout aux Ormonts, se retrouvent les brèches à éléments anguleux, si bien connus. La zone des Voïrons est sans contredit un équivalent de la zone du Niremont, bien qu'offrant des roches détritiques différentes. D'autre part, les zones de Flysch du Niesen et du Gurnigel réunies vont constituer, sans contredit, le remplissage du vaste synclinal de Habkern-Sarnen, où les brèches à gros matériaux sont si répandues. Une continuation plus lointaine est sans doute la zone

qui se poursuit dans le même synclinal par Schwytz, le Wäggitthal et le Toggenbourg jusqu'à Gams et même dans le Vorarlberg; cette zone de Flysch est invariablement jalonnée par des brèches, des blocs exotiques et des klipptes. Le même fait se retrouve au S.W. du Chablais, où le Flysch du synclinal du Reposoir-Seraval est l'équivalent de celui de Habkern-Gams.

En réunissant en une seule zone les diverses bandes de Flysch avec brèches à gros matériaux, en partie exotiques, je suis évidemment en opposition avec les conclusions de M. Charles Sarasin, qui voit dans les blocs exotiques des Gets la preuve de l'existence d'un massif cristallin, prolongement de celui de Belle-donne, dont une ramification irait même jusqu'aux Fénils sur Rougemont. Les brèches du Flysch du Niesen et des Ormonts proviendraient du versant N. du Mont-Blanc, tandis que les brèches et blocs exotiques de Habkern, du Gurnigel et même des Voirons proviendraient, par des courants ou des glaciers, du versant S. des Alpes (Predazzo-Baveno). A la suite de cela, M Sarasin me reproche d'avoir assimilé comme lambeaux de recouvrement des choses fort différentes; lesquelles? je me le demande. Il me semble, au contraire, que M. Sarasin pêche par la faute contraire; il diversifie ce qui n'est qu'un phénomène unique. Je ne saurais comment les blocs des Voirons et du mont Vouant puissent provenir de Predazzo-Baveno, ceux des Ormonts de la zone du Mont-Blanc, alors qu'entre deux existerait le massif de Belle-donne?

Ce qui fait justement la valeur de ma théorie, c'est qu'elle explique, par un *seul phénomène*, toutes les énigmes les plus variées en apparence qui se rattachent à la géologie du versant N. des Alpes.

Dans sa masse principale, le Flysch des deux grandes zones des Préalpes, comme aussi de ses continuations N.E. et S.W. offre, au point de vue pétrographique, des roches détriques à éléments essentiellement peu volumineux: marnes, schistes argilo-calcaires, grès plus ou moins grossiers, dont l'apport pourrait facilement s'expliquer par des courants marins ou des cours d'eau se déversant dans la mer du Flysch. C'est en immense épaisseur qu'alternent au Niremout, à la Berra, au Gurnigel et dans le synclinal de Sarnen, les grès à matériaux fins, les marnes, schistes et calcaires argileux. Il n'en est pas de même des *brèches à gros éléments*, qui apparaissent assez localement ou par traînées au milieu du Flysch, avec des caractères tout à fait

locaux, soit par leur situation, soit par leur composition pétrographique.

Comme l'a déjà fait remarquer Studer, les blocs de Habkern paraissent rayonner d'un point central, situé dans le haut du ravin du Lambach, où il supposait dans la profondeur un massif granitique. C'est dans les mêmes conditions, massés sur un petit espace ou limités dans un seul niveau, que nous trouvons les blocs et brèches exotiques au Gurnigel, à la Berra, au Niremout et surtout aux Voirons et au mont Vouant dont elles forment toute la partie supérieure. Ce même caractère se retrouve aux Ormonts par la restriction des brèches à gros éléments dans la région S.W. de la zone du Niesen, entre l'arête de l'Arnenhorn et le Chamossaire.

Il semblerait vraiment que nous soyons là en présence de *centres d'éruption*¹ de matériaux à gros volumes, parvenus dans la mer du Flysch après un très faible parcours.

En effet, la zone de Habkern est caractérisée par une variété de Granit à feldspath rose, associée toutefois à un Granit vert, qui se retrouvent les deux au Gurnigel.

Aux Ormonts et au Niesen, on retrouve, comme roche prédominante, un granite vert très semblable à la variété verte de Habkern. Enfin, aux Voirons et au mont Vouant, on trouve des Granits roses comme à Habkern et à la Berra, en outre des porphyres également roses. J'ai constaté aussi, dans toutes les localités, des porphyres granitiques (Granitporphyr) correspondant aux granites en question. Partout les roches cristallines de types granitiques sont accompagnées, comme on sait, de gneiss, schistes cristallins et de sédiments, dès le Carbonifère au Jurassique. Une étude détaillée et comparée des diverses régions amènera certainement des résultats très intéressants. Déjà le mémoire de M. Ch. Sarasin a montré nombre de faits importants au point de vue des analogies et des différences des roches cristallines entre les diverses régions. Toutefois, M. Sarasin ne paraît pas s'être rendu compte bien nettement de la tectonique des assises du Flysch. J'ai peine à m'expliquer la signification de ses replis du Flysch aux Ormonts (n° 41, fig. 1 et 2) et je ne comprend pas ce qu'il entend par Flysch supérieur et Flysch inférieur. Les plis qu'il dessine entre le Mont-d'Or (Durchaux) et le Meilleret sont absolument invraisemblables. Le

¹ Ce mot employé sans aucune pensée a une origine volcanique.

sommet du Meilleret est formé par de la brèche polygénique et les Chavonnes sont du Calcaire jurassique et non de la Brèche tertiaire. Au Niesen, il intervertit dans ses profils le rôle de ces deux Flysch ; les Bandschifer sont, selon lui, tantôt au-dessus, tantôt au-dessous de l'assise de Brèche.

Pour nous rendre compte de l'origine du Flysch, il importe avant tout de trouver l'explication des *Brèches à gros matériaux*.

C'est ce qu'a senti Studer, c'est ce qu'ont cherché depuis lui tous ceux qui ont envisagé le problème.

Si aujourd'hui, grâce aux études pétrographiques (microscopiques et chimiques) de M. Sarasin, nous avons un point d'attache positif, montrant l'analogie, sinon l'identité, des roches granitiques du Flysch avec celles des massifs de Predazzo-Baveno sur le versant S. des Alpes, cela est loin de constituer une solution ; j'avais moi-même déjà montré la similitude macroscopique des Granits verts des Ormonts et de ceux des massifs des Grisons, ainsi que la ressemblance du Granite du Habkern et de celui de Baveno (n° 16). J'avais été amené à supposer le transport de ces blocs par des glaciers¹.

L'examen de la *structure* de cette brèche, qui offre, en effet, sous plusieurs rapports de l'analogie avec la structure morainique, au moins de moraines sous-marines, ainsi que l'association des roches y contenues, nous conduira toutefois à une conclusion bien différente.

Le problème sera le même, qu'on s'adresse à l'un ou l'autre des gisements de brèche que nous avons cité.

Les brèches du Flysch à gros matériaux sont des agglomérations de débris de toute nature, dans lesquels les roches cristallines, granites, porphyres, gneiss, schistes cristallins, etc., frappent le plus, mais il y a en outre des débris sédimentaires de tout âge. Le caractère *exotique* a été attribué seulement aux roches cristallines, car les débris sédimentaires ressemblent absolument aux roches des chaînes préalpines.

Ces matériaux sont souvent visiblement roulés ; mais localement ce sont des blocs absolument anguleux, aux angles à peine émoussés, et mesurant plusieurs mètres de dimension, qui sont amoncelés pêle-mêle, en forme d'une brèche gigantesque. Voilà ce que chacun peut constater aux Ormonts, au Niesen, au Gurnigel ou au mont Vouant.

¹ Voir n° 13, p. 28 et suiv., ainsi que n° 16, p. 208 et 209.

Ce qui paraît le plus frappant, c'est que ces débris, quel que soit leur volume, sont stratifiés et disposés en lits, séparés par des marnes schisteuses, dans lesquels on trouve ordinairement des *fucoides* (*Chondrites intricatus*, *Ch Targioni*, etc.) et des *Helminthoïdea labyrinthica*, attestant une sédimentation en eau tranquille. Cette circonstance m'avait fait exclure l'hypothèse du transport de ces débris par des courants marins ou fluviaux et pencher plutôt vers l'idée de glaciers continentaux, aboutissant à la mer du Flysch. La présence de grands blocs de Granite au milieu des marnes du Flysch paraissait surtout appuyer cette supposition.

D'autre part, on constate dans les brèches de toutes ces localités le fait absolument surprenant que les débris n'ont *subi aucun triage* d'après leur dureté. *Le charriage marin, fluvial, comme le transport glaciaire, ont comme conséquence que les débris les plus tendres sont réduits rapidement à l'état de limon fin et que les blocs de roches dures atteignent seuls des distances éloignées du point de départ.*

Or, on trouve dans les brèches du Flysch des schistes argileux extrêmement délitables, du Lias avec *Posidonomya Bronni*, des schistes non moins tendres du Carbonifère, avec empreintes de végétaux, à côté de blocs de granite et de gneiss les plus durs, le tout à l'état anguleux. Les débris dolomitiques très tendres du Trias sont même universellement répandus dans les brèches et grès grossiers du Flysch à côté de fragments d'un talcschiste verdâtre très tendre. Il faut donc exclure le transport lointain par charriage aquatique ou glaciaire.

Le triage de certains débris d'après leur composition (cantonement des granites roses et verts), est un autre argument qui parle contre ce transport. Tout considéré, on pencherait plutôt, en examinant ces brèches, à voir le produit d'*éboulements* tombés dans la mer du Flysch. Mais cette explication est impossible, si nous admettons que les Préalpes forment un segment « in loco » de la zone bordière des Alpes calcaires, car des affleurements de roches cristallines de cette nature y sont absolument inconnus. On pourrait, comme j'ai essayé de le faire, trouver une explication en admettant que les Préalpes entre l'Aar et l'Arve reposent sur un socle cristallin que des chevauchements ont oblitéré après qu'il se fût affaîsé considérablement¹. Mais

¹ Voir nos 22, 24 et 32.

cette explication devient absolument insoutenable lorsqu'on examine le problème dans la région des Alpes à facies helvétique, dans le synclinal du Habkern-Grabs et dans celui du Reposoir-Serraval (Alpes d'Annecy). Ici, ce ne sont pas seulement les roches cristallines, mais aussi les roches sédimentaires contenues dans les brèches du Flysch qui devraient être qualifiées d'exotiques. *Toute la composition du Flysch est d'ailleurs exotique.* Où chercher les traces d'un socle ancien au milieu de ce synclinal dont les couches, disposées en fond de bateau, sont absolument continues et se lient directement à celles des chaînes du même facies situées au N. comme au S. de lui-même. A cela s'ajoute encore la présence de masses énormes de sédiments étrangers à ces régions; des montagnes, soit des *blocs exotiques gigantesques*, mesurant plusieurs kilomètres de surface et formant des sommets s'élevant à plus de 1000 m. au-dessus du pays voisin. Ce sont les klippes autour desquelles se massent et s'accumulent surtout les brèches à matériaux exotiques et qui sont ordinairement accompagnées de tout un cortège de « blocs exotiques » de tout volume, formés soit de roches cristallines, soit de roches sédimentaires; parmi ces derniers, ce sont les couches rouges qui frappent le plus par leurs caractères si tranchés. — Il en sera question dans le prochain chapitre. — La discussion qui suivra permettra ensuite d'envisager nettement la vraie origine des brèches, du Flysch, des blocs exotiques et des klippes.

Le seul conglomérat ayant le caractère d'une formation côtière résultant d'un charriage fluvial, est le poudingue de la Mocausa qui se rencontre dans le Flysch entre la chaîne des Gastlose et celle du Vanil Noir et dans le Flysch du Rodomont (zone centrale). C'est vraiment un poudingue à galets roulés. Les matériaux « exotiques » y font d'ailleurs défaut. Il renferme essentiellement des roches calcaires (malm et néocomien) et d'innombrables rognons de silex provenant de ces mêmes terrains des chaînes voisines.

La nature des *autres zones de Flysch* ne demande qu'une mention générale, puisqu'elles n'entrent pas en considération directe dans la solution du problème.

Il y a, en effet, sur les terrains secondaires des Préalpes, recouvrant ordinairement le Crétacique supérieur, du Flysch qui ressemble au facies arénacé et vaseux de celui de la zone du Niesen, mais les bancs à matériaux grossiers lui font ordinaire-

ment défaut. Ce sont des schistes, des marnes, des grès toujours fins; dans les marnes, on trouve des *Fucoïdes* abondants, les mêmes que dans le Flysch du Niesen, et, plus rarement, aussi les *Helminthoïdes*. C'est avec ce caractère que nous trouvons le Flysch dans la zone synclinale d'*Allière-Montbovon-Estavannens*, puis dans le synclinal des *Agittes Château-d'Ex-Jaun*, qui sépare la deuxième zone des Préalpes de la zone à couches à *Mytilus*.

Ici, on rencontre cependant une zone épaisse de 10-20 m. formée d'un véritable *poudingue* à galets roulés ressemblant à s'y méprendre au poudingue miocène. C'est le *poudingue de la Mocausa*, composé exclusivement de calcaires jurassiques et néocomiens de la chaîne du Vanil-Noir et surtout des rognons siliceux dont ces calcaires abondent. C'est une formation côtière, nullement comparable aux brèches du Niesen et du Gurnigel.

La zone médiane de Flysch remplissant le synclinal allant de la Braye à Erlenbach et qui comprend le Rodomont et le Hundrück paraît toutefois faire exception dans la région du Hundrück, où apparaissent des grès grossiers. La majeure partie de cette zone est essentiellement vaseuse; c'est aussi le cas du Flysch sur lequel reposent les lambeaux et klippes de la brèche de la Hornfluh; il est schisteux, puisque Ischer l'a colorié comme Lias.

Outre la répétition dans cette zone d'un banc de poudingue semblable à celui de la Mocausa, on trouve dans la partie supérieure, vis-à-vis du bord N de la formation bréchiforme de la Hornfluh, le *grès du Hundrück*, formation absolument semblable aux grès et conglomérats fins du Flysch du Niesen. La situation de cette formation, devant le bord de l'ancienne nappe de la Brèche de la Hornfluh a sa signification. Car c'est là aussi que nous trouvons les blocs exotiques de la vallée des Fénils (porphyrite) et des Mosses, de Gessenay (granite rose, cité par Studer). Dans la région du Chablais, on observe les mêmes caractères. Le Flysch superposé aux sédiments préalpins est vaseux, tandis que celui des bords externe et interne offre le facies bréchiforme à débris cristallins, bien que dans une proportion bien moindre dans la zone interne, celle du val d'Illeiez. C'est aussi sur le bord de la zone de Brèche jurassique qu'apparaissent les blocs exotiques et les Klippes cristallines. Ceux qui sont superposés au massif de Brèche, plantés dans le Flysch recouvrant celui-ci, y ont été amenés, comme le pense M. Lugeon,

par suite d'un retroussement du Flysch, dans lequel la nappe de Brèche jurassique est venue s'enfoncer. Cette explication me paraît extrêmement probable. Le Grès du Hundrûck peut donc s'expliquer de deux manières : ou bien il a été nourri par la nappe de recouvrement de la Brèche calcaire jurassique, comme le Flysch du Niesen et du Gurnigel l'a été par la grande nappe des Préalpes ; ou bien c'est un paquet de Flysch du Niesen qui a été poussé devant la nappe de la Brèche calcaire. Je pencherais plutôt du côté de cette dernière alternative.

Les Klippes et blocs exotiques.

Brèches exotiques, blocs exotiques et klippes sont trois apparitions qu'il importe de pouvoir séparer au point de vue de leur genèse. Bien qu'on ne puisse pas refuser le nom de blocs exotiques aux fragments isolés résultant de la désagrégation de brèches exotiques du Flysch, les blocs exotiques proprement dits se rattachent plus étroitement au phénomène des klippes.

Les *Brèches du Flysch* doivent résulter, comme nous l'avons vu, des débris tombés, sous forme d'éboulements, dans la mer du Flysch. Ces nappes d'éboulement se sont stratifiées ensuite, comme cela se conçoit facilement et leur formation répétée donna naissance à des alternances de marnes à Fucoides et de couches de brèche. Je comprends encore dans cette même catégorie les marnes argileuses du Flysch, contenant des blocs et galets souvent anguleux ou arrondis, et qui sont disséminés dans la matière argileuse sans se toucher ; c'est cette disposition, imitant la structure des moraines profondes, qui m'avait apparu primitivement comme un argument péremptoire pour l'hypothèse glaciaire. Elle s'explique par contre parfaitement par l'hypothèse d'éboulements successifs tombés dans la mer du Flysch.

Les blocs exotiques proprement dits, abstraction faite des blocs dégagés des brèches et marnes à blocs du Flysch (c'est le cas du plus grand nombre de ceux du Habkerthal, du Gurnigel, etc.) peuvent avoir une toute autre origine. Il n'ont le plus souvent pas été stratifiés dans les sédiments du Flysch et se lient très directement au phénomène des klippes, dont ils ne diffèrent d'ailleurs que par leurs dimensions plus petites. Leur situation les rapproche à tel point des klippes, que leur origine doit se rattacher au même phénomène qui a créé ces dernières. Gilliéron a d'ailleurs bien souvent remarqué, en décri-

vant les klippes de la zone de la Berra et du Gurnigel, que quelques klippes ne paraissent être que des blocs exotiques. Le plus grand nombre des klippes de petite dimension rentrent dans cette catégorie.

Définissons d'abord ce que c'est qu'une klippe, abstraction faite de toute supposition relativement à leur genèse.

Les *klippes* les mieux connues depuis les études de Stutz (N° 21) et de Quereau (N° 40), sont celles qui se montrent de part et d'autre des lacs des Quatre-Cantons dans le synclinal de Sarnen-Brunnen-Iberg; en Savoie, Alph. Favre, Hollande, Mailard, et plus récemment, Haug et Lugeon, ont décrit en détail les klippes des Annes et du mont Sullens.

Dans la généralité des cas, ce sont des sédiments triasiques, jurassiques et crétaciques s'élevant en forme de massifs isolés sur un soubassement de Flysch, dont la surface couverte de végétation contraste — comme une mer de verdure — avec les formes abruptes et aiguës des klippes. Cette situation justifie amplement ce terme. Les sédiments des klippes, lorsque celles-ci sont quelque peu volumineuses, commencent ordinairement par du Trias, soit du gypse et des calcaires dolomitiques. Il y a souvent de la corniule en grande épaisseur entre le gypse et le Flysch *qui supporte ostensiblement le Trias*. Sur le Trias suit toute la série que nous connaissons des Préalpes: Marnes rouges et vertes, Rhétien, Hettangien, Lias siliceux ou cristallin, schiste toarcién, Dogger à *Zoophycos*, Malm massif, localement coralligène (Tithonique), couches rouges crétaciques (au Mythen). Stutz relève très bien le caractère de ces massifs qu'il désigne de « Schollen ». Les failles et dispositions anormales qui entrecouperent les sédiments des plus grandes klippes montrent clairement que ces lambeaux ont été brisés et dénivelés. De plus, les plus grandes klippes telles que les Mythen, le Roggenstock, le Lauchereustöckli, le Buochserhorn, le Cleven, le Stanserhorn et le Giswylerstock, sont accompagnés de tout un contingent de klippes plus petites, passant graduellement aux dimensions ordinaires des blocs exotiques. Ces klippes manquent ordinairement du soubassement triasique; le Lias, le Dogger ou le Malm reposent directement sur le Flysch; ou bien ce sont des paquets de Crétacique rouge, — probablement aussi du Néocomien à Céphalopodes — qui se voient en forme de lambeaux appliqués sur le Flysch ou intercalés dans ce dernier.

Il faut donc séparer encore les klippes offrant une série plus

ou moins normale et complète de sédiments et qui *reposent sur le Flysch* de celles qui paraissent *enfoncées ou intercalées* dans ce terrain.

Les premières, qui sont représentées par les grandes klippes déjà citées, auxquelles il faut ajouter les deux klippes du mont de Sullens et des Annes, dans les Alpes d'Annecy, *formaient primitivement une seule masse, allant, sans nul doute, de la région d'Iberg jusqu'au Giswylersstock*. La ressemblance de leur facies et l'identité même de la succession de leurs assises ne laisse subsister aucun doute à cet égard. Cette circonstance n'a d'ailleurs nullement échappé aux observations de Stutz.

Si donc ces klippes formaient, d'Iberg jusqu'au Giswylersstock, une nappe continue, remplissant ce synclinal si régulier, *cette nappe devait nécessairement être partout superposée au Flysch, comme l'est aujourd'hui chaque klippe individuellement ! Cette nappe reposait donc anormalement, avec du Trias à sa base, sur un terrain plus récent, le Flysch*. La même chose peut se dire du synclinal du Reposoir-Serraval qui est occupé par les deux îlots de Sullens et des Annes. Ces klippes sont les restes d'une nappe anormale, allant de la vallée de l'Arve jusqu'au SW d'Annecy.

Cette constatation nous rappelle d'une manière on ne peut plus incisive, la disposition de la nappe des Préalpes — supportant elle-même une seconde nappe, celle de la Brèche de la Hornfluh et du Chablais.

La situation de la masse totale des Préalpes, son contraste si frappant avec les chaînes à facies helvétique, et sa série stratigraphique si particulière, tout cela se retrouve identiquement dans chaque klippe et devait se retrouver dans la nappe dont les grandes klippes sont des témoins plus qu'éloquents. *Ces faits ne sont-ils pas suffisamment convaincants pour nous imposer la supposition que la nappe des Préalpes se continuait autrefois par-dessus l'emplacement du lac de Thoune et la chaîne du Rothhorn, allant joindre directement la nappe aujourd'hui morcelée du synclinal Sarnen-Iberg ?* Le doute n'est guère possible, me semble-t-il. Depuis cinq ans que j'ai conçu nettement cette interprétation des faits, je n'en ai plus ressenti l'ombre d'un doute ! *De même la nappe des Préalpes devait au SE du Chablais se prolonger jusqu'au delà d'Annecy par-dessus les Alpes du Reposoir-Serraval.*

La nappe de recouvrement en question ne devait pas être li-

mitée uniquement sur la largeur des synclinaux où existent les klippes. Elle devait avoir là une largeur égale, sinon supérieure, à celle des Préalpes entre l'Arve et l'Aar. Celles-ci n'ont plus d'ailleurs qu'une partie de leur largeur primitive; et, à supposer même que ce fut là, entre l'Arve et l'Aar, que la largeur fut la plus grande, cette nappe devait avoir encore une assez grande largeur au NE et au SW de ces deux vallées transversales. Cela est attesté par la présence, au N des Ralligstöcke et du Sigriswylergrat (chaîne du Pilate), de plusieurs lambeaux de terrain à facies des Préalpes. Il y a là, pincés sous le petit recouvrement des Ralligstöcke, entre le Miocène et le Néocomien helvétique, et associés à du Flysch, des lambeaux de couches rouges, du Néocomien à Céphalopodes, Malm, Lias supérieur, moyen (calc. cristallin) et inférieur, puis de Rhétien. Ces klippes appartiennent au second type, dont il va être question: elles attestent péremptoirement que la nappe des klippes s'étendait jadis par-dessus la chaîne du Pilate jusqu'au bord du plateau miocène comme le fait encore aujourd'hui la nappe des Préalpes. Mais il y a plus:

En suivant le synclinal du Flysch qui sert aujourd'hui de réceptacle aux klippes, on est conduit dans le **Vorarlberg**, toujours guidé par des blocs exotiques, des klippes et des brèches du Flysch. Ici le Flysch, avec ses brèches, se prolonge au S de Feldkirch, sous la masse de recouvrement triasique et liasique du Rhæticon.

La brèche polygénique du **Falknis**, décrite par Tarnuzzer comme terrain jurassique, n'est autre chose que notre brèche polygénique éocène! Une bande de Flysch et de Crétacique en partie à facies helvétique s'introduit d'ailleurs sous la nappe du Rhæticon en passant au pied du Sesaplana et de la Sulzfluh jusqu'à Klosters, au fond du Prätigau. *Le Rhæticon est ainsi facile à caractériser comme une plaque de recouvrement, reposant sur le Tertiaire et le Crétacique qui l'entourent de trois côtés.*

Voici un nouveau point d'attache qui nous permet de supposer que la nappe des klippes, que nous avons arrêtée provisoirement à Iberg, se continuait réellement plus au NE et allait jadis se souder à la plaque du Rhæticon, en passant au-dessus des plis couchés des Alpes glaronnaises. Il y a là sans doute un saut plus grand que celui qui nous a permis de rallier la nappe des klippes à celle des Préalpes du Stockhorn et celle du Chablais

aux klippes des Annes et de Sullens. Nous n'avons comme argument pour nous guider que la zone de Flysch de Iberg-Toggenburg-Grabs-Feldkirch, jalonnée de blocs exotiques, de petites klippes et de brèches. Mais cela ne suffit-il pas ? Cette zone de klippes et de blocs exotiques n'est-elle pas une et continue, dès le mont Sullens, dans les Alpes d'Annecy, jusqu'au Rhin et n'accompagne-t-elle pas invariablement la nappe des Préalpes sur ses deux bords ? Ce fait me paraît un témoin trop sûr pour qu'il soit possible d'en douter. D'ailleurs, stratigraphiquement, les Préalpes offrent un faciès intermédiaire entre le faciès austro-alpin (Rhæticon) et le faciès provençal.

Quereau a relevé de même, que les klippes et zones de blocs exotiques étudiées par lui offraient des faciès qui se rapprochent graduellement de celui des Préalpes, lorsqu'on les suit du côté du SW et que du côté du NE le caractère austroalpin devient de plus en plus manifeste.

Voilà donc ce que peut nous apprendre l'examen serré des klippes et des régions intermédiaires jalonnées de blocs exotiques.

Les blocs exotiques doivent être considérés d'ailleurs comme des débris de klippes, détachés de celles-ci pendant le démantèlement de la nappe primitivement continue. Beaucoup d'entre eux sont comme empâtés ou enveloppés dans le Flysch et se rapprochent des klippes du second type. La situation et l'origine de celles-ci s'explique facilement par les effets tectoniques qui ont dû accompagner le déplacement de la nappe des klippes. Sa situation avant son démantèlement a été le résultat d'un glissement, le même que celui qui a jeté la nappe des Préalpes dans sa position actuelle ; pendant ce mouvement, des masses importantes de terrain ont été détachées du bord de la nappe en mouvement et ont été empâtées dans le Flysch qui fut, de plus, refoulé ; en sorte que nombre de ces lambeaux, même de très grands, furent littéralement *enveloppés et roulés dans le Flysch*, ainsi que je l'ai décrit à propos de la zone des cols et de la zone extérieure du Flysch des Préalpes.

Pour être clair sur ce point, on pourrait appeler les premières, les grandes klippes, *îlots ou klippes de recouvrements* ; ce sont les témoins d'une ancienne nappe continue ; les autres pourraient s'appeler *klippes de refoulement*. Il faut ranger dans cette catégorie la klippe du Rothspitz, les innombrables petites klippes de couches rouges que l'on suit dans le Flysch du syn-

clinal du Habkern-Sarnen, celles de Ralligen, ainsi que celles des environs d'Iberg; le lambeau de gypse de Habkern¹ est sans doute dans le même cas.

Enfin, les grands blocs exotiques cristallins du plateau des Gets, mesurant plusieurs centaines de mètres de longueur, le bloc des Fénils (Griesbachthal), les masses de porphyrite d'Iberg broyées avec des couches rouges sans aucun phénomène de métamorphisme de contact, rentrent tous dans la catégorie des klippes de refoulement. Ce sont des paquets de terrains cristallins entraînés par la nappe de charriage et qui ont été pris dans le Flysch refoulé devant et au-dessous de celle-ci; puis enveloppés et enroulés littéralement dans ce terrain. Les grandes lames de sédiments, enveloppées dans le Flysch de la zone du Gurnigel et des cols ne sont, de même, autre chose que des klippes de refoulement. Nombre de blocs exotiques rentrent dans cette catégorie.

D'autres blocs exotiques résultent de la désagrégation de brèches ou de Marnes à blocs du Flysch (Habkern). Tandis que *brèches du Flysch, îlots exotiques et klippes de refoulement* sont faciles à séparer, les *blocs exotiques* peuvent résulter de chacun de ces trois phénomènes, sans qu'il soit toujours possible de dire lequel.

Impossible de citer ici tous les arguments qui attestent la relation supposée entre la nappe des Préalpes, l'ancienne nappe des klippes et la masse de recouvrement du Rhæticon. J'ai indiqué cette solution pour la première fois en 1893; les arguments nouveaux n'ont fait que me fortifier davantage dans cette manière de voir. Des recherches détaillées seraient nécessaires, surtout dans la vallée du Prätigau, autour du massif du Rhæticon. La complication doit être extrême dans cette région où les terrains cristallins (le massif de Silvretta), les Schistes lustrés (Flysch?) et les sédiments à facies helvétique accompagnés de brèches polygéniques, identiques à celles des Ormonts et du Niesen, sont surmontés d'une masse triasique à facies austro-alpin. — Des études dans la zone comprise entre le lac de Thoune et le lac des Quatre-Cantons amèneront sans doute encore de nouveaux documents. Car il y a là peut-être des témoins, soit des lambeaux restés en arrière (des retardataires) de la nappe

¹ Ce gypse figure déjà sur la carte de Rutimeyer, publiée en 1850 (voir n° 4).

des Préalpes et des klippes. Les travaux publiés jusqu'ici sur cette région ne permettent pas de s'en rendre compte.

L'étude détaillée des klippes de Schwytz et d'Unterwalden que poursuit actuellement M. Tobler, devrait être complétée par des recherches dans la région à facies helvétique située au S. Si l'on n'y découvre pas des lambeaux plus ou moins étendus du facies des Préalpes, au moins y aura-t-il lieu d'y constater la présence du grand pli glaronnais, si nettement indiqué par la zone du Flysch allant d'Altdorf jusqu'à la Scheidegg.

Résumé et conclusions.

L'examen de la carte géologique de la Suisse, surtout de la carte au 1 : 50 000 de Heim et Schmidt, montre avec évidence la situation étrange des Préalpes et des principales klippes ou îlots jurassiques et triasiques au NE et au SW de cette région.

Proéminent de près de 20 kilomètres sur le bord normal des Alpes, indiqué par la jonction des plis à facies helvétique des Alpes d'Annecy et d'Unterwalden, entre Bonneville et Ralligen, cette région est, comme nous l'avons démontré, superposée par son terrain le plus ancien, en position anormale sur le Flysch. Sous ce Flysch s'enfoncent, au NE, au SE et au SW, les plis à facies helvétique. Les sédiments de cette région offrent un contraste frappant avec les terrains de même âge de leur entourage. Ils offrent par contre une affinité plus qu'évidente avec ceux des klippes des Alpes d'Annecy et d'Unterwald. Par une transition graduelle, le facies des klippes se rapproche de celui des Alpes orientales. Cette circonstance indique clairement que les klippes d'Annecy, les Préalpes, les Klippes d'Unterwald et de Schwytz ne formaient primitivement, avec le massif du Rhaeticon, qu'une seule nappe en superposition anormale sur la région à facies helvétique (Alpes d'Annecy, d'Unterwald et glaronnaises).

Dans la partie médiane des Préalpes se trouve une seconde nappe, celle de la Brèche jurassique, superposée aux Préalpes ou à cheval sur la zone sud, et sur la zone interne du Flysch.

Cette situation est évidente et a motivé les postulats que l'on connaît (page 159).

Puisque Préalpes, klippes, nappes et klippes de Brèche de la Hornfluh et du Chablais sont en position anormale sur le Flysch, ces terrains doivent avoir glissé dans leur position actuelle.

Ce n'est pas un pli couché qui peut être considéré comme l'origine de ce recouvrement, c'est un complexe de terrains ayant du Trias et d'autres terrains à sa base, qui est venu d'une région lointaine s'échoir dans sa position actuelle. Cette région ne peut être située ailleurs que dans la zone centrale ou méridionale des Alpes, cela est démontré par la présence dans cette direction :

1. De presque tous les terrains sédimentaires des Préalpes ;
2. De toutes les roches cristallines dites exotiques ;
3. Par la tectonique des Préalpes et des klippes accusant partout un mouvement vers le N ;
4. Par l'accumulation de blocs exotiques dans le Flysch au N du front des klippes et de la nappe de recouvrement ;
5. Par l'absence *in-situ* au N des Alpes de tout terrain identique ou seulement semblable aux sédiments ou aux roches cristallines contenues dans les Préalpes ou dans le Flysch.

L'hypothèse de Studer, appliquée aux Alpes bavaroises par Gumbel et adoptée par Quereau, Steinmann et Schmidt pour la région des klippes, n'a donc pas sa raison d'être ; rien, absolument rien ne peut justifier la supposition de la chaîne vindélicienne sous le Miocène du plateau suisse ou bavarois.

Je ne puis mieux faire qu'en exposant ici les phénomènes qui doivent s'être déroulés depuis le départ de la nappe de recouvrement jusqu'à l'époque actuelle. Ce sera bien théorique et hypothétique, j'en conviens, et l'imagination y aura une large part. Mais l'imagination doit-elle être entièrement bannie de la Science ? Je pense au contraire qu'elle y a bien sa raison d'être, lorsqu'elle est basée sur une suite d'observations concrètes et bien constatées, qui lui donnent un point d'appui solide.

La nappe préalpine dans sa situation primitive au centre des Alpes.

Le premier mouvement de la nappe formant actuellement les Préalpes et les klippes, doit dater de la fin de l'époque éocène. Avant cette époque, cette région formait deux larges zones de terrains secondaires, posées sur la partie centrale des Alpes, que baignait encore la mer éocène. Ces deux zones, qui restèrent probablement exondées pendant l'époque éocène, correspondent : la première, située au N, au facies des *Préalpes proprement dites* ; la seconde au facies de la *brèche calcaire*, séparées l'une de l'autre par un haut fond ou *chaîne d'îlots triasiques* ; la même

zone d'ilots qui doit avoir alimenté la formation de la Brèche jurassique et sur le versant N de laquelle s'était formé le facies bathonien à Mytilus.

Dans cette situation, la nappe préalpine n'avait rien d'anormal; au Nord, elle passait peut-être insensiblement au facies helvétique, si elle n'en était pas séparée localement par un haut fond. A l'Est, elle se liait au facies austro-alpin, avec lequel elle a plus d'une affinité; au SW, sa jonction avec le facies provençal également méditerranéen est probable, de même que sa continuité au SE avec les sédiments des Alpes calcaires de la zone lombarde, qui appartiennent également au facies méditerranéen. Il est probable que la formation de la brèche jurassique passait vers le SE à un facies normal. Cette formation ne représente d'ailleurs qu'un facies local du jurassique. Rien d'anormal n'interrompait alors le bassin de l'Europe centrale, comprenant le Jura et les Alpes du versant Nord.

Le mouvement vers le Nord.

Cette zone sédimentaire devait occuper une position au Sud d'une ligne, allant du Silvretta par le Piz Linard, le Tambo, le Simplon, la Dent Blanche à la zone du Briançonnais. Il est même possible que sa position ait été encore plus au Sud.

A la fin de la sédimentation nummulitique, au début de l'époque oligocène, les dislocations intenses des Alpes centrales produisirent un bourrelet à forte pente; c'est alors que se développèrent les plis couchés et les chevauchements profonds du massif du Simplon (voir les profils de Schmidt et moi, dans n° 44 et 45.) Ce n'est pas seulement dans le massif du Simplon que de tels plis existent, mais il est bien probable que le Dôme du Mont-Rose et celui de l'Adula ne soient que le dos d'un lacet couché ou chevauchement analogue à celui du Gneiss d'Antigorio. De telles constatations sont de nature à jeter une vive lumière sur les dislocations formidables dont les couches profondes de l'écorce terrestre ont été le siège dans la seconde moitié de l'époque tertiaire, ou même avant. On conçoit facilement l'énorme refoulement qui devait se produire dans la nappe sédimentaire superposée aux roches primitives.

Après la formation d'un pli-faille ou d'un simple chevauchement sans pli, la nappe préalpine, primitivement connexe ou non, avec le facies helvétique situé au Nord, s'est déplacée vers le Nord, en glissant sur son soubassement triasique, entraînant et

en poussant surtout devant elle, des masses considérables de terrains cristallins arrachés des massifs cristallins placés sur son passage.

C'est lentement que ce mouvement a dû se produire, car on ne constate aucun phénomène de métamorphisme dû à des dégagements de chaleur, ce qui n'aurait pas manqué d'avoir lieu en cas de mouvement rapide.

De plus, il est évident que le bord de la nappe de charriage a dû plonger dans la mer du Flysch; cette circonstance a dû faciliter singulièrement le mouvement *qui s'accomplissait surtout sur les gypses et dolomies triturés du Trias* ainsi que sur les *schistes liasiques et crétaciques*, entraînés sous la nappe en mouvement. Les sédiments argileux, fraîchement formés, du Flysch, ont sans doute aussi contribué à faciliter ce mouvement horizontal.

Le mouvement vers le Nord a été continué, comme cela se comprend, par la poussée continuelle des plis profonds s'entassant et provoquant un talus de forte pente qui allait en se déplaçant vers le Nord, puisque le plissement profond, comme le plissement superficiel, doivent avoir marché symétriquement du centre des Alpes vers le N et le S.

La nappe de charriage a ainsi dû se déplacer par-dessus la zone à facies helvétique et par-dessus les massifs cristallins du St-Gothard, de l'Ofenhorn, du Finsteraarhorn et du Mont-Blanc-Belledonne. La forme des plis des Alpes à facies helvétique, qui contraste d'une manière si frappante avec les dislocations toutes autres des Préalpes, atteste que ces plissements se sont faits dans des conditions bien différentes. Là des lacets couchés, déjetés et culbutés vers le Nord, ayant souvent la charnière anticlinale plus basse que la racine du pli (Dents du Midi, paroi de l'Oldenhorn, etc.), ici des anticlinaux réguliers comparables à ceux du Jura, compliqués seulement par des chevauchements de 2 à 3 kilomètres. *Les plis visibles dans les Préalpes se sont accomplis sans surcharge, tandis que ceux du facies helvétique se sont développés sous l'énorme pression que représentait la nappe de charriage passant au-dessus.* Les lacets couchés visibles sous la nappe de Treveneusaz (voir le profil I) ont été couchés et ployés vers le N par ce mouvement. L'étude et la comparaison des deux profils que je donne sur la planche accompagnant cette note en dit plus long que nombre de pages de description. J'y ai mis tout ce que nous connaissons *actuellement* au sujet du problème. Le lecteur se rendra compte faci-

lement du mécanisme et des mouvements qu'il faut supposer pour s'expliquer la situation actuelle de cette nappe. Le contraste de la structure tectonique des deux régions si voisines en ressort à première vue et l'on comprendra que cette nappe préalpine a été disloquée d'une manière toute autre que la région aux longs lacets étirés qui suit au Sud.

L'origine des Brèches du Flysch.

Au déplacement de la nappe préalpine vers le Nord se rattache le phénomène de la formation du Flysch. Nous avons vu précédemment que les masses énormes de Flysch à gros matériaux et les blocs exotiques *accompagnent invariablement le bord de la nappe de recouvrement des Préalpes* ; qu'ils hantent les environs des klippes et que, dès que l'on s'en éloigne, le Flysch reprend son facies vaseux. Nous avons constaté, en outre, que les brèches du Flysch portent en tout point le caractère de *masses éboulées* dans la mer du Flysch et que, d'autre part l'origine de leurs matériaux cristallins doit être lointaine, deux antithèses qui s'expliquent si l'on songe que c'est dans la mer du Flysch que la nappe préalpine s'est enfoncée. Là, elle nourrissait de ses débris les brèches à gros éléments, comme aussi les grès plus fins. Nombre d'éboulements se détachèrent de la ligne frontale sur toute la longueur ; ils fournirent les amas de blocs de tout âge et de toute nature ; ainsi s'explique encore la présence de roches très dures à côté de débris extrêmement tendres. Comme les massifs cristallins, dont des parties saillantes furent entraînées sur le passage de la nappe, avaient chacun un certain caractère pétrographique propre, les amas de blocs offrent certaines différences quant à la nature des débris cristallins qui s'y rencontrent.

Est-ce bien la vraie solution du problème que Studer avait posé il y a plus de 70 ans ? Il me semble qu'il est difficile d'en douter, car toutes les complications sont explicables. Les blocs sont originaires d'un pays lointain ; ils sont exotiques, mais leur transport s'est fait en masse, par charriage tectonique, sur 60 à 70 kilomètres de distance, sinon plus ; aucune usure n'a été le résultat de ce long transport, et finalement les débris désagrégés et allant en s'ébouyant, furent ensevelis sur place, après une courte chute dans la mer du Flysch et stratifiés alternativement avec les matériaux vaseux qui composent la majeure partie de cette sédimentation. Des masses plus grandes également, tom-

bées au fond de la mer, formèrent les gros blocs exotiques et une partie des klippes.

On peut déduire de cette explication que *la formation des brèches stratifiées à matériaux anguleux, sur de grandes étendues, doit être en connexion avec des recouvrements ou charriages tectoniques. Ce phénomène doit avoir présidé à la formation du Flysch bréchiforme, partout où ce terrain existe. Le facies du Flysch, en général, marque par ses allures et son extension les dislocations tertiaires, soit la dernière phase orogénique dont fait partie le système alpin.*

On peut estimer, d'après l'énorme épaisseur du Flysch, la largeur de la nappe de charriage qui a été dévorée ainsi par la sédimentation détritique du Flysch. Les roches cristallines qui devaient surtout occuper le front et la partie basale de la nappe de charriage, furent naturellement les premières victimes, d'où la presque complète disparition de masses encore cohérentes de ces terrains; il en est de même du Carbonifère, du Permien, des schistes rouges et verts et des quartzites du Trias inférieur, dont les débris abondent dans les brèches et sables du Flysch. Les quelques lambeaux observés dans le Chablais et le massif carbonifère de Tanninges en sont les derniers témoins.

La brèche jurassique, qui suivait de près la première nappe, paraît avoir nourri de ses débris le Flysch qui remplit le synclinal central des Préalpes. Cette nappe charriait en tout cas des débris cristallins, à moins que — n'ayant été jetée sur la nappe des Préalpes que lorsque celle-ci fut déjà arrivée sur le bord des Alpes et eut culbuté en outre le Flysch du Niesen — la nappe de brèche jurassique ait entraîné avec elle des débris de roches provenant de ce dernier Flysch. La supposition donnée n'a d'ailleurs rien d'impossible. Le bloc de porphyrite des Fénils, le granite rose des Mosses de Gessenay et les klippes cristallines des Gets (Chablais) dépendent de la nappe de la brèche jurassique. Mais la zone des cols offre également, d'après Ischer (au Truttli-späss), des blocs de roches basiques, des gabbros, et probablement aussi des porphyrites.

Formation des poudingues du miocène du plateau suisse.

Vers la fin de l'époque oligocène, la nappe préalpine n'avait pas encore atteint sa position actuelle sur le bord des Alpes; elle n'en était cependant pas loin et n'était encore guère plissée. Derrière elle, la suivant de près, arrivait la nappe de la brèche jurassique, qui fut jetée finalement sur la nappe préalpine, au

moment où celle-ci, ayant culbuté les plis déjà ébauchés à facies helvétique, s'arrêta sur le bord des Alpes. Elle allait alors en couverture continue dès la région de Faverges ou de Grenoble jusqu'au Rhæticon, en prolongeant jusqu'à l'Isère l'élément tectonique des Alpes calcaires orientales. Elle était ainsi en superposition ininterrompue sur les plis des Alpes d'Annecy et de Glaris (notamment au-dessus de la région où devait se développer le grand pli glaronnais).

L'érosion fluviale qui a caractérisé la période miocène eut pour effet de démanteler complètement cette nappe dans la partie comprise entre le lac de Thoune et le Rhin, en ne laissant subsister que des lambeaux, les grandes klipptes. Dans la Suisse occidentale et dans le Chablais, où l'érosion fluviale a été bien moins intense, ainsi que l'atteste le faible développement des amas de poudingues miocènes, la nappe resta continue et ne fut, en tout cas, pas aussi morcelée que dans la Suisse orientale. Etant superposée au facies helvétique, la nappe préalpine à facies méditerranéen devait la première servir à l'alimentation de l'érosion miocène, ce qui explique l'abondance des matériaux à facies austro-alpin dans les poudingues miocènes de la Suisse orientale et centrale et la rareté des roches à facies helvétique. Les débris cristallins du poudingue miocène sont empruntés au Flysch.

De cette manière s'explique sans peine et très simplement le second problème énigmatique, celui du caractère austro-alpin des matériaux des poudingues miocènes, en face des chaînes offrant aujourd'hui le facies helvétique.

Dislocations miocènes et postmiocènes.

Pendant la fin de l'époque oligocène, alors que se formait encore la molasse rouge et pendant toute la durée de l'érosion miocène, la progression de la nappe de charriage préalpine a continué à se faire sentir; les plis à facies helvétique, recouverts par cette nappe, furent poussés et culbutés vers le Nord par le surgissement et l'écrasement progressif des massifs cristallins du versant Nord des Alpes. La nappe préalpine s'avança dans son milieu sur les sédiments de la molasse rouge en refoulant partiellement les poudingues au fur et à mesure de leur formation. Dans la partie orientale et occidentale, les segments joints de la nappe préalpine se dénivelèrent en prenant des positions très variées; la nappe de la brèche jurassique fut définitivement jetée sur celle des Préalpes, ne reposant plus qu'en partie sur le Flysch de la zone interne.

L'érosion pliocénique a sans doute continué à creuser ces vallées, suivies déjà par les cours d'eau miocènes. Le Rhin, avec son cours NW par la dépression du lac de Wallenstadt, la Reuss, l'Aar, le Rhône et l'Arve creusèrent de profondes vallées pendant que les dernières dislocations postmiocéniques achevèrent de tracer la configuration tectonique actuelle.

Les plis des terrains à facies helvétique, allant en s'accroissant, finirent par refouler la nappe préalpine d'un bon nombre de kilomètres au NW, dans la région comprise entre l'Aar et l'Arve-Giffre. Resserrée entre les assises miocènes disloquées et redressées et les plis à facies helvétique s'amoncelant à l'intérieur, cette région subit des dislocations intérieures. La zone des chaînes calcaires se plisse et se chevauche localement; il en résulte une sorte de structure imbriquée. Les lambeaux de brèche de la Hornfluh sont resserrés dans les synclinaux jurassiques. La présence du massif de poudingue du Mont-Pélerin, juste entre la grande masse du Flysch du Niesen d'une part et la masse de la Brèche du Chablais d'autre part, produit un rebroussement des plis calcaires, auparavant rectilignes, sur l'axe de la vallée du Rhône. Ces plis se moulent de part et d'autre en arcs de cercle indépendants autour de ces massifs. Dans la Suisse orientale, au NE de la vallée du Rhône, les masses énormes de poudingues arrêtent la progression vers le N autant des plis des hautes Alpes que de la nappe des klippen. Celles-ci restent resserrées dans le synclinal de Habkern-Sarnen-Iberg, tandis qu'au nord l'anticlinal du Pilate surgit en formant un entassement fantastique de replis; au sud, le pli culbuté de la zone glaronnaise subit des contorsions non moins compliquées.

L'absence de poudingue devant le bord des Alpes d'Annecy au SW de l'Arve permet à ces plis de progresser sans obstacle vers le NW. Leurs axes présentent un avancement en arc de cercle à peu près égal à celui des Préalpes du Chablais. Cette poussée horizontale s'est même fait sentir sur le Salève et le Jura¹. On voit distinctement comment, à l'approche de l'Arve, les plis de cette région convergent vers l'Est. Les plus internes passent derrière la nappe préalpine et viennent constituer les Fiz et la chaîne des Dents du Midi. Les plus externes passent sous les Préalpes. Il est donc manifeste que les plis à facies hel-

¹ H. Schardt. Etudes géologiques sur l'extrémité méridionale de la première chaîne du Jura : « Bull. Soc. vaud. Sc. Nat. » XXVII. 1891. Voir la carte et p. 85.

vétique se sont littéralement moulés en tout dernier lieu autour de la nappe des Préalpes.

Pendant que tout cela s'accomplit, il se dessine le long de la vallée de l'Arve-Giffre et sur le parcours de l'Aar deux plis monoclinaux transversaux, entre lesquels le segment entier, représentant aujourd'hui les Préalpes, s'affaisse d'une valeur d'au moins 500 m. C'est cet affaissement qui a surtout préservé la nappe qui constitue aujourd'hui les Préalpes, contre l'effet trop actif des érosions subséquentes. Cet affaissement a été occasionné sans doute par la surcharge extraordinaire résultant de l'avancement considérable des Préalpes sur le plateau miocène et par la présence sur cette nappe, dans cette région seulement, de la seconde nappe, celle de la brèche jurassique. C'est d'ailleurs au Chablais, où cette dernière formation est beaucoup plus épaisse qu'au NE du Rhône, que cet enfoncement est le plus considérable, probablement de plus de 1000 m. J'ai montré d'autre part que ce tassement spécial des Préalpes, en s'ajoutant à l'affaissement général des Alpes, a occasionné la profondeur considérable du lac Léman, et a, en se propageant jusqu'au Jura, motivé la formation des lacs jurassiens sur le parcours des vallées d'érosion de la Thièle, de la Menthue et de la Broye¹.

Enfin, l'érosion pendant et après l'époque glaciaire, a produit encore bien des changements dans la topographie du pays. Mais les grands phénomènes tectoniques auxquels le versant N des Alpes doit sa configuration, se sont arrêtés déjà avant la seconde oscillation glaciaire.

* * *

On a vu combien paraît compliqué l'enchaînement des problèmes que recèle la géologie du versant N de nos Alpes, mais leur solution réside dans la constatation d'un phénomène des plus grandioses et des plus simples en même temps. J'en ai indiqué les traits fondamentaux, il y a bientôt cinq ans. Aujourd'hui, j'ai pu pousser la démonstration plus loin et présenter plus de détails. Mais la démonstration définitive réclame la collaboration de tous. C'est un des plus beaux problèmes qu'il ait été donné à l'homme de scruter. La voie est ouverte, « en avant » et « Glück auf » !

Veytaux, près Montreux, mars 1898.

¹ Note préliminaire sur l'origine des lacs du pied du Jura : « Arch. Sc. phys. et nat., Genève », V, janv. 1898, et *Ecologæ geol. helv.*, V, 257.



