
RAPPORT DES PLIS ALPINS ET DES PLIS PYRÉNÉENS DANS LES CHAINES SUBALPINES MÉRIDIONALES

Par Jean JUNG.

La présente note a pour origine les observations faites dans les Alpes au cours d'excursions des élèves de l'École du Pétrole de l'Université de Strasbourg. Ces excursions ont été patronnées par le Laboratoire de Géologie de l'Université de Grenoble, et c'est pourquoi je tiens à dire tout d'abord ma reconnaissance à mon ancien Maître M. le Professeur GIGNOUX et à ses collaborateurs MM. P. LORY, L. MORET, F. BLANCHET, qui m'ont guidé avec tant de dévouement dans les régions alpines.

Les Annales de l'Université de Grenoble et les Travaux du Laboratoire de Géologie de cette Université ont bien voulu assurer la publication de ce travail; j'en exprime mes plus vifs remerciements aux Comités de rédaction de ces périodiques.

I. — Introduction.

La découverte de plis pyrénéens et de plis alpins conjugués, dans les chaînes subalpines méridionales, a été faite par E. HAUG en 1895 (1). Après avoir signalé que la Mollasse rouge repose en discordance dans le Gapençais, sur un substratum affecté de plis de même âge et de même direction que les plis pyrénéo-provençaux, il ajoute, au sujet des rapports réciproques de ces terrains :

« ... il semble que les bandes constituant les anticlinaux an-

(1) E. HAUG, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1895, p. 1357.

ciens aient dû constituer des crans d'arrêt opposant un obstacle à la propagation des plis alpins vers l'extérieur de la chaîne. Par contre, dans les bandes synclinales ces obstacles n'auraient pas existé et les plis auraient pu s'y développer en courbes convexes analogues à celles qui marquent la progression d'un glacier. »

La présente étude m'a conduit à me convaincre de l'exactitude de cette première interprétation d'E. HAUG, oubliée généralement depuis, et dans laquelle les lecteurs de la *Tectonique de l'Asie* (1) auront reconnu le principe, appliqué avant la lettre, de la virgation forcée, telle que l'a définie E. ARGAND.

A vrai dire, E. HAUG ne donna aucune suite à cette conception nouvelle, mais se contenta, suivant les idées du temps, de rechercher des « lignes directrices » de direction constante et caractéristiques des deux phases de plissement. Nombre de contradictions insolubles vinrent bientôt l'arrêter dans cette voie. On lit en effet dans les comptes rendus de la réunion extraordinaire de la Société géologique de France à Sisteron, cette même année 1895 (2) :

« M. HAUG fait remarquer que, dans une note récente, il a déjà considéré les plis du Diois comme la continuation géographique des plis externes des Pyrénées, formant une chaîne ayant contourné le Plateau Central et appartenant, comme les Pyrénées, à un système de plis antérieurs à l'Eocène supérieur. »

Hypothèse que réfute aussitôt W. KILIAN par le rappel des faits suivants :

« M. KILIAN trouve que ses confrères semblent, en considérant les plis du Diois comme exclusivement antéaquitaniens,

(1) E. ARGAND, *Tectonique de l'Asie. C. R. Congrès Géologique international, Bruxelles, 1922*, t. I, p. 207 et fig. 4.

(2) *Bulletin de la Soc. géol. de France*, t. XXIII, 1895, p. 856.

complètement perdre de vue des faits positifs, comme la présence de la Mollasse marine miocène dans les synclinaux du Jabron et des Baronnies septentrionales. Il faut considérer les plissements antéaquitaniens et antémiocènes de la région entre Nyons, Forcalquier et Die comme peu accentués : *le principal plissement est post-mollassique*. Ce serait nier l'évidence que de donner la prépondérance aux plis anciens qui ne sont très accentués qu'à l'Est d'une ligne Lus-la-Croix-Haute - Sisteron. »

La question resta entière jusqu'au moment où, quelques années plus tard, V. PAQUIER (1) proposa un accommodement à l'apparente contradiction. D'après lui, la phase alpine, tout en formant des plis neufs, dirigés N.S., a fait rejouer dans leur sens primitif E.W. les plis pyrénéens. Cette explication, satisfaisante quant au fond, laissait cependant mystérieuse toute la tectonique de détail pour laquelle PAQUIER n'invoquait que les jeux du hasard.

Ce n'est que tout récemment que M. TERMIER a apporté la clé de la structure des Baronnies en étudiant la tectonique du massif de Gigondas (2). Il y a mis en évidence que le front des plis alpins est venu s'introduire et se coincer entre deux môles, en y dessinant une invagination serrée, tandis que les ailes, à l'arrière, se moulaient plus librement sur l'obstacle. Ainsi, par l'action d'un flux de force unique ont pu prendre naissance deux gerbes de plis se dirigeant l'une vers le Nord, où elle s'atténue sous la vallée du Rhône, l'autre vers l'Est, où elle forme le puissant faisceau du Ventoux et de la Montagne de Lure.

« C'est, dit M. TERMIER, pour parler le langage d'Ed. SUSS et d'E. ARGAND, une admirable virgation du deuxième genre. »

La notion de virgation me paraît pouvoir élucider non seule-

(1) V. PAQUIER, *Diôis et Baronnies orientales*. Grenoble, 1900.

(2) P. TERMIER, Nouvelle contribution à l'étude du problème de Suzette. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, t. XXVII, 1927, p. 57-76.

ment le problème du massif de Gigondas et de ses prolongements, mais nombre de questions relatives à la structure des chaînes subalpines méridionales, en particulier celle des rapports des plis pyrénéens et des plis alpins.

On sait que Ed. SUESS (1) a appelé virgation la résolution d'un faisceau de plis en branches secondaires, incurvées et divergentes. E. ARGAND a montré la signification mécanique des virgations et indiqué, par l'exemple de la *Tectonique de l'Asie* (2), tout le parti que le géologue pouvait tirer de cette notion (3).

Il y a *virgation libre* lorsque le flux de force diminue, suivant l'allongement du pli. Il y a *virgation forcée* lorsque le flux de force vient buter contre un obstacle marginal qui le dévie.

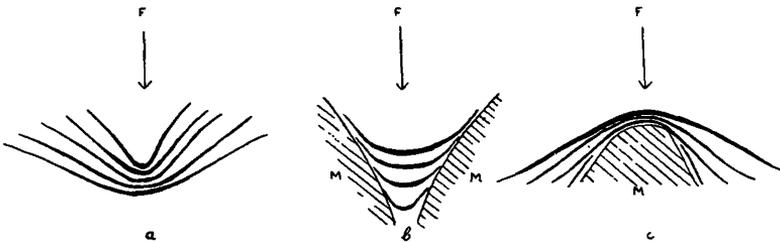


Fig. 1. — ARCS DE VIRGATION.

- a. Arc d'avancée avec virgations libres.
 - b. Arc d'avancée avec virgations forcées.
 - c. Arc de retenue avec virgations libres.
- M. Môles de virgation.

Deux virgations accolées en un arc continu sont appelées *virgation double*. Pour la commodité du langage et pour éviter toute confusion, nous appellerons ce système un *arc de virgation double*. Nous distinguerons des *arcs d'avancée* et des *arcs*

(1) E. SUESS, *La face de la Terre*.

(2) E. ARGAND, *op. cit.*

(3) La première application à la géologie locale de la notion de virgation semble être due à F. DAGUIN, dans sa *Contribution à l'étude géologique de la région pré-rifaine*. Mémoires de la Carte géologique du Maroc, 1927.

de retenue. D'après ce qui vient d'être dit, on voit immédiatement qu'un arc d'avancée avec virgations libres est dû à la prédominance du flux de force au centre du front de poussée, tandis qu'un arc d'avancée avec virgations forcées est dû au coïncement du front entre deux obstacles marginaux. Il est non moins clair qu'un arc de retenue se forme lorsque la partie centrale du front de poussée rencontre un obstacle sur lequel les ailes se rabattent. Un arc de retenue est donc convexe du côté de la poussée au lieu d'être concave comme les arcs d'avancée. Il s'accompagne évidemment d'une double virgation libre (fig. 1).

II. — Les plis de couverture.

1) Plis pyrénéens et alpins dans le Diois et les Baronnies. — Trois phases orogéniques principales ont affecté cette région au cours des temps tertiaires : les plissements éocènes, appelés pyrénéo-provençaux ; les plissements aquitaniens ou chattiens, correspondant au paroxysme du plissement géosynclinal alpin ; les plissements post-mollassiques, rappel atténué de la dernière phase.

Les plissements pyrénéens sont bien connus dans le Gapençais et le Bochaine, où l'Oligocène, largement représenté, est discordant sur un substratum plissé. A l'Est de Sisteron, également, l'Oligocène recouvre en discordance l'extrémité du pli, ici très atténué, de la Montagne de Lure. Dans le Diois, près de Bonneval, la Mollasse rouge recouvre des ondulations nettement accusées des terrains secondaires. Dans le Valentinois, à Marsanne, l'Oligocène est discordant sur le Crétacé supérieur. Enfin dans le massif de Gigondas, M. TERMIER et ses collaborateurs ont mis en évidence que l'Oligocène repose sur du Trias ayant déjà à ce moment traversé sa couverture en pli diapire.

Les deux phases alpines ne sont guère distinguables l'une de l'autre, faute de l'existence, dans les mêmes régions, d'Oligo-

cène et de Miocène. Dans le Massif de Gigondas, où cette condition se trouve réalisée, M. TERMIER a pu démontrer que l'essentiel de la virgation constituant ce massif est un phénomène datant du paroxysme alpin antémiocène.

Les mouvements post-mollassiques n'ont fait, semble-t-il, qu'accentuer les premiers. On connaît de nombreux chevauchements sur la Mollasse, en particulier à la base de la Montagne de Lure. On attribue aussi à cet âge, par analogie, au chevauchement du Bochaine sur le Diois dans la région de Bonneval, bien que le Miocène n'y existe pas.

En résumé, les plis pyrénéens se réduisent à de fortes ondulations dirigées E.W., tandis que les plis intenses et les chevauchements, quels qu'en soient la direction et le sens de déversement, apparaissent partout comme un phénomène alpin.

2) L'arc d'avancée du Diois et des Baronnies. — L'arc d'avancée du Diois et des Baronnies peut être approximativement localisé dans le triangle ayant pour sommets Luc-en-Diois, Gigondas et Sisteron.

Il se subdivise en arcs secondaires emboîtés les uns dans les autres. Le plus externe a été découvert par M. TERMIER dans le massif de Gigondas, qui correspond au saillant le plus avancé. L'aile Nord se perd rapidement sous la vallée du Rhône; l'aile Sud s'ouvre en formant le faisceau de plis-failles du Ventoux. Le saillant de Gigondas est formé de couches verticales dans l'ensemble et serrées les unes contre les autres.

Un second arc, plus interne, suit, en virgation un peu plus libre. Le faisceau Nord-Sud passe par la région de Condorcet, à l'Est de Nyons. Il subit à hauteur de Propiac une brusque déviation vers l'Est et constitue, à 90° de sa direction précédente, l'anticlinal du Buis. Ce pli s'atténue progressivement et finit, vers Montbrun, accolé au faisceau du Ventoux. Vers Propiac les couches sont énergiquement redressées.

Un troisième arc a son avancée extrême à la Montagne de la Lauzière. L'aile Nord va se souder aux plis de la région de

Condorcet. L'aile Est se décompose en une série d'arcs partiels entourant la Cuvette de Montauban et se poursuivant, par la Chamouse, jusque dans la région de Laragne.

Un quatrième arc a pour aile Nord l'énorme pli couché Couspeau-Angèle et pour aile Est un repli se soudant à l'arc de la Clavelière et qui se poursuit jusqu'à la vallée du Buëch.

Dans les arcs suivants, les ailes Nord sont confondues en un anticlinal de fort volume qui va de la région de Die par Luc-en-Diois à celle de La Motte-Chalançon. L'écaïlle de la Montagne d'Aucelon démontre la convergence des plis à hauteur de Luc. Les ailes Est-Ouest sont au contraire espacées et décomposées en petits arcs partiels à concavité tournée au Nord ou bien au Sud. L'arc le plus interne a son saillant à Luc-en-Diois.

Cette énumération est insuffisante. Comme toute virgation, celle-ci ne peut être définie que par des arguments d'ordre mécanique.

Les deux môles résistants dont M. TERMIER a reconnu l'existence de part et d'autre du massif de Gigondas peuvent être étendus à toute la longueur des ailes de l'arc d'avancée.

L'un de ces môles s'étend environ, suivant l'axe Dieu-le-Fit à Luc-en-Diois, de la vallée du Rhône vers le Nord-Est. Le second môle, soudé au premier dans la région au Sud du massif de Gigondas, prend la direction Est-Ouest, suivant la ligne Ventoux-Lure, jusqu'à hauteur de Digne.

Le flux de force alpin du secteur Luc-Laragne, dirigé vers le Sud-Ouest, est venu s'engager dans le biseau compris entre les deux môles et se fermant à Gigondas. Comme une marée se gonflant et augmentant ses effets dans un estuaire, le flux de force resserré a donné lieu à un déferlage de plus en plus intense, de l'intérieur des Alpes vers l'extérieur. C'est dans le saillant de l'arc de Gigondas que les plis, bien que d'un volume médiocre, s'exaltent avec le plus de violence. Quant aux ailes, forcées également contre les môles avec une violence croissante

vers l'extérieur, elles ont déferlé en plis parallèles moulés sur l'obstacle (1).

C'est ce que montre, mieux que tout commentaire, la figure 3. A vrai dire on y remarquera une dyssymétrie marquée entre les deux ailes. Celle du Nord est serrée; celle de l'Est, plus libre et décomposée en arcs partiels. Le sens de déversement paraît, en outre, irrégulier. De cette différence, il sera question plus loin.

3) La zone de retenue du Gapençais et l'arc d'avancée des Alpes de Provence. — Il est intéressant d'étudier les points où le flux de force est venu frapper les môles sur la tranche, c'est-à-dire les points où un arc de retenue sépare deux arcs adjacents d'avancée.

L'une de ces zones apparaît nettement à l'extrémité du pli de Lure, à l'Est de Sisteron. On la suit sur un arc allant de Digne à Veynes. A l'Est de cette ligne, les plis alpins déferlent brusquement avec le mouvement d'un remous devant un écueil abrupt. C'est la région du Gapençais, avec ses caractères tectoniques bien connus : les terrains de la couverture, décollés à leur base, au niveau du Trias, se chevauchent en vastes écailles à détails complexes, mais de plan général simple.

L'étrave la plus avancée du môle se reconnaît dans la région de Turriers; un autre saillant s'observe à l'extrémité du pli de Lure; un troisième à hauteur de Digne.

Vers le Nord, l'arc de retenue contourne l'obstacle pour se raccorder à l'arc d'avancée des Baronnie. Le déferlage diminue d'intensité et il y a place en avant des écailles, à partir de Sisteron, pour un gros bourrelet anticlinal où affleure le Callovien-Oxfordien, dans la région de confluence du Buëch et de la Durance. Ce bourrelet s'ouvre ensuite vers l'Ouest en un éventail

(1) Cf. figure 1, b.

de plis peu serrés, virgation libre indiquant la terminaison latérale de la zone de retenue (1).

Consacrons maintenant un rapide examen à la région des Alpes comprise entre Digne et la Méditerranée. L'expérience acquise par l'étude du Diois et des Baronnies permet d'y apercevoir immédiatement un arc d'avancée avec double virgation forcée.

Le front de l'arc se trouve dans la haute vallée du Verdon, dans la région de Castellane. Ses zones de retenue sont d'une part le Gapençais, dont il vient d'être question, d'autre part les Alpes niçaises dans la basse vallée du Var. Ces deux régions ont la même structure en écailles décollées au niveau du Trias, indiquant un déferlage brutal contre la tranche d'un môle. Dans la région méditerranéenne, ce môle est de toute évidence le massif de l'Estérel.

4) Arc d'avancée et arc de retenue du Bas-Valentinois. — La zone de retenue septentrionale de l'arc d'avancée du Diois et des Baronnies se trouve dans le Bas-Valentinois, dans la région entre Luc-en-Diois et Dieu-le-Fit. Rien ne rappelle de ce côté le brusque déferlage du Gapençais. C'est sans heurt que l'arc concave vers l'intérieur des Alpes passe à un arc convexe, que l'arc d'avancée passe à l'arc de retenue.

De toute évidence, le môle qui provoque ainsi par freinage lent l'amortissement du flux, s'ennoye du Sud-Ouest vers le Nord-Est, sans que l'on puisse préciser l'endroit où débute son effet et celui où il a provoqué l'arrêt total du plissement. Son parcours est fixé par la convexité de toute une série d'arcs partiels. Le plus interne est l'amphithéâtre entre Nyons et Montélimar (Montagne de la Lance); puis vient l'arc Forêt de Saou-Couspeau-Angèle, l'arc de la Montagne de Faraud, enfin l'arc de la Montagne d'Aucelon. L'anticlinal de Die donne encore

(1) Cf. figure 1, c.

plus loin l'indication d'un mouvement concentrique aux précédents.

Pour autant que des comparaisons imagées puissent être proposées, le déferlage de ces plis rappelle non plus un remous contre un écueil abrupt, comme ceux du Gapençais, mais l'ondulation créée par un banc de sable ou de gravier immergé dans une rivière à faible profondeur.

Cet arc de retenue se raccorde au Vercors par un arc d'avancée avec virgation libre et très peu énergique, dont le centre serait approximativement vers Die. La Forêt de Saou est l'élément le plus remarquable de ce secteur. Le saillant de l'arc se trouve à peu près vers Montélimar, mais il n'existe plus alors que des ondulations à peine définissables qui vont se raccorder aux plis des Cévennes.

La branche Nord de cette virgation ne tarde pas cependant à se resserrer à hauteur de Crest en plis plus énergiques dont le déferlage allant croissant vers le Nord témoigne de l'existence d'un môle, qui produit son maximum d'effet à hauteur du Vercors. Ce môle n'est autre chose que l'avant-pays subalpin.

Le desserrage du pli-faille de Voreppe dans le synclinal du Vercors et l'effacement total de celui-ci au col du Rousset n'est ainsi qu'une manifestation de l'arc d'avancée du Bas-Valentinois.

5) Les plis en retour du Diois et des Baronnies. — Dans ce qui précède il n'a été question que de la direction des plis et non de leur sens de déversement. Ce déversement paraît de prime abord d'une irrégularité singulière, indépendante de toute espèce de loi mécanique. Les plis du Ventoux, de Lure, de la Clavelière et la Montagne de Lépine sont déversés vers le Nord. Les anticlinaux du Buis et du Nord de Lure le sont vers le Sud. La crête Angèle-Couspeau, celle d'Aucelon sont chevauchantes vers l'Est; l'écaille du Bochaine vers l'Ouest.

On pourrait admettre en première approximation que les plis déversés vers le Nord sont des plis pyrénéens. Mais que dire de

plis déversés avec une énergie considérable vers l'Est, comme celui d'Angèle ? PAQUIER concluait que le déversement des plis alpins s'était fait suivant des « poussées au vide » locales, sans rapport avec la poussée orogénique de sens défini.

Il y a longtemps que les tectoniciens ont fait observer que le sens de déversement d'un pli ne dépend pas seulement de la

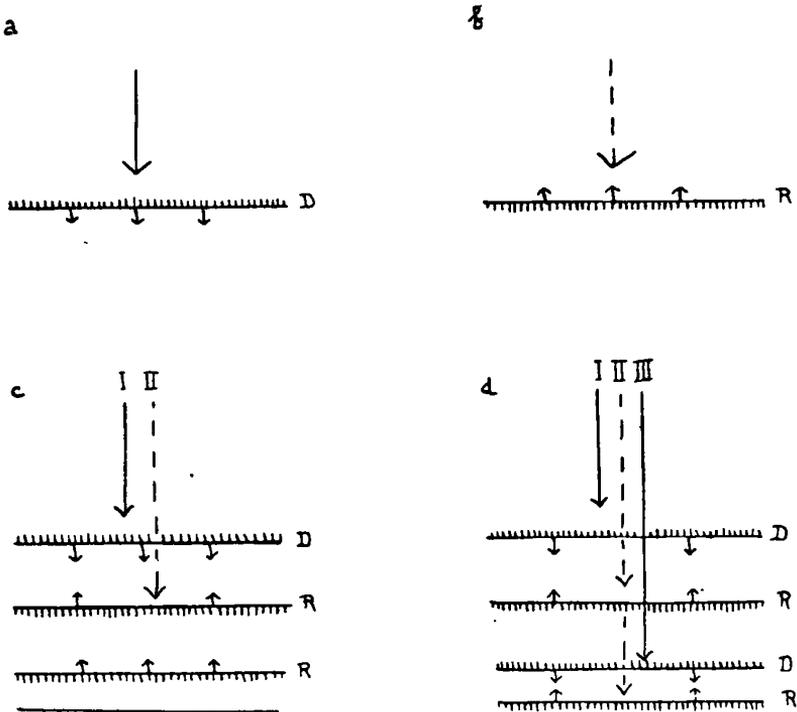


Fig. 2. — SENS DU DÉVERSEMENT DES PLIS.

- a. Par poussée directe (plis directs).
- b. Par sous-poussée (plis en retour).
- c. Par poussée dans une couverture rigide à la base et plastique au sommet, avec amortissement progressif.
- d. Par poussée dans les mêmes conditions, mais avec déferlage sur un môle.

Dans ces deux derniers cas, les flèches I, II et III représentent :

- I, la poussée de la zone supérieure, en phase avec la zone inférieure ;
- II, la poussée de la zone inférieure, décalée par rapport à la zone supérieure ;
- III, la poussée de la zone supérieure par rapport au tréfonds.

direction du flux de force, mais aussi de la position du point d'application (1).

Si le flux agit directement sur des couches superficielles, il se forme un bourrelet déversé vers l'avant. S'il agit sur des couches profondes, les couches superficielles sont refoulées en bourrelet déversé vers l'arrière.

Ceci rappelé, considérons une épaisse série de terrains se divisant en deux étages, lithologiquement assez différenciés, pour que leur style tectonique soit dysharmonique. Supposons que l'étage du haut soit plastique, celui du bas rigide; que le premier soit par exemple marneux et le second calcaire.

Au départ, le flux de force est appliqué également aux deux parties de l'ensemble qui formeront des plis en phase. Mais cette harmonie ne se maintiendra pas : le compartiment rigide de la base transmettra le flux avec une déperdition d'énergie moindre que le compartiment plastique du sommet visqueux et amortissant.

Ainsi le compartiment superficiel prendra, par rapport à son substratum, un amoindrissement de l'amplitude du mouvement de poussée. L'amoindrissement différentiel ira croissant vers l'extérieur de la chaîne.

Il s'ensuivra qu'à une certaine distance du départ en phase, avec plis directs, le substratum rigide, considéré par rapport à sa couverture, provoquera une sous-poussée accompagnée de plis en retour (2).

Considérons maintenant, au lieu d'un flux progressivement amorti, le cas d'un flux arrêté par déferlage sur un môle (3). En ce cas vient s'ajouter aux mouvements précédents celui de la couverture plastique par rapport au tréfonds supposé immobile. Ce mouvement reste positif, c'est-à-dire orienté de l'intérieur vers l'extérieur de la chaîne, bien que négatif par rapport au compartiment moyen rigide plus mobile.

(1) Voir la figure 2, a, b.

(2) Figure 2, c.

(3) Figure 2, d.

Il se traduira par un bourrelet vers l'avant, en pli direct, lorsque la couverture touchera le tréfonds, c'est-à-dire au contact avec le môle, ou avec les plis de déferlage en retour déjà formés par réaction contre ce môle.

Au total, dans un système comprenant un tréfonds supposé immobile et une couverture mobile dont la base est rigide et le sommet plastique, on distinguera quatre zones successives de plis (la troisième zone pouvant interférer avec la seconde et la quatrième) :

- 1° Zone des plis directs dus au mouvement en phase de deux termes de la couverture par rapport au tréfonds;
- 2° Zone des plis en retour dus au mouvement relatif du sommet de la couverture par rapport à sa base;
- 3° Zone des plis directs dus au déferlage de la partie supérieure de la couverture contre le môle;
- 4° Zone des plis en retour dus à la réaction du déferlage de la partie inférieure de la couverture contre le môle.

Revenons maintenant au Diois et aux Baronnies. La série stratigraphique peut se subdiviser en trois unités dysharmoniques de premier ordre, qui sont : à la base, le tréfonds cristallin peu déformable et cassant; au milieu, rendu indépendant du tréfonds par l'assise salifère et lubrifiante du Trias, le groupe du Lias et du Jurassique moyen, relativement rigides; au sommet, l'épaisse série marneuse allant du Callovien à l'Aptien.

Pour que le mécanisme décrit puisse jouer, il faut que la série supérieure soit assez plastique dans la moyenne et d'autre part assez épaisse pour qu'elle puisse réagir par des mouvements propres, sans être simplement emportée par le substratum.

Telles sont précisément les conditions réalisées d'une façon exceptionnelle dans la « fosse vocontienne » coïncidant avec la région qui présente ces particularités tectoniques. Le Juras-

sique supérieur y a le faciès des « Terres Noires », le Crétacé supérieur celui de « Marnes à Céphalopodes ». Le seul niveau calcaire de quelque importance est le Tithonique, renforcé du Kimeridgien et du Berriasien. Mais cet horizon, le plus souvent étiré en lentilles au sein des marnes, n'a visiblement joué dans la tectonique qu'un rôle purement passif. L'ensemble marneux présente une épaisseur difficilement estimable, mais qui est au moins de 2.000 mètres.

Dans ces conditions, on peut donner du déversement des plis du Diois et des Baronnies l'explication suivante.

Les plis de la première zone (plis directs) dominent dans le Gapençais. Leurs dernières manifestations se trouvent sur les confins orientaux du Diois. C'est pour l'aile Nord l'écaille du Bochaîne, vers Bonneval; pour l'aile Est, les dernières écailles gapençaises de Barcillonnette et de Turriers.

Vient ensuite, allant vers l'extérieur, une zone neutre à plis droits peu marqués. Elle forme la zone anticlinale de Die, qui tourne à l'Est à hauteur de La Motte-Chalançon et se dirige de là vers Veynes.

Les plis en retour de la deuxième zone apparaissent dans une enveloppe plus externe encore. Considérons séparément l'aile Nord où il y a amortissement progressif et l'aile Est où il y a déferlage.

Dans l'aile Nord, les plis en retour apparaissent à l'écaille de la Montagne d'Aucelon. La contre-poussée allant croissant vers l'Ouest, les plis en retour s'amplifient considérablement et donnent naissance au chevauchement d'Angèle-Couspeau. Puis l'amortissement général se faisant sentir, l'intensité des plis s'atténue à la Montagne de la Lance et à la Montagne d'Autuche, à hauteur de Nyons.

Dans l'aile Est, après la zone neutre, les plis en retour de la deuxième zone constituent la Montagne de Lépine, la Montagne de Lauzière, la Montagne de la Clavelière.

Puis se font sentir les plis directs de la troisième zone, plis

de fort volume mais d'énergie faible. C'est l'anticlinal du Buis, l'anticlinal du Nord de Lure et vers la pointe de l'aile Nord, la branche très courte faisant face, vers Ollon, à la Montagne d'Autuche.

Cet arc vient déferler contre les plis de la quatrième zone, les énormes plis en retour du Ventoux et de la Montagne de Lure. Ceux-ci sont solidement appuyés à l'arrière sur les môles de virgation.

6) Le Trias diapir. — M. P. TERMIER a bien mis en lumière la situation du Trias diapir de Suzette sur le saillant de l'arc de virgation double de Gigondas. C'est de la même manière que le chapelet d'intrusions triasiques de Condorcet, Propiac et la Serre des Gypières jalonne l'avancée de l'arc plus interne. Le maximum de l'intrusion se trouve également au saillant, à Propiac.

Quant au Trias de la région de Laragne, en particulier celui de Montrond, il est dans une situation différente : il est sur le front de la zone de retenue du Gapençais.

Cette double localisation explique le mécanisme de l'intrusion, si l'on se souvient du rôle du Trias, lubrifiant entre la base rigide de la couverture et le tréfonds. Le Trias a fait saillie vers le haut lorsque, par suite de la butée contre le môle, le bourrelet frontal de lubrifiant n'a pas eu d'autre issue. L'arc d'avancée des Baronnies, jouant en seringue, a chassé le Trias vers l'avant, jusqu'au moment où celui-ci, coincé de toutes parts et pourvu ainsi d'une pression hydrostatique énorme, a crevé sa couverture.

Un mécanisme analogue a dû chasser le Trias vers le haut, vers Laragne, face au môle du Gapençais.

Ceci expliquerait pourquoi il n'y a pas de Trias diapir dans les zones d'avancée à amortissement progressif, comme le Diois et le Bas-Valentinois, mais uniquement dans les zones de déferlage.

7) Rôle des plis de couverture pyrénéens. — Nous avons raisonné dans tout ce qui précède en supposant que le système de plis de couverture était purement alpin. C'est là une simplification arbitraire et nous allons rechercher quel a été le rôle du plissement pyrénéen préalable.

Les arguments stratigraphiques permettant de dater les plis n'existent qu'à Bonneval et dans le massif de Gigondas. Sur quels critères s'appuyer partout ailleurs ?

Notons d'abord que la direction et le sens de déversement d'un pli considéré isolément n'a aucune espèce de signification. Cela est démontré par l'exemple de la Montagne de Lure. Les arguments contradictoires de HAUG et de KILIAN sur ce sujet ont été rapportés dans l'Introduction. C'est une chose évidente si l'on s'en rapporte aux considérations développées plus haut sur les arcs d'avancée.

Mais, par contre, ces plis pourront être mis en évidence si l'on recherche les perturbations au jeu normal de l'ensemble des virgations alpines.

Les plis pyrénéens de couverture apparaissent d'abord, nettement individualisés et conservés, dans la « zone neutre », entre les plis directs et les plis en retour, c'est-à-dire entre l'écaille du Bochaine et l'anticlinal de Die. Ce sont les aires synclinales de Lesches et de Creyers, qui, par suite de leur situation, n'ont pour ainsi dire pas subi de modifications alpines.

Plus au Sud il n'en est plus de même. Les plis pyrénéens y ont perdu leur indépendance; ils ont été plus ou moins englobés dans l'aile Est de l'arc alpin et soudés par des éléments nouveaux de direction à peu près concordante. Cette « adoption » a eu lieu chaque fois que les matériaux tectoniques anciens entraient, à une certaine tolérance près, dans le plan nouveau. De là l'allure composite en petits arcs de l'aile Est.

L'orientation de la concavité de l'arc permet de les distinguer: l'hypothèse de petits arcs de retenue devant être repoussée, puisque arcs concaves et convexes se superposent et s'entre-

croisent, il ne peut s'agir que de petits arcs de virgation libre. Dans ces conditions, un arc qui a sa concavité tournée au Sud ne peut avoir été formé que par une poussée venant de ce côté: Suivant toute apparence il est pyrénéen. L'exemple le plus net de ce cas est donné par l'arc de la Montagne de la Clavelière.

Ainsi s'explique l'allure singulièrement onduleuse de l'aile Est, formée d'arcs convexes ayant adopté çà et là un arc concave plus ancien. Ainsi s'explique aussi l'origine des fameuses « cuvettes ovales » que Scipion Gras considérait déjà comme le caractère orographique et tectonique le plus original de la région. De telles cuvettes sont faites de l'entrecroisement de deux arcs à concavité opposée, d'âge différent. La cuvette de Montauban est, à ce point de vue, particulièrement typique.

Ces arcs pyrénéens une fois repérés, on voit qu'ils ont perdu toute individualité. C'est suivant les lois des virgations alpines qu'ils ont été exaltés et déversés, lorsqu'ils entraient dans le plan général; ailleurs ils ont été effacés ou réduits à des accidents locaux tels que bombements, élévations d'axe, etc.

Conformément à ces remarques, on peut attribuer une phase embryonnaire pyrénéenne à l'arc du Ventoux, à la chaîne de Lure, à l'arc de la Clavelière, de Peyregrosse, etc., et une individualité pyrénéenne conservée à l'état d'enclave aux plis de la zone neutre entre Die et Bonneval. Cette dernière région appartient déjà au régime quadrillé du Bochaine.

Au total, l'hypothèse de PAQUIER de la superposition de plis alpins à des plis pyrénéens est exacte dans son principe. Mais contrairement à ce que pensait PAQUIER, les particularités de la tectonique du Diois et des Baronnies ne sont pas dues à l'entrecroisement de ces deux systèmes. Les plis pyrénéens n'apportent que des irrégularités de détail à un plan essentiellement alpin et comportant des arcs de virgation double d'avancée et de retenue.

Nous allons voir que l'importance des plis pyrénéens est en réalité autre. Pour cela il faut considérer non plus les plis de couverture, mais les plis de fond.

III. — Les plis de fond.

1) **Les plis de fond, môles des virgations alpines.** — La réalité des môles décelés par l'étude de la forme des plis de couverture est démontrable. En effet, c'est, de toute évidence, le massif Maures-Estérel qui force la virgation de la partie méridionale de l'arc des Alpes de Provence et qui crée la zone de retenue de la basse vallée du Var. C'est aussi le bord du Massif Central qui constitue le môle Ouest de l'arc du Bas-Valentinois. On est donc fondé de croire que des massifs anciens analogues, cachés sous la couverture des terrains plus récents, provoquent aussi les autres virgations.

La considération plus précise des faits montre que ces môles doivent être regardés comme des plis de fond pyrénéens.

La chaîne pyrénéo-provençale est constituée en effet par un faisceau de plis de fond à matériel ancien, fronçant la couverture en plis dysharmoniques au-dessus d'eux (1). Ce mouvement de la couverture a surtout été intense dans les synclinaux de fond; il varie avec l'intensité et le mode du serrage subi. Sur les anticlinaux de fond, les plis de couverture marquent une indépendance moindre; ils moulent dans l'ensemble les déformations à grand rayon de courbure du substratum et sa tectonique cassante.

Or, les caractéristiques des môles de virgation coïncident précisément avec de telles apparences. On observe, en effet, les phénomènes suivants : 1° le domaine des arcs alpins d'avancée et de retenue coïncide précisément avec l'aire d'extension des plis pyrénéens; 2° les plis de couverture pyrénéens les plus intenses se trouvent dans le domaine des arcs d'avancée; 3° en avant des arcs de retenue, donc sur les môles, la couverture

(1) Ch. JACOB et M. CASTERAS, *Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse*, LVII, 1928, p. 299-322.

n'est affectée que de plis insignifiants et montre une tectonique cassante (champ de fractures de Banon, Sault, etc.).

Identifions, à titre d'hypothèse préliminaire, les môles à des plis de fond et reconstituons, sur cette base, les rapports des plis de couverture alpins et des plis pyrénéens.

Ces môles, ou plis de fond, se groupent en un faisceau divergent qui, serré en un tronc commun dans le Languedoc, au Sud du Massif Central, s'épanouit largement vers l'Est entre le Dauphiné et la Provence. En commençant l'énumération par le Nord, on rencontre d'abord le môle de l'*avant-pays subalpin*, qui n'est autre chose que le bord du Massif Central. A partir du Vercors, il devient tangent à l'arc des Alpes occidentales, puis il lui reste parallèle. Il passe sous le Jura, qu'il affecte, à hauteur du lac du Bourget, d'un arc de retenue et forme au delà le fond de la plaine suisse.

Le *pli de fond du Bas-Valentinois* est séparé du Massif Central, depuis le Languedoc, par une zone faible, siège de mouvements tectoniques intenses. Cette zone s'élargit à partir d'Alès, individualisant ainsi le pli qui, passant sous les garrigues entre Alès et Nîmes, se poursuit en direction du Diois en s'ennoyant progressivement dans la fosse alpine.

Sa disparition n'y est d'ailleurs pas définitive. Si l'on s'en rapporte au jeu des plis alpins du Diois et du Bochaine, on le voit remonter et s'affirmer au dôme de La Mure, puis, prenant d'enfilade le bord du géosynclinal alpin, se prolonger par Belle-donne et les plis de fond de la première zone alpine.

Le *pli de fond Ventoux-Lure*, dont nous ne séparerons pas, en première approximation, le pli plus méridional du Luberon, diverge du précédent sur la rive droite du Rhône, vers la pointe Sud du massif de Gigondas. Il prend la direction de l'Est, légèrement Nord, et rencontre normalement la zone géosynclinale alpine entre Gap et Digne. Il s'y affaisse brusquement. Il semble probable que le Pelvoux et le Mercantour en constituent un rappel lointain.

Le *pli de fond de la Basse-Durance* se détache du tronc commun dans la région de confluence du Verdon et de la Durance. Son extrémité orientale est soudée au massif des Maures et de l'Estérel.

En résumé, ces plis de fond forment les môles de virgation des arcs alpins. Ils sont caractérisés par le grand rayon de courbure et la rareté des plis de couverture pyrénéens. Le pli de fond Ventoux-Lure est en outre affecté par un système de cassures radiales particulièrement typiques. Les champs de fractures de Banon, de Sault, de Montbrun trahissent l'influence prépondérante du tréfonds : ce sont autant de petites Limagnes ou Fossés Rhénans.

On chercherait en vain de telles réactions du terrain dans les synclinaux de fond, dont il va être question maintenant.

Chacun de ces synclinaux de fond, qui s'ouvrent en estuaires vers le géosynclinal alpin, est occupé par un arc d'avancée alpin et par des plis de couverture pyrénéens parallèles aux plis de fond et dont l'intensité croît du Nord vers le Sud.

Un premier synclinal de fond s'ouvre entre l'avant-pays alpin et l'anticlinal du Bas-Valentinois. Des plis pyrénéens de couverture y sont connus et datés, mais ils ne présentent qu'une intensité faible. L'essentiel de la tectonique est alpine; elle est d'ailleurs elle-même peu accentuée. Vers le Sud-Ouest cependant, le synclinal se resserre et les plis alpins et pyrénéens deviennent concordants. Un régime d'écaillés s'établit alors vers Alès.

Le second synclinal de fond comprend les Baronnie et une grande partie du Diois. Les plis de couverture pyrénéens y ont une importance non négligeable. Ils ont été repris par un arc d'avancée alpin dont nous avons vu plus haut, en détail, la manière de se comporter.

Le troisième synclinal de fond a permis l'avancée de l'arc des Alpes de Provence. Le delta pontien de la Durance en cache l'extrémité occidentale.

2) **Tectonique embryonnaire.** — La stratigraphie, si parfaitement connue de ces régions, permet de détailler l'histoire des plis. L'étude des transgressions, des régressions et des faciès démontre qu'il serait inexact de les considérer comme une manifestation uniquement pyrénéenne. Les mouvements orogéniques n'apparaissent que comme l'accentuation des mouvements épirogéniques qui ont joué pendant tout le cycle alpin.

Les anticlinaux de fond ont été les régions à sédimentation néritique, littorale ou continentale. Les synclinaux de fond, des cuvettes à sédimentation vaseuse, dite bathyale.

Ne pouvant reprendre en détail toute la stratigraphie des terrains secondaires du Sud-Est, n'esquissons que les traits de quelques moments essentiels.

Au Jurassique supérieur, seuls se manifestent les deux plis de fond marginaux, bien appuyés sur les massifs anciens des Maures et du Massif Central. Ils portent des récifs coralliens, tandis que dans l'intervalle compris entre eux, l'estuaire, fermé en Languedoc et ouvert vers la fosse géosynclinale alpine, est le siège de la sédimentation bathyale du Tithonique.

Le Crétacé inférieur voit la mise en place du pli Ventoux-Lure. Ce môle coupe en bissecteur la fosse tithonique en formant ainsi deux fosses plus petites : au Nord la fosse vocontienne, au Sud celle de la Basse-Provence. Le faciès urgonien, cantonné au Barrémien sur les deux môles marginaux, envahit progressivement à l'Aptien le môle médian qui se soulève.

Au Crétacé supérieur, le mouvement de surrection se poursuit et tend à occlure les synclinaux de fond. Au Turonien, le pli de fond du Bas-Valentinois émerge à son tour, ainsi que le môle subalpin, mettant fin à l'existence de la fosse vocontienne. Seule subsiste une étroite fosse bathyale qui, dans l'axe du synclinal de fond des Baronnies, s'avance vers Rosans.

Puis les mouvements s'accroissent encore jusqu'à donner naissance, aux extrémités flottantes des plis, vers le géosynclinal alpin, à une véritable phase orogénique au cours de laquelle se soulève le pli du Bas-Valentinois. Après un retour

