

Tectonique/Tectonics

Chevauchements en Vercors-Chartreuse déduits de l'équilibrage des données géologiques et géophysiques

Réjane ARPIN, Jean-Pierre GRATIER et François THOUVENOT

Résumé — L'équilibrage de coupes sériées, à travers les massifs de Chartreuse et Vercors a été possible en intégrant les données géologiques existantes avec de nouvelles données sur les structures profondes issues de profils sismiques à travers ces massifs. Un modèle interprétatif de l'évolution de la géométrie des chevauchements et des plis est proposé qui implique d'une part le fonctionnement d'un grand chevauchement, dont le déplacement diminue du Nord au Sud, et d'autre part le développement de chevauchements associés selon une séquence différente entre Vercors et Chartreuse.

Thrusts through the Vercors-Chartreuse region (France) deduced from balanced cross sections

Abstract — Balanced cross sections through the Chartreuse and Vercors chains were built up using available geological data and new data on deep structures deduced from seismic profiles. An interpretive model of the lateral evolution of the geometry of thrusts and folds is proposed which implies, firstly, the development of a major thrust, with a displacement value which decreases from north to south, and secondly the development of associated secondary thrusts with different thrust sequences in the Vercors and Chartreuse.

Abridged English Version — The finite displacement of a collision belt may be obtained by the integration of the strain values of its foreland. The displacement linked to crustal thrusts of the Western Alps was estimated using strain measurements of folded and faulted competent layers on cross-sections variously oriented through the subalpine chains [1]. In some regions (Chartreuse, Vercors) where the assumptions of the method were respected, the cross-sections were balanced using the results of recent seismic profiles ([2], [14]) and the available geological and geophysical data. The aim of this paper is to present and discuss these balanced cross-sections (*Fig. 1 a*).

SEISMIC DATA. — Recent seismic profiles through the north of the Chartreuse [14] revealed, firstly, the autochthonous and overriding basement and secondly a shallow interface within the cover, which was interpreted as a major thrust. More recently, four seismic profiles through the Vercors [2], using explosion from working quarries, also gave the basement/cover interface (*Fig. 1 b*), but the major thrust revealed through the Chartreuse did not appear. An interpretive model is thus proposed for the lateral evolution of a major thrust which passes under the Chartreuse and above the Vercors, with associated secondary thrusts.

DISCUSSION. — To take into account all the data, through the Chartreuse, the major thrust must have a complex geometry (*Fig. 2 c*) with two levels of décollement (within the crust and along the Jurassic Black Shale) connected by two ramps. The location of the external ramp was determined using a syncline folding of the allochthonous domain associated with the climbing of this ramp. The major thrust can be followed up to the north of the Vercors (*Fig. 2 d*) but, as it must pass above this chain, it was related to an outcrop of a large flat thrust (Moucherotte thrust) on the top of the Vercors. From north to south, the values of the thrust displacement toward the west decrease from 15 km (North Chartreuse) to 5 km (North Vercors). This thrust is then associated with a counterclockwise rotation of the overriding domain [1]. This displacement dies out in the median part of Vercors. Toward

Note présentée par Xavier le PICHON.

the south, the other thrusts are different, with a décollement along the basement/cover interface, and with the development of back-thrust above the overriding basement.

The propagation sequence is different in the Chartreuse and Vercors (*Fig. 3*). The major thrust is folded by later thrusts in the Chartreuse. But this folding only occurred where the basement reached the top of the more external ramp and where the presence of Jurassic normal fault facilitates the propagation of a new flat décollement from Jurassic Black Shale (east) to the basement/cover interface (west).

In the Vercors, the thrust sequence is more classical and each new thrust propagates ahead of the former. This difference shows that the thrust sequence drastically depends on the geometry of the structures acquired during the progressive deformation. The inversion movement on normal faults also depends on the location of these faults versus the location of the major thrust (*Fig. 3*).

Les déplacements finis d'une chaîne de collision peuvent être estimés en intégrant les déformations finies de son avant-pays. Ainsi les déplacements associés à de grands chevauchements crustaux dans les Alpes occidentales ont pu être calculés en intégrant les déformations des massifs Subalpins plissés et faillés de Chartreuse, Vercors, Diois et Baronnies [1]. La déformation régionale a été estimée par la mesure de couches compétentes plissées et faillées sur de grandes coupes géologiques diversement orientées. Nous présentons ici une douzaine de ces coupes qui ont pu être équilibrées grâce à l'acquisition de nouvelles données géophysiques [2] mais dont la construction n'a pas été discutée dans la synthèse régionale [1].

Nous ne reviendrons pas sur la méthode d'équilibrage des coupes ([3] à [6]). Il s'agit d'une méthode de traitement des données géologiques et géophysiques qui permet de rechercher le meilleur compromis possible entre toutes les données, en respectant un certain nombre d'hypothèses géométriques et cinématiques comme la conservation des longueurs et des surfaces transférées, et la nécessité d'une restauration acceptable des couches à leur état initial ([7], [8]). Indépendamment du respect de ces hypothèses la validité des coupes équilibrées est avant tout fonction de la répartition et de la qualité des données. Nous présenterons successivement les données disponibles puis celles qui ont été acquises dans le cadre de ce travail [2].

PRÉSENTATION DES DONNÉES. — Les données géologiques ([9], [10], [11]) nous ont renseigné sur les accidents majeurs qui affectent la couverture sédimentaire, sur les variations d'épaisseur des séries, ainsi que sur la position des plans de décollement potentiels (niveaux les plus incompetents). Les coupes ont été effectuées parallèlement à des directions de déplacement estimées par des analyses microstructurales et des mesures d'anisotropie de susceptibilité magnétique (N 100 à N 120) [12]. Le fait que ces directions soient en éventail (*fig. 1 a*), restreint clairement l'étude présentée ici en coupe à une approche qualitative des structures. Avec de telles structures arquées, seule en effet une approche de restauration en carte [1] permet de prendre en compte les compatibilités latérales nécessaires entre déplacement et déformation. Les valeurs de déplacement obtenues par une telle restauration (N 80 à N 100) diffèrent de l'ordre de 20° des valeurs mesurées par analyses structurales et magnétiques ce qui traduit la différence entre déplacements totaux finis (restauration en carte) et déplacement incrémentaux (marqueurs géologiques). Nous présenterons ici les coupes équilibrées qui ont servi de base à cette

restauration en carte, sachant qu'une incertitude de l'ordre de 20° sur les directions de déplacement reste tolérable pour l'équilibrage [4].

Pour les données géophysiques, la situation des structures profondes a fait l'objet d'une synthèse antérieure [13]. Plus récemment, des profils sismiques au Nord de la Chartreuse [14] ont permis de révéler (*fig. 2 a*) d'une part des niveaux de socle chevauchés et chevauchants et d'autre part l'existence, à faible profondeur (2 km) sous le Nord de la Chartreuse, d'un marqueur sismique interprété comme un niveau calcaire, Urgonien ou Tithonique [15], ce qui implique un redoublement tectonique important.

Par des expériences de sismologie [2] nous avons essayé de retrouver, en Vercors, d'une part le niveau socle/couverture, et d'autre part la suite du grand redoublement de couverture révélé en Chartreuse. Les tirs d'exploitation des deux plus importantes carrières de la région, celle de la Buisse et de Sassenage ont été enregistrés par des stations numériques trois composantes. Quatre profils ont ainsi été obtenus. Les résultats d'un de ces profils sont présentés en assemblage sur la figure 1 *b*. On distingue, en plus des premières arrivées, deux phases réfléchies (R_1 et R_2). Le calcul des vitesses et des profondeurs indique que le réflecteur R_1 peut correspondre au toit du socle antétriasique et se situe vers 6 km de profondeur. Le réflecteur R_2 vers 8 km pourrait être interprété comme la base d'un niveau interne au socle (Permien?). La corrélation du réflecteur R_1 sur les quatre profils indique une géométrie complexe du toit du socle en blocs basculés à pendage général vers l'Est (profondeur de 6 à 7 km, *fig. 2 b*) décalés par de grandes failles normales (*fig. 3 a*). On retrouve ainsi les mêmes réflecteurs profonds qu'en Chartreuse (*fig. 2 a*). Par contre le niveau de chevauchement au sein de la couverture bien visible en Chartreuse n'apparaît sur aucun des quatre profils. Il faut donc envisager sa sortie en surface au Nord du Vercors. La disposition des carrières ne permet pas de rechercher ce réflecteur sous la Chartreuse Sud, mais aucune trace de passage latéral en surface ne semble apparaître au sein de ce massif. Il ne reste donc que la possibilité d'une sortie de ce grand chevauchement au niveau de la vallée de l'Isère qui sépare les massifs de Vercors et Chartreuse (*fig. 1 a*).

DISCUSSION DES DONNÉES. — Une coupe schématique à travers chacun de ces massifs permet de présenter notre interprétation de l'évolution latérale de ce chevauchement [2]. Sur ces coupes nous avons distingué les données objectives (*fig. 2 a-b*) de l'interprétation des structures issue de l'équilibrage (*fig. 2 c-d*). Dans ce dernier cas, nous n'avons dessiné, pour plus de clarté, que la géométrie du chevauchement principal (en tiretés) en enlevant les plis et les failles associés à des chevauchements secondaires postérieurs dont seule la trace, avant fonctionnement, est donnée en pointillés.

Au Nord de la Chartreuse (*fig. 2 c*), le marqueur sismique à faible profondeur peut correspondre à l'Urgonien de la série chevauchée [15], cette géométrie impose alors de dessiner un palier important, à la base des Terres Noires chevauchantes, palier qui doit se prolonger par une rampe pour rejoindre un niveau de chevauchement intra-crustal sous le massif de Belledonne [13]. Pour fixer la position de cette rampe, nous avons considéré que le pli synclinal qui se retrouve tout le long de la bordure Ouest de la Chartreuse est lié au passage de la série chevauchante sur cette rampe. Pour équilibrer ensuite les longueurs de toutes les couches de la série, un palier important doit alors être dessiné à la base des Terres Noires chevauchées (*fig. 2 c*).

Au Nord du Vercors (*fig. 2 d*), le seul chevauchement, visible en surface et ayant à la fois la situation et l'amplitude nécessaire pour être considéré comme l'amortissement du chevauchement principal de Chartreuse, est celui du Moucherotte (*fig. 1 a*). La même

géométrie du chevauchement principal peut alors être conservé sur les deux coupes la seule différence étant la valeur du déplacement qui passe de 15 km en Chartreuse (fig. 2 c) à 5 km en Vercors (fig. 2 d) ce qui se traduit pour le compartiment chevauchant par une rotation antihoraire de 15-20° [1].

Ces deux coupes illustrent schématiquement l'interprétation proposée. Elles n'ont cependant été dessinées qu'après avoir acquis l'assurance que le dessin dans le détail de chaque structure était compatible latéralement avec une évolution progressive de la géométrie de ces structures et des valeurs des déplacements d'une coupe à l'autre [2], ce qui implique les coupes sériées de la figure 3. Ainsi, le débouché en surface du chevauchement principal en Chartreuse est possible, soit sur le chevauchement de l'anticlinal médian (φ AM), soit sur celui de Chartreuse Orientale (φ O, structure majeure au Nord [16]), figure 1 a. L'observation, dans la partie médiane de Chartreuse (coupe 9, fig. 3 a), d'un pli synclinal au mur du φ O implique une faible valeur de déplacement sur celui-ci (3-4 km) qui ne semble pas compatible avec le déplacement de 15 km décrit au Nord (coupe 12, fig. 3 a). Une meilleure compatibilité latérale est obtenue avec un débouché en surface du chevauchement principal sur φ AM.

La géométrie des structures proposées implique aussi une cinématique de propagation des chevauchements différente entre Vercors et Chartreuse. En Chartreuse les chevauchements les plus récents (pointillés) recoupent le chevauchement principal (tiretés) (coupes

EXPLICATIONS DES PLANCHES

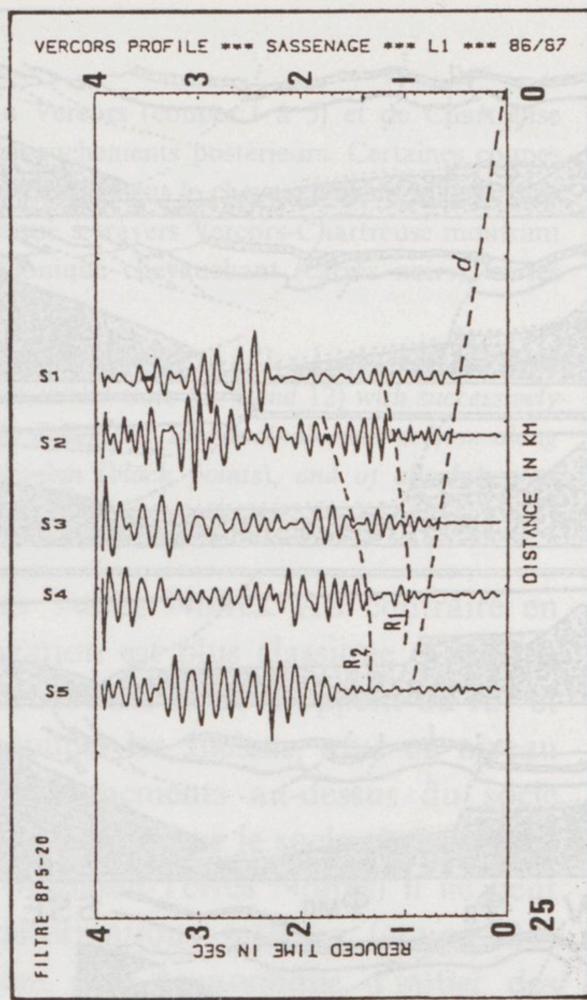
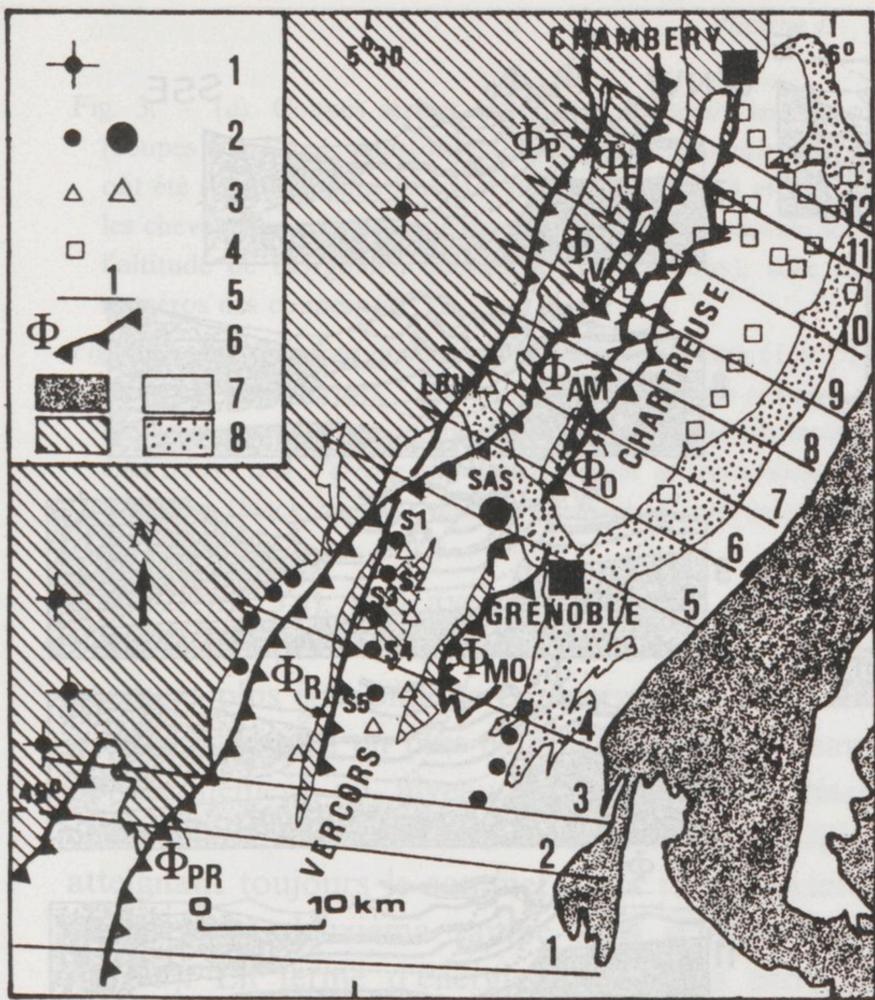
Planche I

Fig. 1. — (a) Carte de situation des données géologiques, géophysiques et des coupes sériées. 1, forage ayant atteint le socle; 2, stations sismiques associées aux tirs de Sassenage (tir = SAS); 3, stations sismiques associées aux tirs de la Buisse (tir, LBU); 4, stations sismiques des profils Chartreuse [14]; 5, situation et numéro des coupes; 6, chevauchements visibles en surface (φ AM, anticlinal médian; φ E, Epine; φ MC, Moucherotte; φ O, Chartreuse Orientale; φ P, Parves; φ PR, Presles; φ R, Rencurel; φ V, Voreppe); 7, socle (gris) et secondaire (blanc); 8, tertiaire (hachures) et quaternaire (pointillé). (b) Assemblage des enregistrements du profil L_1 (stations S_1 à S_5), d , onde directe; R_1 et R_2 , réflexions sur la limite socle/couverture (R_1) et sur un niveau intra-crustal (Permien?, R_2).

Fig. 1. — (a) Location map of geological and geophysical data, and of seriated cross sections. 1, drill hole reaching the basement; 2, seismic stations associated with shot point of Sassenage (SAS); 3, seismic stations associated with shot point of la Buisse (LBU); 4, seismic stations of Chartreuse profiles [14]; 5, location and reference of cross sections; 6, outcrop of the thrusts (φ AM, anticlinal médian; φ E, Epine, φ MO, Moucherotte; φ O, Chartreuse Orientale; φ P, Parves; φ PR, Presle; φ R, Rencurel; φ V, Voreppe); 7, basement (shaded area) and secondary (white area); 8, tertiary (hatched area) and quaternary (dotted area). (b) Seismic profile L_1 (stations S_1 to S_5), d = direct wave, R_1 and R_2 = reflection from the basement/cover interface (R_1) and from an intercrustal discontinuity (Permian?, R_2).

Fig. 2. — (a) et (b). Report des données géologiques et géophysiques disponibles et acquises en Chartreuse (a) (coupe 12, fig. 1 a) et Vercors (b) (coupe 5, fig. 1 a). U, Urgonien; T, Tithonique, points noirs, situation des discontinuités sismiques (U, Urgonien; S, socle). (c) et (d) Comparaison de la géométrie des chevauchements entre Chartreuse (c) et Vercors (d). 1, chevauchement principal; 2, trace des chevauchements postérieurs, avant leur fonctionnement; TN, Terres Noires Jurassiques.

Fig. 2. — (a) and (b). Initial geological and geophysical data available and acquired in Chartreuse (a) (cross-section 12, Fig. 1 a) and Vercors (b) (cross-section 5, Fig. 1 a). U, Urgonian; T, Tithonian; black points, seismic discontinuities (U, Urgonian; S, basement). (c) and (d) Comparison of the geometry of thrusts between Chartreuse (c) and Vercors (d). 1, major thrust, 2, latter thrust drawn before their movement; TN, Jurassic Black Shales.



(a)

(b)

Fig. 1

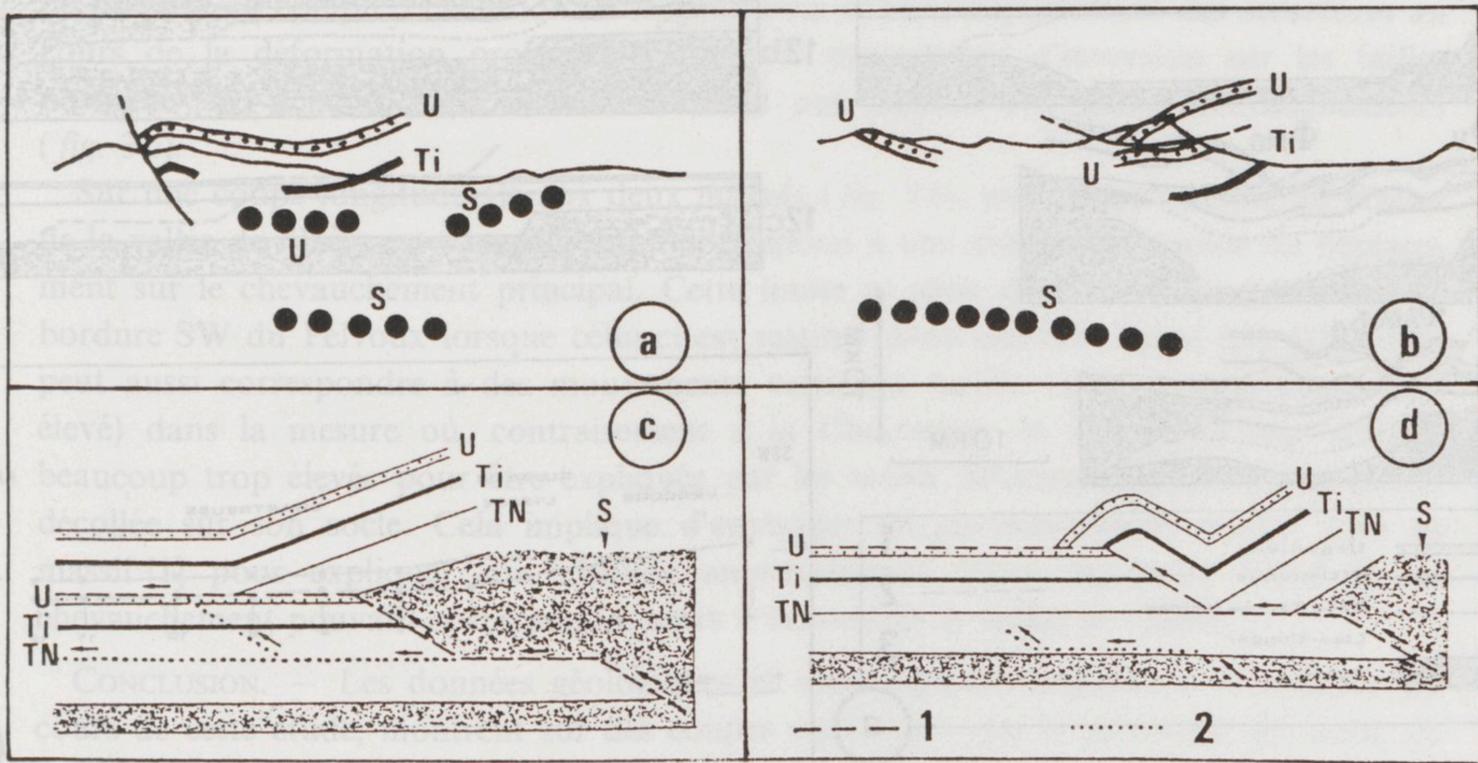


Fig. 2