QUELQUES RÉFLEXIONS SUR DES THÉORIES TECTONIQUES RÉCENTES

par Maurice GIGNOUX

Depuis quelques années, nous assistons à un profond bouleversement de nos conceptions sur le mécanisme des plissements de l'écorce terrestre [1]. Et il m'a paru intéressant de confronter ici quelques-unes de ces idées nouvelles; d'abord beaucoup d'entre elles ont été formulées indépendamment, et leur coïncidence est instructive, car elles témoignent précisément d'un désir commun de renouveau de la Tectonique; de plus, certaines de ces idées ont certainement paru par trop audacieuses, ne méritant même pas de retenir l'attention : c'est précisément cette attention que je voudrais éveiller.

Rappelons-nous d'ailleurs qu'il ne s'agit que de *théories*. Une théorie tectonique, c'est une manière de décrire des formes de plissements, des faits d'observation. Car le seul moyen de rendre une telle description claire et attrayante, c'est de la formuler dans un langage qui reflète nos idées sur les causes de ces plissements; une théorie tectonique, c'est donc une forme de langage, tout comme une théorie physique. De même nous employons le langage de la théorie de l'évolution sans pouvoir expliquer le mécanisme de cette évolution; et quand

[1] On trouvera une énumération assez complète des théories tectoniques anciennes dans l'article de Rüger [22]; les chiffres placés entre [ ] renvoient à la liste bibliographique donnée ici.

nous dirons tout à l'heure que les plis du Jura et ceux des chaînes subalpines résultent du glissement, sous l'influence de la gravité, du manteau sédimentaire des Alpes sur le talus externe de la chaîne, nous ne voyons pas pourquoi nos lecteurs seraient plus choqués que lorsqu'on leur a affirmé que le Cheval descendait du *Palaeotherium*. Et de même que l'emploi du langage de l'évolution a été profitable au développement de la Paléontologie, de même je crois que le vocabulaire de ces théories tectoniques nouvelles, même et surtout des plus audacieuses, sera un stimulant qui ouvrira des voies neuves aux études sur le terrain.

⁂

Pendant longtemps, les géologues ont été à peu près unanimes à expliquer les plissements des chaînes de montagnes par une *contraction générale de l'écorce terrestre,* conséquence du *refroidissement* du globe. Mais la réalité même de ce refroidissement, au moins pendant les ères géologiques accessibles à nos observations, est apparue de plus en plus douteuse. Ainsi il est certain que, dès le début de l'ère primaire, il y a eu de véritables périodes glaciaires, témoignant de températures moyennes analogues à celles des temps quaternaires et modernes; de sorte que si réellement la terre s'était un peu refroidie depuis le début du Primaire, la diminution du rayon terrestre correspondant à ce refroidissement n'a certainement pas été suffisante pour expliquer la contraction d'ensemble dont témoigneraient les importants plissements survenus depuis ces temps lointains. D'autre part, la découverte des phénomènes de désintégration des minéraux radioactifs, phénomènes qui libèrent sans cesse de l'énergie, a rendu les géophysiciens fort perplexes : certains d'entre eux se demandent si notre globe, bien loin de se refroidir, ne va pas en se réchauffant [2].

[2] Voir J. Goguel, La chaleur interne du globe et la radioactivité (*C. R. somm. Soc. géol. France,* 17 mars 1941).

De sorte que la théorie de la contraction, du moins d'une contraction généralisée de l'écorce terrestre, n'a plus aujourd'hui beaucoup de partisans.

Il lui a succédé la *théorie des dérives continentales,* dite aussi *théorie de Wegener* (« épéirophorèse » de SALOMON-CALVI). Réduite à ses traits essentiels, elle consiste à admettre que l'écorce terrestre est formée de la juxtaposition de blocs continentaux rigides, mobiles les uns par rapport aux autres, et séparés par des dépressions océaniques, géosynclinales, où l'écorce solide, plus mince et plus souple, peut se plisser par contraction ou se distendre par extension, suivant que les blocs continentaux qui les bordent se rapprochent ou s'écartent.

La théorie de WEGENER a trouvé en E. ARGAND un génial commentateur : dans un langage imagé et séduisant, le regretté tectonicien suisse en a déduit une description explicative de toutes les chaînes plissées du globe; et encore aujourd'hui, c'est ce langage qui est adopté par la plupart des géologues alpins.

Ces deux théories ont d'ailleurs un point commun : elles recourent toutes deux, pour expliquer les phénomènes de plissements, à des forces tangentielles profondes, dues au rapprochement de deux compartiments de l'écorce terrestre, donc à un « serrage ». La théorie des dérives continentales revient ainsi, par un détour, à la vieille théorie de la contraction, mais elle lui attribue d'autres moteurs, et surtout elle *localise* cette contraction, au lieu de l'étendre à la surface entière du globe. Elle distingue, en somme, deux sortes de régions : celles où, entre deux masses qui dérivent, il y a « serrement », et celles où ce serrement est compensé par une distension de valeur égale. Pour WEGENER et pour ARGAND, cette distension se traduit par la formation d'une véritable fente de l'écorce terrestre, fente qui en met à nu le tréfonds, l'hypothétique « sima », sur lequel flottent les continents en dérive; la largeur de cette fente mesure la contraction résultant, dans les régions voisines, du rapprochement des deux blocs qui s'affrontent.

⁂

Mais une autre notion est venue, depuis longtemps déjà, introduire dans ces problèmes une donnée nouvelle : c'est celle des *décollements*. Dans la tectonique classique, on considérait qu'il n'y avait pas, dans la série des terrains superposés sur une même verticale, de déplacements différentiels importants. Autrement dit, dans deux tranches verticales d'écorce terrestre qui se rapprochent à la suite d'une contraction, on admettait que les sommets de ces tranches s'étaient, après plissement, rapprochés l'un de l'autre à peu près autant que leurs bases.

Or l'étude de très nombreuses régions, par des géologues différents, sous des points de vue divers, a au contraire montré de nombreux exemples d'importants mouvements horizontaux différentiels sur une même verticale. Pour simplifier, et c'est là un cas très fréquemment réalisé, nous pouvons supposer que ces mouvements différentiels se localisent le long d'une seule surface horizontale, qui sera une « *surface de décollement* ». Le plus souvent, c'est le complexe supérieur qui sera le plus plissé, et ses plis seront « disharmoniques » par rapport à ceux du complexe inférieur, moins ou pas du tout plissé [3]. Ici,

---

[3] Dans certains cas, et en particulier dans de nombreux bassins houillers, il arrive au contraire que les plissements se compliquent progressivement quand on descend en profondeur; ainsi un accident qui, dans le tréfonds du bassin, correspond à un pli-faille avec chevauchement, ne se traduit plus, dans les couches superficielles les plus récentes, que par une simple ondulation anticlinale. P. Pruvost [21] a décrit récemment de tels exemples dans le Bassin houiller du Nord de la France; et les géologues allemands avaient fait les mêmes constatations pour le Bassin de la Ruhr (Bärtling [1]). Tout cela s'explique en admettant que les plissements se sont produits progressivement, au fur et à mesure du remplissage du bassin; il n'y a donc pas disharmonie au sens où nous venons d'employer ce terme.

Enfin, dans la chaîne alpine, on connaît aussi des exemples de véritables disharmonies, mais où les plissements deviennent plus compliqués en profondeur. Tel est le cas, signalé depuis longtemps par E. Haug,

comme on le voit, nous sommes conduits à admettre que les forces ayant produit les plissements sont superficielles : leurs effets ne sont visibles qu'au-dessus de la surface de décollement. Si, dans la tranche verticale considérée, il y a une assise qui soit plus particulièrement plastique, il est évident que c'est là que se localisera le décollement : cette assise jouera le rôle de « *lubréfiant* ».

Toutes les formations *argileuses* sont prédestinées à jouer ce rôle, et les recherches récentes ont montré que la perméabilité et la plasticité d'une argile colloïdale [25] étaient en rapports étroits avec la nature des sels (chlorures, sulfates, etc.) dissous dans les eaux d'imprégnation. Comme GOGUEL [10] le rappelait encore récemment, « les eaux gypsifères circulant dans une masse argileuse peuvent la rendre très fluide par suite de phénomènes de défloculation ». Ainsi les argiles ou marnes *salifères* seront tout particulièrement plastiques et fluides.

C'est ainsi que, dans toute l'Europe occidentale, les formations salifères du Permien supérieur, du Trias moyen (groupe de l'anhydrite) et supérieur (Keuper) peuvent constituer des surfaces ou zones de décollement. C'est le cas pour le Zechstein salifère allemand. On sait que tout le Jura est décollé sur le Trias salifère, comme BUXTORF [2] l'a le premier formulé, comme FAVRE [4] l'a confirmé, et comme M. LUGEON [16] vient de le redire avec beaucoup de force (voir plus loin). J'ai moi-même [7] insisté sur le rôle tout particulier que joue le Trias salifère dans la tectonique de toutes les zones des Alpes

---

de la coupe de la cluse de l'Arve, montrant les plis subalpins (ou helvétiques) entre Cluses et Sallanches. Là, sous une épaisse carapace urgonienne, peu contournée, le Jurassique supérieur et, plus encore, le Dogger, décrivent des ondulations très accentuées et même des plis couchés; ici la moindre contraction apparente des couches supérieures est compensée par l'avancée d'ensemble de leur carapace qui déborde sur l'avant-pays, tandis que les couches inférieures, plissottées sur place, n'ont pas participé à cette translation.

françaises; rappelons par exemple le saisissant contraste que l'on peut observer autour du dôme houiller de Barles (N de Digne) entre l'allure tranquille des grès triasiques qui revêtent régulièrement le Houiller et les plissements intenses et désordonnés du Trias supérieur et du Jurassique qui enveloppent ce dôme.

Enfin de beaux exemples de cette tectonique de décollement nous sont montrés par les plis de Provence et par ceux des Alpes méridionales : on retrouve là des structures analogues à celles que H. STILLE a décrites dans la chaîne saxonienne : le « style déjectif » de STILLE se reproduit trait pour trait, comme je l'ai depuis longtemps ([7], p. 336, note 1) indiqué dans les curieux fossés synclinaux du Sud-Est de la feuille de Castellane, autrefois considérés à tort comme des fenêtres à travers une nappe de charriage.

Dans tous ces divers cas, il y a eu « *froncement* » des complexes supérieurs, surmontant l'assise lubréfiante; cette dernière viendra remplir les boucles anticlinales dessinées par le complexe froncé; et cet appel de matière se traduira par des *migrations* ascendantes, qui, si la boucle se distend et se crève, conduiront au phénomène maintenant classique du « *diapirisme* ». Enfin, pour alimenter ces appels de matière, il faudra nécessairement que, dans le tréfonds, au contact du complexe inférieur qui ne s'est pas froncé, il y ait aussi des migrations, qui seront cette fois latérales ou horizontales. L'assise plastique, renflée et boursouflée dans les boucles, va donc s'amincir et se laminer entre ces boucles.

J'ai attiré autrefois [7] l'attention sur un bel exemple de migration horizontale dans le Zechstein germanique : c'est le cas du synclinal de Mansfeld, décrit par FULDA [5]. Les sondages faits au milieu de ce synclinal ont montré que le Permien salifère y était beaucoup moins épais que sur les bords, là où les couches se relèvent le long des anticlinaux de bordure.

De même, autour de nos massifs cristallins alpins (Belledonne, Grandes-Rousses, Pelvoux), le Salifère triasique a presque entièrement disparu du revêtement de ces massifs pour émigrer dans les boucles ou les lames anticlinales qui s'insinuent dans la couverture jurassique.

De même encore, M. LUGEON [16] suppose que les boursouflures et les injections de Trias salifère sous les froncements des plis du Jura ont été alimentées par des migrations latérales venues de ce même Trias dans le tréfonds de la cuvette tertiaire suisse, entre Alpes et Jura.

De tout ceci découlent, si l'on y réfléchit, diverses conséquences.

Ces froncements superficiels, qui résultent ainsi de la « tectonique de décollement », deviennent presque impossibles à expliquer par le jeu classique des forces dites « tangentielles », dérivant de contractions, soit d'une contraction générale de l'écorce, due au refroidissement, soit à des contractions locales, dues au rapprochement de deux blocs continentaux en dérive.

La contraction générale due au refroidissement, nous avons déjà dit que personne n'y croyait plus guère. Et quant au resserrement entre deux blocs continentaux, il peut bien nous expliquer les plissements des chaînes géosynclinales séparant ces blocs; mais par quel mécanisme aurait-il pu produire des plissements en avant de ces chaînes, à la surface même des blocs continentaux? Ce sont là, précisément, les plissements dont E. ARGAND a très fortement fait ressortir les traits particuliers, en les appelant des « *plis de couverture* ».

Mais, chose curieuse, et sur laquelle M. LUGEON [16] a eu grandement raison de rappeler l'attention, E. ARGAND n'a jamais voulu ou pu préciser leur moteur [4]. On pourrait penser qu'ils résultent d'une sorte de « vis a tergo », d'une poussée

[4] De même, comme le fait encore remarquer M. LUGEON, quand, en 1934, J. FAVRE définissait le Jura « une gigantesque nappe de glissement plissée », il ne disait rien du moteur de ce glissement.

s'exerçant par l'arrière, venant de la région géosynclinale, et que la couverture transmettrait à grande distance, jusque sur le domaine lointain des masses continentales. Une telle conception paraît bien difficile à admettre; car si la couverture se plisse, cela montre justement qu'elle ne peut pas transmettre les pressions à grande distance; elle les amortit en dissipant leur énergie dans ses plis.

Quel est donc le moteur de ces plis de couverture, puisqu'il ne peut être trouvé ni en arrière dans les géosynclinaux, ni dans le socle même de la couverture, puisque ce dernier n'a bien souvent pas du tout participé aux plissements formés au-dessus de ce socle? Il faut nécessairement que ce soit un moteur local et superficiel, résidant dans les couches froncées elles-mêmes. Pourquoi ne serait-ce pas la *gravité ?* Le froncement résulterait alors d'un « *écoulement* ».

Nous rejoignons ainsi des idées qui avaient été formulées, assez timidement, par les premiers tectoniciens qui purent démontrer la réalité des nappes alpines. Appliquant aux Préalpes romandes la notion des « nappes de charriage » que M. Bertrand venait de découvrir dans d'autres régions, H. Schardt [23] s'exprimait ainsi en 1893 : « Le mécanisme d'une grande nappe glissant sur une masse de détritus, ou du terrain plastique (gypse, etc.), surtout si l'on admet une certaine pente, déterminant presque un mouvement spontané sous l'action de la pesanteur, s'explique tout au moins aussi facilement que celle d'un horst cristallin écrasé et étranglé, dont la couverture sédimentaire aurait chevauché de tous les côtés ». Plus timidement encore, et sans prononcer le mot de « pesanteur », s'exprimera dès 1896 M. Lugeon [15], le génial rénovateur de la tectonique alpine : « Le mouvement alpin... aurait commencé à se faire sentir dans les temps éocènes par un bombement général de la zone centrale de l'éventail alpin... Du sommet ou des flancs de ce dôme immergé encore sous les eaux nummulitiques se seraient décollées des masses considé-

rables, formant une grande bande, les Préalpes médianes, et les débris de cette nappe, les klippes. La masse glissante... aurait alimenté le Flysch en formation, suivant l'hypothèse de M. SCHARDT. »

Mais ces fugitives allusions au rôle possible de la pesanteur furent bientôt oubliées, devant la vogue naissante de la théorie des dérives continentales. En effet, vint alors, pour les tectoniciens alpins, la « période argandienne ».

E. ARGAND, M. LUGEON, P. TERMIER, enfin R. STAUB s'appliquèrent à décrire, en un langage imagé, les multiples détails de ces phénomènes de charriage, auxquels notre incapacité à en bien saisir le mécanisme ajoutait une sorte d'attrait, à la fois mystérieux et mystique, atmosphère qui n'était guère propre à nous ramener aux problèmes plus terre-à-terre du mécanisme concret de ces charriages.

De fait, la tectonique devint de plus en plus une sorte de géométrie descriptive, où les sédiments étaient réduits au rôle de volumes abstraits, dénués de propriétés physiques différentielles : le rôle des écoulements, de la plasticité, du diapirisme, tendit à s'effacer.

Pendant ce temps, et, semble-t-il, d'une manière indépendante, sans être influencé par les théories tectoniques nées dans les Alpes, E. HAARMANN [11] édifiait, sur des bases purement spéculatives, une tentative d'explication des phénomènes orogéniques. Pour lui, à l'origine de tout plissement, il y a la formation d'un bombement localisé de l'écorce terrestre, d'une « *intumescence* (géotumeur) »; c'est là le fait primordial, la « *tectonique primaire* ». Puis, sur les flancs de cette intumescence, les sédiments glissent et s'écoulent par gravité, en se fronçant; ainsi naissent les plissements que nous observons dans les couches superficielles de l'écorce terrestre; et cette tectonique, la seule dont les effets soient bien manifestes, la seule que l'on cherche d'ordinaire à expliquer, n'est en réalité qu'une « *tectonique secondaire* », une simple conséquence de

la formation des intumescences. Nous retrouvons d'ailleurs là quelques conceptions d'ARGAND : les intumescences d'HAARMANN nous rappellent les plis de fond du tectonicien suisse; et les plis de couverture d'ARGAND représentent la « tectonique secondaire » d'HAARMANN, dont le moteur serait la gravité.

Et, pour illustrer cette *théorie de l'écoulement par gravité,* HAARMANN reproduit, entre autres ([11], fig. 27, 35, 36, 42), des coupes des plis du Jura, des nappes helvétiques de la Suisse centrale, des nappes préalpines du Chablais.

Animé d'un véritable zèle apostolique, HAARMANN provoqua, par l'intermédiaire de la Société géologique allemande, une sorte de plébiscite relatif à ses théories. Et l'on trouvera, dans le Vol. 83 (1930) du Bulletin de cette Société, toute une série d'articles, brefs ou très développés, dans lesquels 29 géologues de diverses nationalités [5] donnèrent leur avis sur les idées d'HAARMANN. Le résultat de ce plébiscite ne fut guère encourageant; presque tous les géologues ainsi consultés, tout en reconnaissant l'intérêt qu'offrait, par certains côtés, l'ouvrage de leur confrère, se prononcèrent, en particulier, contre la notion d'un écoulement par gravité.

Les raisons d'un tel accueil sont multiples et faciles à comprendre. D'abord HAARMANN n'avait pas travaillé personnellement dans des chaînes récentes à structure compliquée, du type alpin : beaucoup de tectoniciens ne le jugèrent nullement qualifié pour bâtir de nouvelles théories tectoniques. De plus,

---

[5] Ce sont R. BÄRTLING, O. BARSCH, A. BORN, S. VON BUBNOFF, H. CLOOS, R. A. DALY, W. A. J. M. WATERSCHOOT VAN DER GRACHT, J. W. GREGORY, O. GRUPE, H. HARASSOWITZ, E. HENNIG, L. KOBER, E. KRAUS, P. KRUSCH, E. KUMMEROW, K. LEHMANN, K. LEUCHS, C. R. LONGWELL, F. LOTZE, D. MUSCHKETOW, H. QUIRING, W. E. SCHMIDT, C. SCHUCHERT, J. J. SEDERHOLM, E. SEIDL, F. E. SÜSS, H. DE TERRA, N. TILMANN, BAYLEY WILLIS. Si l'on y ajoute des analyses critiques publiées ailleurs, en particulier par O. AMPFERER, C. R. LONGWELL, E. POTONIÉ, W. STAUB, R. WEDEKIND, etc. (références citées dans [11]), on voit combien sont nombreux les géologues qui ont eu l'occasion de donner leur avis sur la théorie de l' « écoulement par gravité ».

il eut le tort, semble-t-il, d'insister surtout sur sa « tectonique primaire », qui en réalité n'apporte rien de bien nouveau, ni de bien clair. Nous savons depuis longtemps qu'il y a actuellement, et qu'il y a toujours eu au cours de l'histoire géologique, des régions où l'écorce terrestre se soulève et d'autres où elle s'abaisse : inutile de s'évertuer à le prouver et surtout à l'expliquer, ce qui peut conduire à des hypothèses bien aventureuses: faire appel ici à des « *courants magmatiques* profonds » (Unterströmung d'AMPFERER) n'est que reculer le problème et recourir à un *deus ex machina* aussi complaisant que mystérieux. Personne ne doute de la réalité des « courants magmatiques »; mais nous n'avons absolument aucune idée de leur régime : on peut en les invoquant expliquer tout ce que l'on veut. Ainsi pour HAARMANN les « orogènes » sont des zones de courants magmatiques ascendants, puisqu'à leur origine il y a la formation d'une intumescence; au contraire, pour KRAUS (voir [8]), ces mêmes orogènes sont des « zones de succion », provoquant sur leurs flancs, par « sous-charriages », la formation de nappes de recouvrement : les orogènes deviennent alors des zones de courants magmatiques descendants.

Par contre, HAARMANN passe beaucoup plus rapidement sur sa « tectonique secondaire », la seule pourtant qui eût pu être étayée sur des observations précises, sur des descriptions de régions plissées. Et il tire, de ses conceptions théoriques, des conséquences manifestement inadmissibles, et que ses contradicteurs n'ont pas manqué de souligner aussitôt. Par exemple, pour lui, seuls les sédiments meubles peuvent se plisser, à l'exclusion des roches cristallines; les grandes vallées glaciaires, dites « en auge », dans les Alpes ou dans les fjords de Norvège, sont pour HAARMANN dues à des fractures, accompagnées de distensions : ce seraient en quelque sorte des « crevasses d'arrachement » restées béantes dans les régions de départ des écoulements sur les flancs des intumescences, etc. Il est toujours dangereux, d'une part de faire appel à de mauvais

arguments en faveur d'une bonne thèse, et d'autre part de vouloir trop généraliser une théorie et d'en étendre démesurément les conséquences.

⁂

Et si nous assistons maintenant à un regain de faveur de cette tectonique d'écoulement par gravité, c'est sous une forme beaucoup plus modeste et plus concrète.

De fait, cette théorie s'est imposée à D. SCHNEEGANS [24] et aussi à L. MORET et à moi-même [9] comme une explication possible des multiples plissements du *Flysch à Helminthoïdes* de l'Embrunais et de l'Ubaye. Voici une formation qui nous montre, empilés sur plus de 1.000 m. d'épaisseur, des lits alternants de quelques centimètres ou décimètres de schistes et de calcaires ou grès, reployés en innombrables charnières régulières, nullement laminées. Les empreintes d'Helminthoïdes qui se dessinent par milliers à la surface de ces bancs ne sont ni tronçonnées ni déformées le moins du monde. D'ailleurs le Flysch à Helminthoïdes est la formation la plus récente que nous connaissions dans cette partie des Alpes : elle n'a jamais supporté de surcharge, ni subi de compression latérale. On est donc naturellement incliné à croire que les forces qui l'ont plissée ne lui étaient pas transmises d'ailleurs : elles résidaient dans son sein même : et ce ne peut guère être que la gravité.

D'un point de vue plus général, j'avais [8] attiré déjà, à la suite de beaucoup d'autres (KRAUS, AMPFERER, etc.) l'attention sur les difficultés mécaniques auxquelles se heurtent les synthèses tectoniques classiques : « Il est par exemple bien difficile de concevoir comment les nappes préalpines, simple pellicule, épaisse de quelques kilomètres, ont pu cheminer, poussées par l'arrière, depuis les environs d'Ivrée jusqu'aux abords de Fribourg, sur plus de 150 kilom. de distance. »

Le *film cinématographique* dans lequel L. MORET [20] a si heureusement reconstitué, en dessins animés, l'histoire des Alpes françaises, nous force aussi à conclure dans le même sens. Il est facile de dessiner une coupe des Alpes et de l'expliquer avec des théories orogéniques. Mais le problème change d'aspect lorsqu'il s'agit d'animer cette coupe et de figurer effectivement la naissance et la progression des nappes. A tous ceux qui ont vu ce film est apparue l'impossibilité d'expliquer l'avancée des nappes alpines uniquement par une poussée venant de l'arrière : l'auteur du film a été en quelque sorte forcé de dessiner cette avancée comme un glissement sur le plan incliné que constituait l'avant-pays des nappes.

Et maintenant, c'est M. LUGEON qui, délaissant partiellement les synthèses et le vocabulaire d'ARGAND-WEGENER, reprend les idées en germe chez les premiers pionniers (dont il fut) de la tectonique alpine, et vient, dans trois notes successives [16, 17, 18], de se rallier, avec D. SCHNEEGANS et E. GAGNEBIN, à la théorie de l'écoulement par gravité. La dernière de ces notes [16] nous décrit d'une façon particulièrement précise la formation des « plis de couverture » du Jura, nés du froncement de cette couverture glissant sur la surface de décollement constituée par le Trias salifère : « Une conclusion s'impose, impérieuse », dit-il, « la force qui a plissé le Jura ne peut être que la pesanteur ».

Enfin, et tout récemment, c'est un géologue de l'Ecole de Genève, A. LOMBARD [14], qui vient de se déclarer séduit par la nouvelle théorie.

Mais, si l'on veut bien en poursuivre jusqu'au bout les conséquences, une telle théorie tectonique entraîne, comme l'avait déjà vu HAARMANN, une conclusion imprévue et qui paraîtra sans doute bien audacieuse.

⁂

Dans la théorie des dérives continentales, la contraction des « serres » constituées par les blocs continentaux qui se rapprochent est nécessairement compensée par les fentes progressivement élargies qui viennent, dans les régions de distension, marquer les zones d'écartement de ces blocs; ce sont ces fentes qui, remplies dans le bas par l'hypothétique sima, deviennent en surface les grandes fosses océaniques; leur largeur mesure le rapprochement des serres.

Dans la théorie de l'écoulement par gravité, comment est compensé le raccourcissement, la contraction superficielle dont témoignent les plis de couverture ? Il n'y a point ici de montée du sima, ni d'abîmes océaniques béants. Nous sommes ainsi forcés d'admettre que, au fur et à mesure que la couverture sédimentaire venait se plisser et se contracter sur l'avant-pays, son extrémité arrière, entraînée progressivement, devait découvrir, « *dénuder* » en quelque sorte, l'intumescence aux flancs de laquelle elle s'écoulait, en y laissant apparaître à nu le tréfonds de la surface de décollement.

De sorte que si, aujourd'hui, nous voyons, derrière le Jura lointain, derrière les chaînes subalpines proches, se dresser les hautes aiguilles des massifs cristallins que recouvrait autrefois le manteau sédimentaire, cette dénudation n'est point l'œuvre de la seule érosion; il faut nécessairement qu'une lacune, une boutonnière, soit apparue dans cette couverture, avec une largeur correspondante à celle de la contraction que nous montre cette même couverture dans les chaînes subalpines et le Jura.

De fait, dans *chaque secteur* des Alpes, *l'époque* où, sur le front Nord de la chaîne, les torrents commencent à apporter dans la dépression périalpine des galets cristallins arrachés aux socles hercyniens dénudés, est précisément l'époque où se sont

déclenchés les grands charriages, les grands glissements qui, dans les zones de départ, ont amené la « dénudation » du tréfonds hercynien.

En Suisse, au front des nappes préalpines, qui ont roulé sous elles les plis helvétiques, les galets cristallins apparaissent dans les « alluvions de piedmont » dès l'Oligocène. Et précisément E. GAGNEBIN ([6], p. 681) vient de démontrer que le principal charriage des Préalpes date de la fin du Stampien ou du début du Chattien. En France au contraire, au front des chaînes subalpines, le Pontien ne montre encore que peu de galets cristallins; et de fait le froncement du Jura et des chaînes subalpines est certainement postérieur au Miocène [6].

Des coïncidences analogues entre plissements et dénudations nous sont aussi manifestées pendant des périodes bien plus anciennes. Ainsi, dans les chaînes subalpines méridionales, Bochaine et Dévoluy, qui bordent au Sud et au Sud-Ouest le Pelvoux, on connaît des plis antésénoniens et anténummulitiques qui témoignent de froncements très intenses; or c'est précisément sur cette même bordure que le Sénonien du Dévoluy contient des bancs d'arkoses (P. LORY) et que l'Eocène marin transgressif recouvre directement le Cristallin.

Ainsi, entre froncement et dénudation, il y a une simultanéité qui s'explique si l'on suppose que ces deux phénomènes résultent d'une même cause. Ce n'est d'ailleurs point là un argument péremptoire; car nous pouvons supposer aussi que la dénudation est due à une érosion consécutive au plissement.

Mais la théorie de l'écoulement permet en revanche de ré-

---

[6] Et, soit dit en passant, cela nous montre bien que la chaîne alpine ne se compose pas de grandes zones longitudinales se poursuivant d'un bout à l'autre des Alpes : telles les grandes unités tectoniques, les grandes nappes qui, dans les coupes d'ARGAND et de KOBER, se retrouvent partout, avec une implacable continuité, entre le bassin de Vienne et la Méditerranée, et même jusqu'en Corse. Les Alpes nous montrent au contraire une succession de « *festons* » [9], ayant chacun une extension limitée et une histoire particulière, et qui se relayent tout le long de la chaîne.

soudre, ou mieux d'esquiver, un problème qui a toujours paru obscur : c'est celui de *l'emplacement des racines* des nappes préalpines et helvétiques, des plis couchés subalpins et des recouvrements provençaux : nous n'avons plus besoin de rechercher les profondes cicatrices d'où aurait jailli le trop-plein de matière nécessaire pour nourrir ces nappes et ces plis empilés : c'est l'ensemble de la couverture des massifs hercyniens qui se serait déplacé, écoulé en bloc; la zone de départ serait apparue comme une plaie béante, non comme une cicatrice comprimée.

⁂

Et maintenant, est-ce à dire que *tous les plissements s'expliquent par la gravité ?* Cela paraît bien impossible à admettre, en particulier pour les parties axiales des chaînes dites « géosynclinales », par exemple pour les plis et nappes penniques des Alpes. Et surtout, contrairement à ce qu'a prétendu HAARMANN, nous connaissons beaucoup de régions où le tréfonds ancien a participé aux plissements : tels sont les « coins sédimentaires » encastrés dans les massifs hercyniens des Alpes (Aar, Pelvoux), ou inversement les lames cristallines enserrées dans la couverture sédimentaire (ex., nappes helvétiques de la Suisse orientale, lame de gneiss du versant N du Col de Balme, entre Mont-Blanc et Aiguilles-Rouges, lame cristalline du synclinal de Venosc, entre Belledonne et Grandes-Rousses, lame granitique de la Croix de Ciboui, sur le bord oriental du Pelvoux, etc.). Aussi M. LUGEON [16] fait-il intervenir à la fois nos deux « *moteurs* », les *contractions* et la *gravité :* « Du domaine alpin, les nappes sont poussées par les divers écaillements du tréfonds hercynien, car on s'aperçoit que toutes les nappes ont des noyaux cristallins d'âge antécarbonifère. Ces poussées sont dues à la dérive continentale. Il y a accumulation du matériel sédimentaire neuf et celui-ci, par le fait du bombement de la première zone des plis de fond, commence à glisser par pesanteur sur l'avant-pays. »

Bref, pour le moment, le rôle de la gravité ne paraît s'imposer que dans le cas des véritables plis de couverture, surmontant ou non une surface de décollement, c'est-à-dire pour ce que nous avons appelé des « *froncements* », ou pour des « *écoulements superficiels tourbillonnaires* » (cas du Flysch à Helminthoïdes).

Par contre, P. FALLOT n'a pas eu de peine à montrer que les plis de la bordure mésozoïque orientale du Bassin de Paris (Lorraine) ne devaient rien à la gravité; là en effet, il n'y a pas eu décollement sur le Keuper salifère, qui est resté tranquille et n'a été affecté d'aucune migration; ces plis ne sont pas de véritables plis, mais le reflet superficiel des ondulations du socle profond, ondulations dues à des mouvements verticaux d'affaissement et de soulèvement; ce sont, dans le langage d'ARGAND, des plis de fond élémentaires.

D'ailleurs le véritable nœud de la question n'est pas là : il est probable que l'on n'arrivera jamais à prouver la réalité ou la fausseté de la théorie de l'écoulement par gravité par la seule description de structures figées. Et, par derrière les nombreuses discussions auxquelles a donné lieu la théorie, pardessus les divers cas particuliers qui ont été invoqués pour ou contre elle, il y a, plus ou moins consciemment formulée, une *question préalable* fondamentale, qui domine tous les débats. Il s'agit avant tout de savoir si, mécaniquement, on peut concevoir que les roches, qui sont des *solides,* ont pu *couler avec des pentes* du même ordre de grandeur que celles qu'ont dû avoir les talus de nos chaînes de montagnes, c'est-à-dire *très faibles;* c'est un *problème de Mécanique physique,* non de Géologie. Quand on pose la question à un géologue ou à un physicien des vieilles écoles, il ne se donne même pas la peine de discuter le problème. Mais la réaction est toute différente quand on s'adresse à un physicien dont l'esprit critique a été assoupli par les jeux de la relativité : celui-là est habitué à évoluer dans des échelles de temps et d'espace où les expé-

riences de la Physique vulgaire perdent toute signification : il voit des verres amorphes et isotropes s'organiser d'eux-mêmes, sous l'action du temps, en groupements cristallins, ce qui suppose des déplacements moléculaires; il voit les cristaux s'affaisser sous leur propre poids, il connaît des « migrations à l'état solide » (R. PERRIN), il sait mesurer la viscosité d'un acier; pour lui la différence entre un solide et un liquide est non seulement une question de forces, mais aussi une question de temps [7].

Et cela nous permet de répondre à une objection souvent formulée : si les roches solides peuvent couler, comment se fait-il que nos vallées montagneuses, à pentes infiniment plus fortes que les talus sur lesquels les sédiments auraient coulé, ne soient pas rapidement comblées par l'écoulement de leurs

---

[7] A ce sujet, qui sort tout à fait de ma compétence, je ne saurais trop recommander la lecture de l'intéressante étude de MM. R. MAILLET et R. PAVANS DE CECCATY [19], qui reprennent l'étude mathématique des « modèles réduits » par lesquels de nombreux géologues ont tenté de nous donner une image des phénomènes tectoniques. J'en extrais seulement les passages suivants :

« Si, de notre courte vie humaine, nous voulons consacrer dix ans à reproduire en miniature une chaîne de montagnes, alors que ce phénomène a duré, en réalité, une dizaine de millions d'années..., le module de réduction des longueurs devra être... le rapport qui existerait entre la terre entière et une boule de 4/100es de millimètre de circonférence... La matière qu'il nous faudrait employer dans le modèle réduit pour le soumettre à l'action de la pesanteur devrait être à la fois extrêmement compressible et extrêmement peu visqueuse...; il faudrait songer à des liquides légèrement visqueux, tels que les solutions de gélatine ou de la pâte dentifrice diluée... Si l'on imagine une telle substance placée sur un plan incliné, même de très faible pente, elle s'écoulera en donnant naissance à des plis... On voit que l'introduction du raisonnement logique nous amène à concevoir de la manière la plus simple le cheminement des nappes à grande distance de leurs racines, par un écoulement dû à la seule pesanteur, et sans qu'il soit nécessaire d'introduire des hypothèses aussi singulières, aussi improbables, que celle du traîneau écraseur de Termier... Il est bien remarquable que le modèle réduit nous montre la possibilité de ce phénomène (glissement des sédiments sur un substratum incliné, sous le jeu de la pesanteur)... au moment même où divers tectoniciens arrivent, par une voie purement cinétique, à postuler la nécessité d'un tel déplacement. »

versants? Il nous suffira alors de reprendre la comparaison, que HAARMANN avait déjà faite, et que j'ai suggérée ailleurs, avec l'*écoulement de la glace* des glaciers.

La masse d'un glacier s'écoule, et sous une pente absolument insignifiante. Il y a dans cette masse de nombreuses surfaces de décollement élémentaires, séparant des tranches emboîtées et glissant les unes sur les autres avec des mouvements différentiels qu'ont mis en évidence les expériences de CHAMBERLIN [3] [8]. Cet « écoulement laminaire » de la glace lui donne sa structure schisteuse rubanée; il n'y a pas ici de « froncements » (qui correspondraient à un « écoulement turbulent »), car il n'y a pas dans la masse du glacier de zone particulièrement plastique qui puisse migrer pour son compte. Par contre, dans la partie frontale du glacier, les assises schisteuses peuvent se recourber en capricieuses ondulations; et certains des dessins reproduits par HAARMANN [11] [9] nous montrent, dans les plissottements multiples de la glace, des apparences analogues à celles que nous décrivions tout à l'heure pour le Flysch à Helminthoïdes de l'Embrunais-Ubaye.

Tout cela donne bien l'idée d'un écoulement d'ensemble, avec diverses modalités locales qui rappellent celles de l'écoulement d'un fluide; ici cet écoulement ne peut être dû qu'à la gravité, avec une pente absolument insignifiante, qui est celle de la surface du glacier, vue dans son ensemble.

Pourtant, dans le détail, la surface de ce glacier est très accidentée; les ruisseaux y creusent de petites vallées, les tor-

---

[8] Ces expériences ont même montré que ces mouvements étaient parfois discontinus et saccadés, avec des phases de ruptures brusques succédant à des périodes de repos ou de lente tension, comme on l'a admis pour les mouvements de l'écorce terrestre manifestés par les tremblements de terre. C'est ce que R. MAILLET et R. PAVANS DE CECCATY [19] ont appelé la « tectonique de choc », opposée par eux à la « tectonique d'écoulement ».

[9] On pourra voir aussi les magnifiques photographies de J. BROCHEREL, « Pseudo-stratification du glacier de la Brenva » (*Augusta Praetoria. Revue valdôtaine*, 5e année, nos 11-12, Aoste, 1924).

rents s'y précipitent en profonds « moulins », les ruptures de pente se traduisent par des crevasses béantes, à parois verticales. C'est que tous ces phénomènes évoluent dans des échelles de temps bien différentes de celle de l'écoulement d'ensemble du glacier. Regardé avec une unité de temps suffisamment petite, par exemple pendant une minute, le glacier paraît rigoureusement immobile et figé; si l'unité de temps augmente et devient par exemple une journée, on voit alors la surface se ciseler sous l'action des ruissellements, et les crevasses s'ouvrir. Mais il faut une unité encore plus grande, par exemple le mois ou l'année, pour se rendre compte que le glacier coule.

De même pour les montagnes; au simple promeneur leurs formes paraissent éternellement immuables et figées; le géographe les voit incessamment rongées et sculptées par l'érosion; mais seul le géologue peut concevoir l'écoulement majestueux et infiniment lent qui en fronce peu à peu les assises au-dessus d'une surface de décollement.

⁂

Nous venons de voir à la fois les séductions et les dangers de cette notion de l'écoulement par gravité; il serait peut-être imprudent de l'ériger en théorie trop générale. Or, il est facile de constater que, dans nos théories géologiques, le danger réside principalement dans l'emploi d'un vocabulaire spécialement créé; on forge des termes nouveaux pour appuyer de vagues hypothèses, et peu à peu la précision de ces termes finit par faire illusion et par faire oublier la fragilité de leurs bases. Qu'y a-t-il de vraiment précis et concret derrière des expressions telles que « phase insubrienne », « Unterströmung », « bâti liminaire », etc. ? Les physiciens, qui raisonnent sur des nombres, sont bien obligés de formuler avec précision tous les termes qu'ils emploient dans l'exposé de leurs théories; mais nous, naturalistes, qui sommes qualitatifs plutôt que

quantitatifs, ne vaut-il pas mieux, pour raconter nos théories géologiques, nous contenter d'assembler en symboles et en images des mots du langage vulgaire : ainsi nous serons moins tentés d'attribuer à nos déductions les apparences d'une rigueur qu'elles n'ont point.

Ici, pour faire comprendre la théorie de l'écoulement par gravité, ne pourrions-nous tout simplement reprendre une comparaison que faisait naguère J. DE LAPPARENT et que j'ai déjà rappelée ailleurs [10]. Un édifice montagneux, disait-il, est semblable à une déesse ensevelie sous les vêtements qu'ont accumulés sur elle les sédiments; un jour cette déesse se soulève, tente de dévoiler ses formes à la lumière : elle laisse couler ses vêtements sur son corps, et c'est en s'écoulant ainsi que les draperies sédimentaires se plissent et s'entassent aux flancs de la déesse qui surgit.

Dans le langage plus prosaïque dont se sert HAARMANN, pour raconter « cette grande affaire », comme dit M. LUGEON [16], la déesse est devenue une « intumescence », une « géotumeur », siège de « sous-courants magmatiques ascendants »; et c'est la gravité qui, sur les flancs de cet « orogène », entité d'une « tectonique primaire », cause l'écoulement et le plissement des sédiments, simple manifestation d'une « tectonique secondaire ». En parlant ainsi, nous avons assurément perdu en poésie, et nous n'avons peut-être pas gagné grand'chose en rigueur ou en précision.

---

[10] *Comptes rendus som. Soc. géol. de France*, 1939, n° 10, p. 130.

LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

1. BAERTLING (R.). — Das Verhältnis zwischen Sedimentation und Tektonik im Ruhrbezirk (*Congrès de Stratigraphie carbonifère*, Heerlen, 1927, Liége, 1928).
2. BUXTORF (A.). — Geologische Beschreibung des Weissenstein-Tunnel und seiner Umgebung (*Beitr. zur geol. Karte der Schweiz*, N. F., 21 Lief., 1907).
3. CHAMBERLIN (Rollin T.). — Instrumental work on the nature of glacier motion (*Journ. of Geol.*, 36, Nr. I, Chicago, 1928).
4. FAVRE (J.). — Le Jura (*Guide géologique suisse*, fasc. I, 1934).
5. FULDA (E.). — Salztektonik (*Zeitschr. der deutschen geol. Ges.*, A, Abh., 79 Bd, 1927).
6. GAGNEBIN (E.). — La Géologie du Chablais (*Bull. de la Soc. Géol. de France*, 5e sér., t. 9, 1939).
7. GIGNOUX (M.). — La tectonique des terrains salifères; son rôle dans les Alpes françaises (*Livre jubilaire de la Soc. Géol. de France*, Paris, 1930).
8. — Une nouvelle synthèse tectonique des Alpes : l'ouvrage de E. KRAUS. « Der Abbau der Gebirge » (*Revue de Géogr. alpine*, t. 27, Grenoble, 1939).
9. GIGNOUX (M.) et MORET (L.). — Description géologique du bassin supérieur de la Durance (*Travaux du Lab. de Géol. de l'Univ. de Grenoble*, 21, Grenoble, 1938).
10. GOGUEL (J.). — Les glissements de terrains du Sud-Est de la France (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1937, n° 1).
11. HAARMANN (E.). — Die Oszillationstheorie, eine Erklärung der Krustenbewegungen von Erde und Mond (*F. Enke*, Stuttgart, 1930).
12. — Bemerkungen zur Aussprache über die Oszillationstheorie (*Zeitschr. der deutschen geol. Ges.*, 83, 1931).
13. — Geographie und Tektonologie (*Petersmanns geogr. Mitth.*, 1936, Heft 1 und 2).
14. LOMBARD (A.). — Remarques sur la notion de la tectonique d'écoulement (*C. R. Soc. phys. et Hist. nat. de Genève*, 57, n° 2, 1940).
15. LUGEON (M.). — La région de la brèche du Chablais (Haute-Savoie) (*Bull. des Services de la Carte géol. de la France*, t. 7, n° 49, 1896).
16. — Une hypothèse sur l'origine du Jura (*Bull. du Lab. de Géol. de l'Univ. de Lausanne*, n° 73, 1941).

17. LUGEON (M.) et GAGNEBIN (E.). — Observations et vues nouvelles sur la Géologie des Préalpes romandes (*Ibid.*, n° 72, 1941).

18. LUGEON (M.) et SCHNEEGANS (D.). — Sur le diastrophisme alpin (*C. R. de l'Acad. des Sc.*, 15 fév. 1940).

19. MAILLET (R.) et PAVANS DE CECCATY (R.). — Le physicien devant la Tectonique (*Congrès mondial du Pétrole*, Paris, 1937).

20. MORET (L.). — Présentation d'un film cinématographique en couleurs sur la formation géologique des Alpes françaises (*Bull. de la Soc. Sc. du Dauphiné*, t. 58, 1938).

21. PRUVOST (P.). — Quelques observations sur le phénomène de plissement faites dans les bassins houillers (*Bull. de la Soc. Géol. de France*, 5e sér., t. 9, 1939).

22. RÜGER (L.). — Geotektonische Hypothesen (*Geogr. Zeitschr.*, 37 Jahrg. 1931, Heft 10).

23. SCHARDT (H.). — Sur l'origine des Préalpes romandes (*Eclogae geologicae Helvetiae*, vol. 4, 1893).

24. SCHNEEGANS (D.). — La Géologie des nappes de l'Ubaye-Embrunais entre la Durance et l'Ubaye (*Mém. Carte géol. France*, 1938).

25. URBAIN (P.). — Les Sciences géologiques et la notion d'état colloïdal (*Hermann*, Paris, 1933).