

# Interprétation nouvelle de la géométrie de l'accident du Vuache dans le Jura méridional : le relais de failles transpressif sénestre Léaz-Champfromier (Ain)\*

Michel DONZEAU <sup>(1)</sup>  
Roland WERNLI <sup>(2)</sup>  
Jean CHAROLLAIS <sup>(2)</sup>

*A new interpretation of the geometry of the Vuache Fault in the Southern Jura: the Léaz-Champfromier left-lateral transpressive fault-transfer zone (Ain Dept.)*

Géologie de la France, n°2, 1998, pp. 25-45, 7 fig., 2 pl. photo.

Mots-clés : Faille décrochement, Faille sénestre, Transpression, Ain, Jura chaîne, Faille Vuache.

Key words: Strike-slip fault, Left-lateral faults, Transpression, Jura mountains, Vuache Fault, Ain Dept. (France).

## Résumé

Le but de la présente note est la description et l'interprétation d'une structure singulière jalonnant le trajet de la faille du Vuache dans le Jura méridional : le relais de failles transpressif Léaz-Champfromier.

La faille du Vuache, qui constitue une structure tectonique majeure du Jura méridional, peut se suivre du sud-est vers le nord-ouest sur environ 100 km depuis le lac d'Annecy jusqu'au front du Jura et se traduit dans la couverture par un décalage sénestre.

Notre étude suggère que son trajet dans la couverture, jalonné par des relais de failles complexes entre des parties linéaires bien exprimées, traduit un motif général « en tirité » de l'accident du Vuache au niveau du socle, c'est-à-dire un alignement discontinu de tronçons de fractures verticales (peut-être disposées en échelon sénestre).

Dans ce contexte, le relais de failles transpressif Léaz-Champfromier est interprété comme jalonnant l'extrémité nord d'un de ces « tirités ». Dans la partie médiane de chaque tronçon de fracture de socle, le mouvement sénestre s'effectuerait

librement, ce qui se traduit dans la couverture par des portions de failles rectilignes, alors qu'il se bloquerait à leurs extrémités. La déformation se trouve alors préférentiellement absorbée par la couverture, qui doit s'ajuster. Le phénomène se manifeste par l'apparition de failles divergentes verticales ou de rampes peu pentées provoquant des chevauchements, rétrochevauchements, rampes latérales et failles de déchirement qui contrôlent le plissement.

L'organisation de la faille du Vuache dans le socle influe certainement sur la distribution de portions sismiquement actives ou passives le long de l'accident. En effet, sur certaines portions de son trajet, le système de la faille du Vuache est responsable de séismes à répétition, dont le dernier en date est celui d'Annecy du 15 juillet 1996, alors que d'autres parties restent apparemment inactives.

Les autres failles réputées de la même famille disparaissent sous le bassin molassique genevois sans marquer de leur empreinte la chaîne du Jura. Elles pourraient correspondre à des accidents de socle de moindre extension que celui de la faille du Vuache. Reste à déterminer les structures tectoniques traduisant les

« effets d'extrémités » de ces structures dans le bassin genevois.

## Abridged English Version

### Introduction

The completion of the 1:50,000-scale Saint-Julien-en-Genevois geological quadrangle achieves a new step in the history of geological exploration in the Jura Haute-Chaîne and the Vuache Mountain initiated more than a century ago by the pioneering work of Schardt (1891). The mapped area lies 25 km west of Geneva, in the Internal Jura bordering the Swiss Molasse plateau. It straddles the path of the Vuache fault system, a left-lateral transcurrent fault zone that is a major tectonic feature of the Southern Jura.

Here, we present the results of several years of detailed fieldwork by a team of mapping geologists in a tectonically complex area. Specifically, we discuss the geometric pattern of the Vuache fault system. Because the geological cross-sections cut across this major transcurrent fault, making it difficult to balance them, we have resorted to merely presenting the high-level tectonic structures in detail, as

\* Manuscrit déposé le 10 juillet 1997, accepté le 7 avril 1998.

(1) BRGM Rhône-Alpes, BP 2059, 69616 Villeurbanne Cédex.

(2) Université de Genève, Département de Géologie et Paléontologie, Section Sciences de la Terre, 13 rue des Maraîchers, CH 1211 Genève - 4.

deduced from field mapping, without attempting to balance them.

Although a balanced cross-section was presented in the ECORS program for the zone straddling the path of the Vuache fault system (Guellec et al., 1990), this did not apparently take into account the fact that it was crossing a major transcurrent fault. The difficulty was further compounded by the poor resolution of the geophysical profile in the Jura mountains, with the result that the Vuache fault system was ignored. We hope our field data will contribute to a realistic image of this part of the internal Southern Jura.

The vertical to steeply NE-dipping Vuache fault system crosses the map area from SE to NW (Fig. 2) and exhibits seismically active parts. The stratigraphic record has shown that the Vuache fault system has been active from Permo-Carboniferous times up to the present (Enay, 1966; Krummenacher, 1970; Charollais et al., 1983; Blondel, 1984, 1988; Guyonnet, 1987; Blondel et al., 1988; Gorin et al., 1993; Signer and Gorin, 1995) and its seismic history is well known (Sambeth, 1984; Sambeth and Pavoni, 1988; Amato, 1983, 1985, 1988). It was notably responsible for the Annecy earthquake that occurred on July 15th, 1996.

The great length of the Vuache fault system suggests that it is located above a major basement fault. For a number of authors, the imprint of the Vuache Fault can be followed along a general N 150° trend from Lake Annecy between the Bauges and the Bornes subalpine massifs in the southeast, to the overthrust Jura front in the Bresse basin (Wildi et al., 1991) approximately 100 km to the northwest, thus linking the Alpine and Jura thrust fronts (Signer and Gorin, 1995) (Fig. 1). It would belong to the so-called "radial faults" (Pavoni, 1975), a family of left-lateral transcurrent faults cutting radially through the arcuate Jura mountain chain. In the Geneva area, this family comprises the La Caille, Cruseilles, Coin (Fig. 2) and Arve faults.

Our study deals with the newly mapped area extending from the latitude of the Vuache Mountain in the south to that of Reculet in the north (Figs. 2, 4 and 5).

### Description of the tectonic structures related to the Vuache fault system (figs. 2, 5 and 6)

In our work area, the Vuache Fault can be divided into three parts that are, from south to north:

- south of the Rocher de Léaz, in the Montagne du Vuache, where the trajectory of the Vuache Fault is supposedly simple and rectilinear;

- north of the Rocher de Léaz, where the fault splits and opens to the northwest into a "horse-tail" pattern that extends across most of the study area. It includes a main eastern branch and a secondary curved western branch that together define a triangular area, the "Léaz-Champfromier left-lateral transcurrent transfer zone" which is limited to the north by the Monnetier backthrust;

- north of the Monnetier backthrust where the system continues as the left-lateral en echelon Haute-Crête-Les Bouchoux fault zone.

The above pattern defines three contrasted tectonic units:

- the Haute-Chaine-Chalam unit to the east, which contains the Reculet and Crêt de Chalam thrusts;

- the Retord-Giron unit to the west, which is a tabular kink-folded area;

- the Léaz-Champfromier unit in between, which displays a complex tectonic pattern.

The stratigraphic column (Fig. 3), which has been refined in the course of the mapping, comprises regularly alternating soft (ductile) and hard (competent) horizons, responsible for the particular Southern Jura tectonic style.

The Haute-Chaine-Chalam unit comprises two N 30°-trending ramp anticlines thrust towards the west-northwest: the Reculet and Crêt de Chalam thrusts (Fig. 5). The cross-section (Fig. 7-A) shows the horizontal shortening to be respectively 4 km for the Reculet thrust and 2 km for the Crêt de Chalam thrust.

Both thrusts are bounded on their western side by the Vuache fault zone: the main branch of the Vuache fault system is a lateral ramp to the Crêt de

Chalam thrust and a tear fault to the Reculet thrust. This implies that the Vuache fault system and the Haute-Chaine-Chalam unit have a common deformation history.

The Retord-Giron unit consists of several plateaus separated by conjugate left- and right-lateral transcurrent faults (Figs. 4, 5 and 6), respectively trending N 110° and N 80°. The tectonic backbone consists of a succession of N 0°- to N 15°-trending anticlines and synclines bounded by kink-style rectilinear and steeply dipping limbs, locally faulted and/or overturned to the west (Aeschlimann, 1996). Two types of fold occur, both exhibiting the same kink-fold style: major folds rooted on inverted, former extensional, probably Oligocene faults of kilometer strike length (Glangeaud, 1944, 1947; Bienfait, 1981; Bergerat, 1985) and shallow kink-bands of hectometric strike length.

The Retord-Giron unit evolved independently from the Vuache fault system.

### The Vuache fault system

The Vuache Mountain monocline dips 40° to 70° NE (Schardt, 1891; Scolari, 1955; Blondel, 1984 1988; Blondel et al., 1988). The Vuache fault zone is marked by huge cliffs in the western slope of the mountain. A preliminary study of the replicas of the July 15th, 1996 earthquake in the Annecy area (25 km south of our study area) have shown the Vuache Fault to be dipping 80° NE along two parallel planes (F. Thévenot, 1996, oral comm.)

The Léaz-Champfromier transcurrent fault-transfer zone is framed by the main and secondary branches of the Vuache fault system and by the Monnetier backthrust (see above, and Fig. 5). It contains a complex assemblage of tectonic structures with a N 90° to N 140° direction of shortening, which indicates an internal compressional deformation consistent with a left-lateral displacement along the borders of the fault-transfer zone (Loubat, 1963; Arikan, 1964; Tripet, 1966; Wernli and Jaquet, 1972; Mage, 1983; Blondel, 1984; Copson, 1984; Guyonnet, 1987, 1988; Blondel et al., 1988; Nussbaumer, 1995; Graezer, 1995; Meyer, 1995; Vilpert, 1996).

The left-lateral Haute-Crête-Les Bouchoux en echelon faults develop to the north of the mapped area. Still farther to the north, the trace of the Vuache Fault can be followed along the left-lateral rectilinear Vulvoz - Molinges Fault (Fig. 2). Between the Léaz-Champfromier fault-transfer zone and the Haute-Crête-Les Bouchoux en echelon faults, the fault system is intercalated by the Combe d'Evuaz molasse syncline (Fig. 5).

Offsets along the Vuache fault system are measured by two types of displacement marker: previously existing tectonic structures (cartographic offsets) and stratigraphic markers along geological cross-sections (tectonic shortening). Although the two types of structural marker do not have the same significance, we combine them for a total estimate of offsets. They give minimum values, because there is as yet no independent means for estimating the total offset and shortening induced by the play of the Vuache fault system during its entire lifetime.

It is interesting to note that the mapped offset along the (vertical or steeply E-dipping) main branch of the Vuache fault system in the vicinity of the Crêt de Chalam thrust is of the same value as that of the horizontal shortening measured along this thrust (2 km) (Figs. 5, 6 and 7A). This confirms the cartographic pattern indicating that the main branch acts as a lateral ramp for this thrust (see above).

In our work area, the total minimum horizontal offset along the main branch is estimated at 6 km; that along the secondary branch at 1 km; that induced by the en echelon Haute-Crête-Les Bouchoux fault zone at 2 km; and the horizontal shortening in the Léaz-Champfromier fault-transfer zone at around 5 km (where the shortening induced by the Monnetier backthrust alone amounts to around 3.5 km).

The vertical offsets are highly variable. They can reverse along the trend of a fault, which is typical of strike-slip faults.

#### Significance of the Vuache fault system geometry

The geometric pattern of the Vuache fault system suggests that the left-lateral displacement along the rectilinear transcurrent Vuache Fault was blocked north-

ward of the Vuache Mountain. The tectonic regime changes abruptly from a sliding regime in the south, to a compressive one in the north (Léaz-Champfromier fault-transfer zone).

The fault and ramp deformation in the Léaz-Champfromier fault-transfer zone is interrupted north of a line defined by the Crêt de Chalam thrust and the Monnetier backthrust (Fig. 5). It resumes farther to the north in the La Haute-Crête-Les Bouchoux en echelon fault zone and in the rectilinear left-lateral Molinges Fault.

The question is: what induces the blocking of the left-lateral sliding along the Vuache fault zone? To answer this question, we invoke a pattern in the basement where the Vuache fault zone would consist of separate segments aligned (or arranged in a left-lateral en echelon pattern) along the general trend of the Vuache Fault. Sliding would be easy along the middle part of the segments, but would be blocked at their ends. Here the strain would have to climb to a higher level and invade the cover rocks, producing a pattern of divergent, vertical and gently dipping faults (thrusts, backthrusts, lateral ramps or tear faults) giving rise to folds.

If this suggestion is correct, then the occurrence of fault-transfer zones between rectilinear fault portions in the cover would indicate "extremity effects" of rectilinear fault segments in the basement.

This mechanism could be relevant to the distribution of seismic and aseismic segments along the Vuache fault zone, where earthquake foci would be distributed in the vicinity of areas where the basement is involved.

Also of note is the contrast between the Vuache fault system and the related left-lateral la Caille, Cruseilles, le Coin and Arve fault zones (Fig. 2). Although, in the south, they all appear as transcurrent fault zones across the Salève mountain chain, only the Vuache Fault reappears on the northwestern side of the Molasse basin and continues clearly in the Jura mountains. We can surmise that the rectilinear trace of the other faults in the cover occurs above vertical basement fractures that are less developed than the Vuache fault system. It remains to identify, in (or under) the Molasse basin and masked by the Quaternary cover, the tec-

tonic patterns reflecting the "extremity effects" of these faults.

## Introduction

Un siècle après les travaux pionniers de Hans Schardt (1891) sur la Haute-Chaîne du Jura et la montagne du Vuache, une nouvelle étape dans la connaissance a été franchie avec l'achèvement de la carte géologique Saint-Julien-en-Genevois à 1/50 000 (Donzeau *et al.*, 1997). La zone cartographiée se situe à cheval sur la limite entre le Jura interne et le plateau molassique suisse, à l'ouest de Genève (fig. 1 et 2).

Les résultats détaillés présentés ici concernent la géométrie cartographique des structures tectoniques liées à la faille du Vuache. Ils synthétisent des données acquises au cours de plusieurs années de terrain par une équipe de cartographes. Ils concernent les superstructures de la chaîne observables sur le terrain et n'abordent que marginalement la problématique des relations socle - couverture et du comportement du socle sous le Jura. Ces thèmes ont été abondamment discutés par d'autres auteurs (notamment, in Roure *et al.*, 1990 et Mascle, 1994).

Les coupes présentées à travers les chaînons traversent les structures décrochantes de la faille du Vuache, ce qui rend de fait leur équilibrage délicat. Leur intérêt essentiel est de mettre en évidence les superstructures de la chaîne déduites de la cartographie de terrain, sans rechercher l'équilibrage. Les interprétations proposées dans le cadre du programme ECORS<sup>(1)</sup> sur la zone étudiée n'ont, semble-t-il, pas tenu compte de cette limitation à l'équilibrage. Aussi, la problématique de la faille du Vuache a-t-elle été largement occultée (Guellec *et al.*, 1990), d'autant plus que les auteurs ont été confrontés à une mauvaise résolution sismique de sub-surface. Sans vouloir entrer dans le débat sur les interprétations dans les zones profondes de la chaîne, nous y apportons des éléments de terrain nouveaux et objectifs.

Le secteur étudié est traversé du sud-est au nord-ouest par le système de la

(1) Etude de la Croûte Continentale et Océanique par Réflexion et Réfraction Sismique, à travers le Jura et les Alpes.

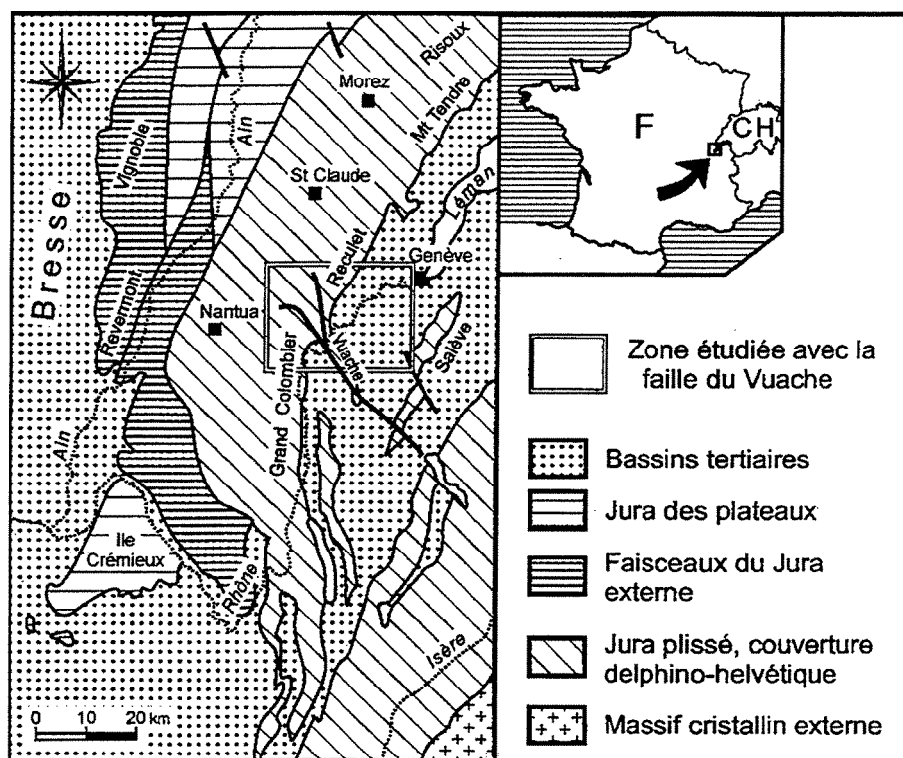


Fig. 1.- Situation de la faille du Vuache dans le Jura méridional.

Fig. 1.- Location of the Vuache Fault in the Southern Jura.

faille du Vuache qui conditionne le comportement de cette partie du Jura interne. La grande extension géographique de cet accident complexe (Chauve *et al.*, 1980), sismiquement actif par endroits, suggère qu'il est situé à l'aplomb d'une discontinuité de socle (fig. 1). Pour bon nombre d'auteurs, il s'étendrait depuis la cluse d'Annecy entre Bornes et Bauges jusqu'au front chevauchant du Jura sur la Bresse (Wildi *et al.*, 1991), soit sur une longueur d'environ 100 km, reliant ainsi le front des Alpes au front du Jura (Signer et Gorin, 1995). Son activité, enregistrée dans la sédimentation depuis le Permo-Carbonifère, se manifeste jusqu'à l'Actuel (Enay, 1966 ; Krummenacher, 1970 ; Charollais *et al.*, 1983 ; Blondel, 1984, 1988 ; Sambeth, 1984, Sambeth et Pavoni, 1988 ; Amato, 1983, 1985, 1988 ; Guyonet, 1987 ; Blondel *et al.*, 1988 ; Gorin *et al.*, 1993 ; Signer et Gorin, 1995). Il se trouve notamment à l'origine du séisme du 15 juillet 1996 au nord-ouest d'Annecy. Selon Pavoni (1975), la faille du Vuache appartiendrait à la famille des « failles rayonnantes », accidents décrochants sénestres radiaux à la chaîne du Jura comprenant, dans le bassin genevois, les failles de la Caille, de Cruseilles, du Coin et de l'Arve. Elle se marque dans la cou-

verture par un décalage cartographique sénestre (fig. 2) de l'ordre de la dizaine de kilomètres.

La présente étude se limite à la portion du Jura interne nouvellement cartographiée qui s'étend depuis la latitude de la montagne du Vuache au sud jusqu'à celle du Reulet au nord (fig. 2, 4 et 5).

## Stratigraphie

### Remarques générales

Une brève description de la stratigraphie (fig. 3) est nécessaire, car elle permet une meilleure compréhension du comportement tectonique de la série sédimentaire. Pour plus de détails, le lecteur pourra se référer à la notice de la feuille géologique à 1/50 000 Saint-Julien-en-Genevois (Donzeau *et al.*, 1997).

L'établissement d'une seule colonne stratigraphique synthétique, même schématique, s'avère délicat pour la région étudiée, en raison des variations de faciès et surtout d'épaisseur d'un secteur à l'autre. Chaque formation ou groupe de formations est caractérisé par une épaisseur moyenne. Dans le cas de fortes

variations de faciès et de passages latéraux (par exemple, dans la barre du Bajocien ou celle du Kimméridgien), un compromis graphique est adopté, sans respect réel des isochrones ni des épaisseurs. Les molasses tertiaires, dont les épaisseurs sont généralement fortes et variables, ne sont pas détaillées ici, du fait de leur rôle mineur dans les profils tectoniques présentés. Les formations minces sont omises ou regroupées avec leurs voisines. Les nomenclatures sont simplifiées et seules les lithologies dominantes sont portées à droite de la colonne.

A part les niveaux évaporitiques du Trias, la série mésozoïque présente dans son ensemble une alternance régulière de barres compétentes et de niveaux ductiles. Cet agencement stratigraphique particulier est responsable du style tectonique du Jura méridional (disharmonies, décollements, chevauchements). Cette série comprend schématiquement de bas en haut : le Lias marneux, le Dogger calcaire, l'Oxfordien marneux, le Malm calcaire, le Néocomien en alternances marnes-calcaires et l'Urgonien calcaire. Le Crétacé supérieur et les molasses sont globalement peu compétents.

La série mésozoïque est assez bien datée dans son ensemble, grâce aux travaux de Meyer (1995) pour le Lias, Mangold (1970) et Wernli (1971) pour le Dogger, Enay (1966) pour l'Oxfordien, Bernier (1984) pour le Kimméridgien-Tithonien, Clavel *et al.* (1986) et Charollais *et al.* (1989) pour le Crétacé inférieur.

Le découpage de la colonne stratigraphique est identique à celui des profils tectoniques (fig. 7) auxquels elle sert de légende. Une bonne image de cette série stratigraphique est donnée sur les photos aériennes obliques (planche 1, fig. 1 et 2).

### Brève description des terrains

Les sigles des étages correspondent à quelques regroupements près, à ceux de la carte géologique à 1/50 000 Saint-Julien-en-Genevois.

**t. Trias supérieur (Keuper).** Il n'affleure que dans la boutonnière de la Sandézanne à l'ouest de Champfromier. Ce sont des faciès marneux plus ou moins gypseux couronnés par les grès du Rhétien. Très plastique, le Keuper joue un rôle depuis longtemps reconnu comme

niveau de décollement de la série mésozoïque. Son épaisseur n'est pas estimable dans ce secteur.

**j1-8. Lias marneux (170 m).** Peu compétent dans l'ensemble, il comprend néanmoins une base plus calcaire (Hettangien-Sinemurien) et quelques horizons durs (Domérien sommital et Toarcien moyen). Bien datée par les ammonites grâce au travail de Meyer (1995) qui a reconnu presque toutes les biozones du Lias, la série atteint 170 m dans la Sandézanne.

**j0-2. Dogger (220 m).** Représenté par une grosse barre calcaire, le Dogger se compose essentiellement d'horizons bioclastiques (échinodermiques) fins à grossiers et bien lités qui se plissent aisément. Au Bajocien supérieur, il comprend des faciès plus marnieux (Marnes à *Praeexogyra acuminata*) d'épaisseur variable. Les diverses formations du Bathonien bien étudiées par Mangold (1970) ont été réunies sous le terme de « Calcaires terreux » ; certains horizons sont marno-calcaires.

**j3-4. Callovien et Oxfordien inférieur (0 - 12 m).** Les faciès condensés, ferrugineux et variés du Callovien (j3, 0,5 - 2 m) et les Marnes à *Creniceras renggeri* (j4, 0 - 10 m) de l'Oxfordien inférieur ne jouent pas de rôle structural. Lorsque les Marnes à *Creniceras renggeri* sont absentes, les Couches de Birmsendorf, décimétriques (j5a, non indiqué sur la colonne stratigraphique), forment le sommet de la barre du Dogger.

**j5-7. Oxfordien moyen - Kimméridgien inférieur (400 - 500 m).** Cet ensemble regroupe la série comprise entre la barre du Dogger et celle du Complexe récifal du Kimméridgien supérieur. Elle se compose d'un Oxfordien marneux (Marnes d'Effingen, Couches du Geissberg, Calcaires lités), d'un Oxfordien supérieur et d'un Kimméridgien inférieur un peu plus calcaires. L'ensemble, à dominante marnieuse bien litée, comprend toutefois une ou deux falaises plus dures au niveau des Calcaires pseudolithographiques (j6). Morphologiquement, les Calcaires de Tabalcon se rattachent au Complexe Récifal sus-jacent lorsqu'ils sont calcaires mais forment une combe lorsqu'ils sont largement dolomités. L'ensemble j5-7 provoque des bourrages de chanières ou des plis disharmoniques.

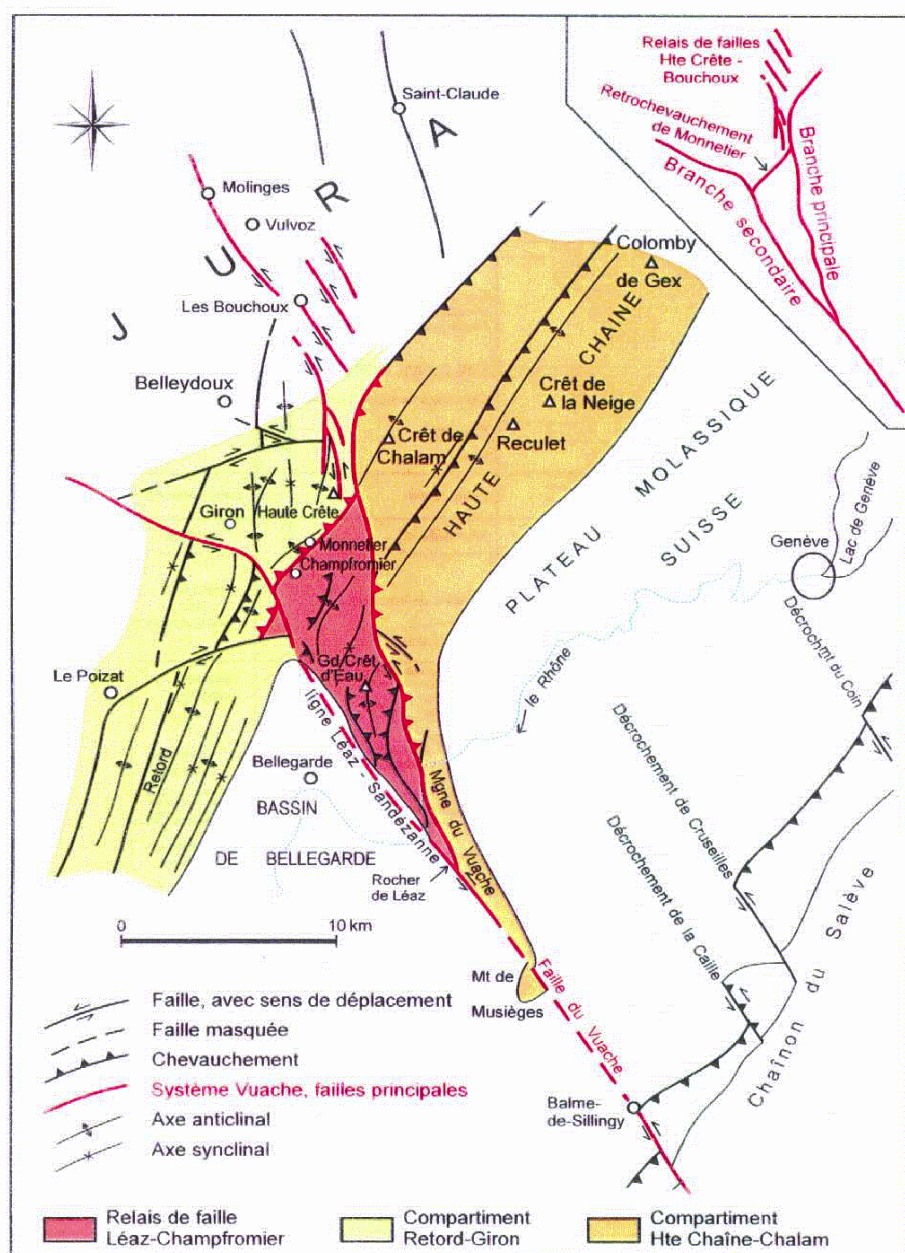


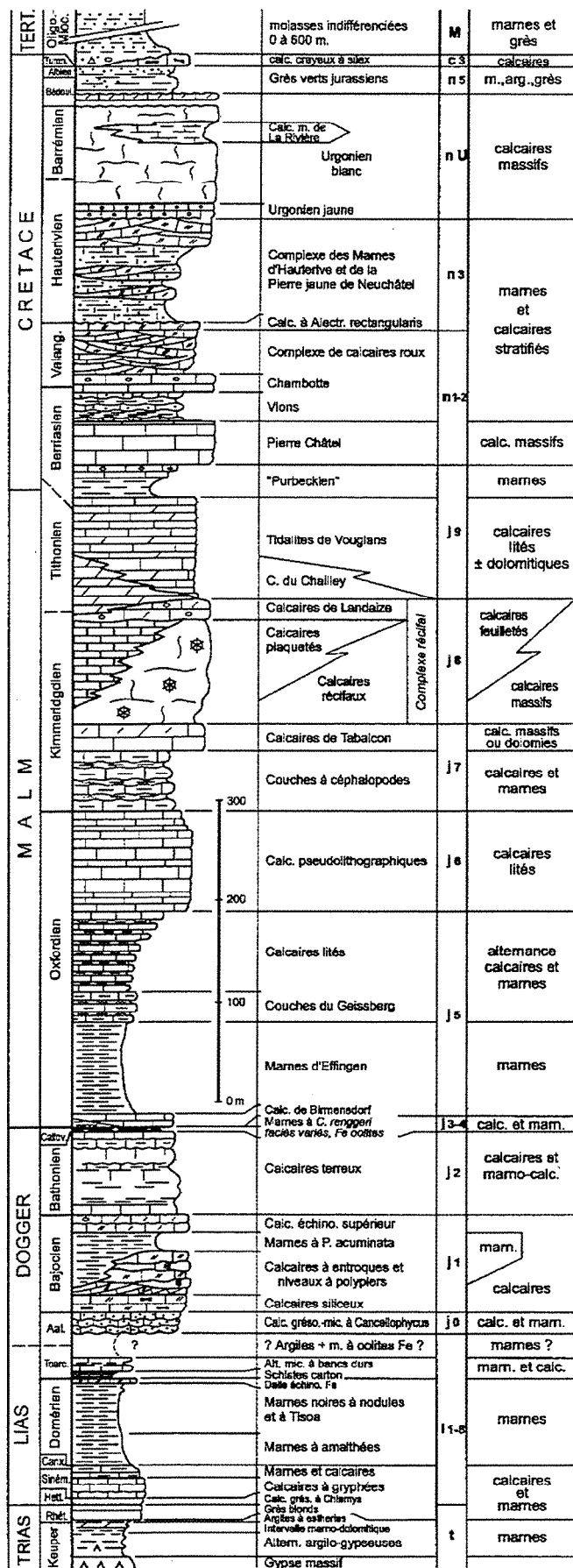
Fig. 2.- Esquisse tectonique du système Vuache et des structures associées.

Fig. 2.- Tectonic sketch map of the Vuache fault system and related structures.

**j8-9. Kimméridgien supérieur et Tithonien (150 - 250 m).** Le Complexe récifal du Kimméridgien supérieur et les Tidalites de Vouglans du Tithonien constituent une barre dure bien marquée dans le paysage. Mais elle est irrégulière à cause de l'épaisseur très variable des constructions récifales disséminées (patch-reefs) et des faciès à débris. Entre les « patch »-reefs s'installent les Calcaires plaquetés, souvent feuilletés, qui forment alors une combe. Les calcaires coralligènes,

construits ou en débris, sont mal stratifiés, compétents et très fracturés perpendiculairement ou obliquement à la stratification. Ils acceptent des poches dolomitées et des zones plus ou moins cimentées. Les Calcaires plaquetés (en lits millimétriques, centimétriques ou décimétriques) se déforment aisément en kinks et plis en chevrons de taille décimétrique à décimétrique.

Le litage des Tidalites de Vouglans, essentiellement calcaires ou calcaréo-



dolomitiques, leur confère un comportement peu compétent. Elles se ploient en grandes ondulations décamétriques.

Les faciès du Purbeckien, marneux à la base (combe purbeckienne) et plus calcaires au sommet, ont été inclus sous l'indice j9 dans les profils.

**n1-3. Néocomien (150 - 250 m).** Il comprend à la base la « trilogie berriasienne » surmontée d'une série plus tendre du Valanginien-Hauteriviens inférieur. La « trilogie », souvent bien marquée dans la topographie, se compose des deux petites barres calcaires dures des formations de Pierre Châtel et de la Chamboite, séparées par la petite combe de la formation de Vions. Au-dessus, le Complexe des calcaires roux, en petites dalles et le Complexe des Marnes d'Hauterive et de la Pierre jaune de Neuchâtel, alternance de marnes et de barres de calcaires bioclastiques, forment une large combe sous la barre urgonienne. L'ensemble n1-3 est souvent plissé et écaillé au sein des synclinaux ou dans les écharpes de lambeaux jalonnant les décrochements.

**nU. Hauteriviens supérieur - Bédoulien (environ 100 m).** La barre urgonienne, incluant à sa base une semelle de Pierre jaune de Neuchâtel ainsi que l'oolite « caviar » de l'Urgonien jaune, est massive sur une épaisseur de 100 m. La vire plus tendre des Calcaires marneux de la Rivière (Barrémien inférieur) ne s'observe que sporadiquement. Composé de calcaires bioclastiques bien cimentés et mal stratifiés, l'Urgonien est très compétent : fractures et plis amples à serrés.

**n5-c3. Crétacé supérieur pro parte (environ 50 m).** Au-dessus des placages bioclastiques du Bédoulien, les Grès verts jurassiens (« Gault » *auct.*) grésoglaucieux et argileux à leur base forment une combe au cœur des synclinaux. La petite barre calcaire du Turonien n'est connue que dans le synclinal de la Rivière, sous le chevauchement du Reculet.

Fig. 3.- Série stratigraphique schématique de la partie du Jura méridional figurant sur la feuille Saint-Julien-en-Genevois à 1/50 000.

Fig. 3.- Simplified stratigraphic column for the Southern Jura included in the 1:50,000-scale Saint-Julien-en-Genevois geological map.

**M. Oligocène supérieur - Miocène inférieur** (0 - 600 m). Les Molasses diverses du Tertiaire, marnes et grès bariolés, marnes et grès à gypse (Chattien - Aquitanien) et grès verdâtres bioclastiques du Burdigalien, inexistantes par endroits, peuvent atteindre ailleurs plusieurs centaines de mètres d'épaisseur. Elles ne jouent qu'un rôle mineur pour l'établissement de nos coupes et ne sont pas détaillées dans le cadre de ce travail.

**Q. Quaternaire.** Essentiellement morainiques, les dépôts du Quaternaire ne sont pas différenciés.

## Description des structures tectoniques

Le comportement tectonique de la portion du Jura interne couverte par la feuille Saint-Julien-en-Genève est conditionné par la présence du système de la faille du Vuache qui traverse la zone cartographiée en diagonale SE - NW. Il se compose, du sud vers le nord, d'une succession de trois segments (fig. 2, 4 et 5) :

- au sud du Rocher de Léaz, la faille du Vuache présente une trajectoire supposée simple. Son miroir forme le versant occidental abrupt de la Montagne du Vuache ;

- au nord du Rocher de Léaz, elle se dichotomise pour présenter une disposition en « queue de cheval » sénestre dont les deux branches, d'inégale importance, divergent vers le nord-ouest :

- . à l'est, la branche principale constitue un ensemble sinueux complexe de décrochements et d'écaillés dont la continuité a été reconnue sur le terrain en rive droite du Rhône (Arikan, 1964 ; Tripet, 1966 ; Wernli et Jaquet, 1972 ; Blondel, 1984 ; Blondel *et al.*, 1988 ; Guyonnet, 1987, 1988 ; Nussbaumer, 1995 ; Vilpert, 1996 ; Graezer, 1995) et qui se prolonge par le chevauchement du Crêt de Chalam,

- . à l'ouest, la branche secondaire forme une ligne courbe composite qui s'amortit à l'ouest, (feuille géologique à 1/50 000 Nantua n° 652, Mangold *et al.*, à paraître). Elle s'observe depuis le Rocher de Léaz jusqu'à la faille de la Sandézanne, en passant par la ligne « Léaz-Sandézanne ». Cette dernière coïncide avec un fort dénivelé topographique rectiligne séparant le plateau de

Bellegarde du Grand Crêt d'Eau (pl. 2, fig. 1).

Ces deux branches encadrent une zone triangulaire, le relais de failles Léaz-Champfromier, limité au nord par le retrochevauchement en tresse de Monnetier. L'accident de Monnetier, qui chevauche vers le sud-est, supporte le pli de rampe de Monnetier, structure anticlinale laissant affleurer le Trias supérieur (Meyer, 1995 et fig. 4, 5 et 7 B) ;

- au-delà du relais de failles Léaz-Champfromier, le système de la faille du Vuache se poursuit vers le nord-ouest par un système de failles en échelon sénestre (région de la Haute Crête-Les Bouchoux, fig. 2).

En conclusion, la disposition géométrique du système de la faille du Vuache résulte de la dichotomisation d'un accident simple qui individualise trois secteurs de styles tectoniques très différents (fig. 2, fig. 5) :

- à l'est, le compartiment Haute-Chaîne-Chalam, principalement constitué de grands chevauchements (Reculet et Crêt de Chalam) ;

- à l'ouest, le compartiment Retord-Giron, caractérisé par un style tabulaire plissé en kinks ;

- entre les deux, la zone triangulaire du relais de failles Léaz-Champfromier définie par une géométrie structurale particulièrement complexe.

## Le compartiment Haute-Chaîne-Chalam

Le compartiment Haute-Chaîne-Chalam comprend deux plis de rampe orientés N 30° chevauchants vers l'WNW : ce sont, d'est en ouest, les chevauchements du Reculet et du Crêt de Chalam, séparés par le synclinal de la Valserine (Vincienne, 1930, 1932) (fig. 5 et planche 2, fig. 2). La coupe de la figure 7 A permet de calculer le raccourcissement horizontal induit dans la couverture par le jeu des rampes : il est respectivement de 4 km (Reculet) et 2 km (Crêt de Chalam).

La branche principale du système Vuache, dans sa disposition actuelle, constitue à la fois la rampe latérale du chevauchement du Crêt de Chalam et une

faille de déchirement pour celui du Reculet (fig. 5 et 6 et ci-dessous). Ceci implique une dynamique de déformation commune entre la branche principale du système Vuache et le compartiment Haute-Chaîne-Chalam.

Dans le prolongement sud-est de la région cartographiée (fig. 2), au niveau de la Balme-de-Sillingy, le chaînon du Salève est situé sur le trajet de la faille du Vuache. Il résulterait du même type de déformation que les chevauchements du Reculet et du Crêt de Chalam (feuille 677 Seyssel, Donze et Enay, 1972). Il est décalé en jeu sénestre à la Balme-de-Sillingy.

## Le compartiment Retord-Giron

Le compartiment Retord-Giron consiste en plusieurs plateaux séparés par des accidents décrochants conjugués N 80° dextres ou N 110° sénestres (fig. 5). Les accidents dextres apparaissent comme conjugués du système sénestre du Vuache. Ce système de failles conjuguées à bissectrice E-W s'exprime à différentes échelles dans le compartiment Retord-Giron et dans le relais de failles Léaz-Champfromier, où il décale les structures (fig. 5). Il n'est par contre pas exprimé dans le compartiment Haute-Chaîne-Chalam.

La structure des plateaux consiste en une succession d'anticlinaux et de synclinaux coffrés d'axe N 0° à N 15°, à sommet plat et charnières en kink, parfois faillés ou déversés vers l'ouest (Aeschlimann, 1996 et planche 1, fig. 1). Ces plis sont soit liés à des accidents longitudinaux interprétés comme d'anciennes failles normales oligocènes inversées (« plis-failles » de Glangeaud, 1944, 1947 ; Bienfait, 1981 ; Bergerat, 1985), soit superficiels et mobilisant des horizons bien lités par glissements banc sur banc.

Les plis du compartiment Retord-Giron sont recoupés et décalés par l'accident du Vuache et le système de failles conjuguées qui lui est associé. Cette relation, ainsi que le style et l'orientation des plis suggèrent que l'évolution tectonique du compartiment Retord-Giron s'est effectuée sans lien direct avec celle du système Vuache.

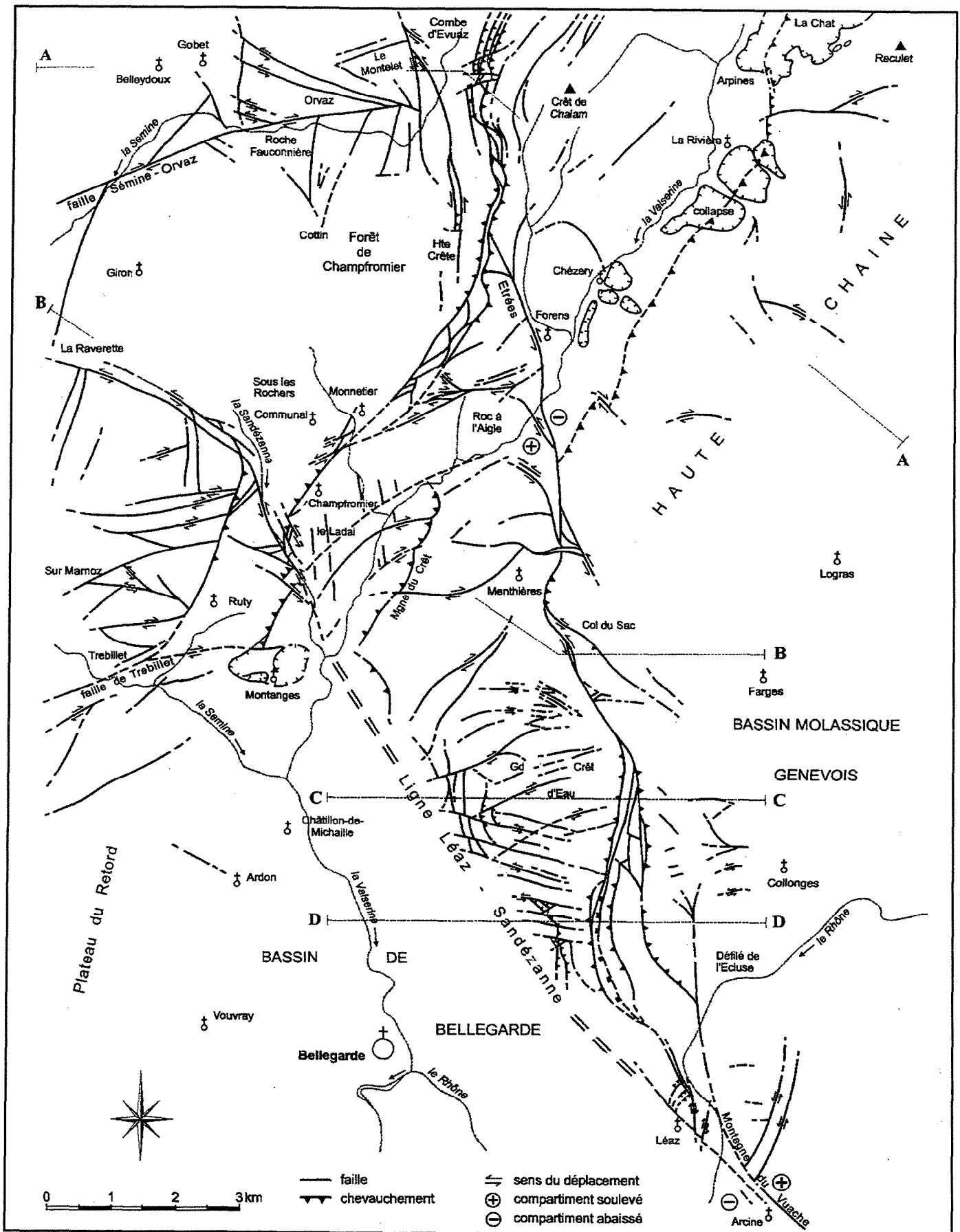


Fig. 4.- Accidents tectoniques de la zone étudiée (d'après la carte à 1/50 000 Saint-Julien-en-Genevois).

Fig. 4.- Tectonic features of the Vuache fault system in the study area (from the 1:50,000-scale Saint-Julien-en-Genevois quadrangle).



## Le système de la faille du Vuache

### Le segment de la Montagne du Vuache

La Montagne du Vuache (Schardt, 1891 ; Scolari, 1955 ; Blondel, 1984, 1988 ; Blondel *et al.*, 1988), orientée N 150°, consiste en un monoclinial dont les couches plongent de 40° à 70° vers le nord-est (fig. 5 et 6). Le passage de la faille sur son flanc sud-ouest détermine une famille de miroirs verticaux formant des falaises spectaculaires disposées en échelon sénestre, dont l'une est visible au-dessus de l'entrée ouest du tunnel autoroutier du Vuache. Le pendage de l'accident a été caractérisé dans la région d'Annecy grâce à l'analyse préliminaire des répliques du séisme du 15 juillet 1996. Il serait d'environ 80° vers le nord-est, la faille du Vuache paraissant présenter dans cette zone deux plans de failles parallèles (F. Thévenot, 1996, comm. orale).

### Le relais de failles Léaz-Champfromier

La zone triangulaire du relais de failles Léaz-Champfromier, encadrée par les deux branches du système Vuache et le rétrochevauchement de Monnetier, héberge un enchaînement complexe de plis écaillés déversés vers le nord-ouest, qui ont été étudiés par de nombreux auteurs (Loubat, 1963 ; Arikan, 1964 ; Tripet, 1966 ; Wernli et Jaquet, 1972 ; Mage, 1983 ; Blondel, 1984 ; Copson, 1984 ; Guyonnet, 1987, 1988 ; Blondel *et al.*, 1988 ; Nussbaumer, 1995 ; Graezer, 1995 ; Meyer, 1995 ; Vilpert, 1996). L'architecture de ce relais témoigne d'une dynamique transpressive sénestre.

Les structures composant le relais de failles Léaz-Champfromier sont décrites succinctement du sud vers le nord (fig. 5) :

**Le Rocher de Léaz**, à la pointe méridionale du relais de failles, comprend au nord trois petites écaillures imbriquées chevauchant vers le nord et limitées par les deux branches du relais de failles.

**L'anticlinorium du Grand Crêt d'Eau** (fig. 7 C et D, et planche 2, fig. 2) est caractérisé par un axe sigmoïde sénestre à multiples replis. Sa pointe sud, écrasée entre les deux branches du système Vuache, présente des écaillures orientés

vers l'extérieur en disposition de « pop up » (Guyonnet, 1988). Les couches sont surélevées de 1000 m par rapport à leur position dans la Montagne du Vuache (Nussbaumer, 1995 : le rejet vertical a été mesuré au niveau du toit des Calcaires pseudolithographiques de l'Oxfordien : 1550 m NGF au Grand Crêt d'Eau, 550 m NGF au Vuache).

Dans leur disposition actuelle, l'anticlinorium du Grand Crêt d'Eau et le Rocher de Léaz forment le flanc ouest d'une grande structure anticlinale dont le flanc oriental correspond à la Montagne du Vuache (Blondel *et al.*, 1988). L'architecture de ce grand pli est dissymétrique de part et d'autre de la faille du Vuache : le flanc oriental est un monoclinial bien réglé tandis que le flanc occidental est plissé et écaillé (fig. 7 C et D).

**Le synclinal de Menthrières** (fig. 7 B), déversé vers l'ouest, est écaillé. La succession des formations crétacées de son flanc oriental, disposée en série inverse, comporte à sa base géométrique une dalle urgonienne amincie.

**Les anticlinaux de la Montagne du Crêt et du Roc à l'Aigle** (fig. 7 B) correspondent à une même structure pincée asymétrique à déversement vers l'ouest, hachée par des failles.

**Le plateau du Ladai**, armé par la dalle de l'Urgonien, se prolonge vers le nord-est par un synclinal très fracturé à coeur d'Urgonien qui disparaît sous le rétrochevauchement de Monnetier. Le plateau du Ladai rétrochevauche l'anticlinal de la Montagne du Crêt, probablement par disharmonie (léger décollement de la dalle urgonienne sur les marnes de l'Hauterivien, fig. 7 B). Il est chevauché à l'ouest (et probablement « poussé ») par l'anticlinal à coeur de Trias - Dogger de Monnetier induit par le rétrochevauchement du même nom (fig. 7 B).

### Le relais de failles en échelon de la Haute Crête - Les Bouchoux

Le système Vuache s'interrompt au front du chevauchement du Crêt de Chalam. L'interruption est soulignée par le synclinal d'Evuaz, induit par le chevauchement du Crêt de Chalam et qui s'intercale dans le trajet de l'accident du Vuache (fig. 5). La fracturation se poursuit au-delà par un relais de failles verti-

cales en échelon sénestre à décalage plurihémométrique qui se développe vers le nord dans la région des Bouchoux - La Pesse et se prolonge par la faille sénestre rectiligne de Molinges (fig. 2 et feuille 628 Saint-Claude à 1/50 000, Guillaume *et al.*, 1971).

## Décalages induits par le système de la faille Vuache

Les décalages induits par le système de la faille du Vuache sont mesurés à l'aide de deux types de marqueurs : soit des structures tectoniques (décalages cartographiques de structures tectoniques), soit des niveaux-repères stratigraphiques (décalages de couches mesurés sur des coupes). Les deux approches n'ont pas la même signification. Dans le premier cas, il s'agit de décalages relatifs postérieurs à la formation des structures tectoniques considérées, la correspondance des structures de part et d'autre de l'accident étant elle-même fondée sur une hypothèse. Cette première approche ne permet pas d'appréhender les décalages éventuels antérieurs à la formation de la structure tectonique considérée. Dans le second, il s'agit de mesures de décalages induits par les structures elles-mêmes (essentiellement des chevauchements).

Faute de meilleurs critères, nous tentons la démarche d'intégrer ces deux types de mesures, sachant que le résultat n'aboutit pas à une mesure du décalage absolu induit par le système Vuache au cours de sa longue histoire. Une étude plus fiable, qui sort du cadre du présent travail, consisterait à effectuer sur toute la région une analyse fine des séries stratigraphiques impliquées pour s'assurer des hypothèses de correspondance.

En conséquence, les décalages présentés ci-dessous doivent être considérés comme des valeurs minimales.

### Décalages le long de la montagne du Vuache

Le rejet vertical, mesuré à l'aide de repères stratigraphiques (Urgonien abaissé du bassin de Bellegarde et limite Oxfordien - Kimméridgien du compartiment oriental soulevé) (fig. 5), atteint 600 à 700 m dans la région d'Arcine (fig. 4). Schardt (1891) l'avait estimé à 800 m.

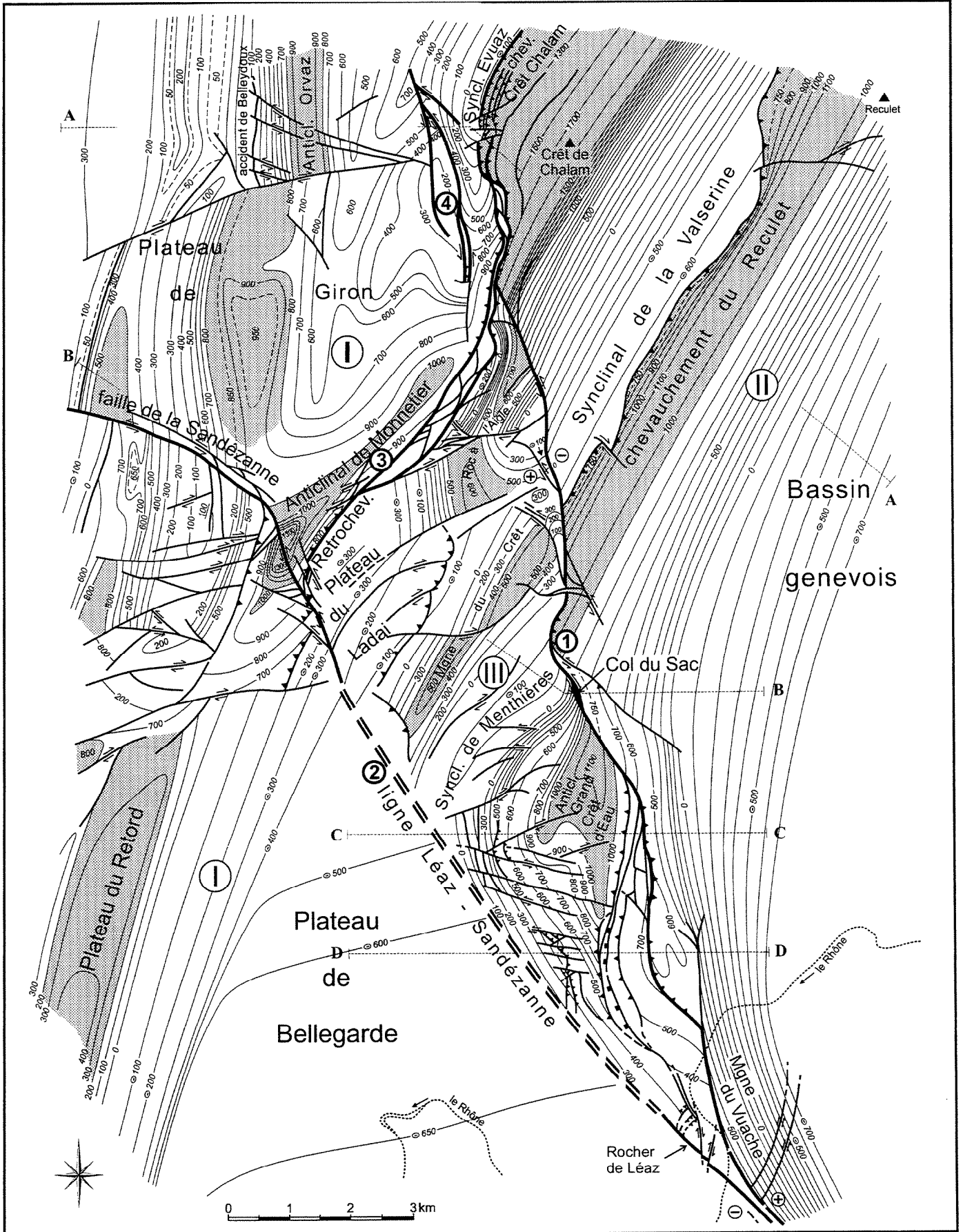
















Fig. 5.- Isohypes du toit du Dogger dans le système de la faille du Vuache.

Fig. 5.- Isohypse map of the top of the Dogger in the Vuache fault system.

## Légende de la figure 5

	courbes isohypses du toit du Dogger et altitude en m (cote NGF) (⊖ : cote négative)	isohypse curves of the top of the middle Jurassic in metres a.m.s.l. (⊖ : b.m.s.l.)
	anticlinal	anticline
	chevauchement	thrust
	faillle inclinée	steeply dipping fault
	faillle verticale	vertical fault
	a = compartiment abaissé b = compartiment soulevé	downlifted side uplifted side
	faillles principales du système Vuache	main branches of the Vuache fault system
	branche principale	main branch
	branche secondaire	secondary branch
	retrochevauchement de Monnetier	Monnetier backthrust
	faillles en échelons de la Hte-Crête - Les Bouchoux	Hte-Crête - Les Bouchoux en échelon faults
	compartiment Retord - Giron	Retord - Giron unit
	compartiment Haute-Chaîne - Chalam	Haute-Chaîne - Chalam unit
	relais de failles Léaz - Champfromier	Léaz - Champfromier fault-transfer

Le décalage cartographique sénestre, mesurable au sud de la zone étudiée, sur la feuille 677 Seyssel (Donze et Enay, 1972), dans le chaînon du Salève à la hauteur de la Balme-de-Sillingy, est de l'ordre de 2 km (décalage mesuré dans l'Urgonien, fig. 2). L'estimation de ce décalage est basée sur l'hypothèse de la correspondance entre la montagne de la Mandallaz et la montagne d'Age, situées de part et d'autre de la faille du Vuache. Rigassi (1977) proposait des décalages de 3-4 km.

### Décalages le long de la branche principale du système de la faille du Vuache

Dans la zone cartographiée, l'amplitude du décalage cartographique sénestre peut s'apprécier par la mesure de l'écart entre deux structures situées de part et d'autre de l'accident et considérées comme homologues, bien que présentant des degrés d'évolution différents (fig. 5). Ce sont, du nord au sud :

- l'anticlinal de la Montagne du Crêt-Roc à l'Aigle (situé dans le relais de failles Léaz-Champfromier), considéré comme correspondant au chevauchement du Crêt de Chalam (compartiment Haute-Chaîne-Chalam) ;

- le synclinal de Menhières (relais de failles Léaz-Champfromier), corrélé avec le synclinal de la Valserine (compartiment Haute-Chaîne-Chalam).

L'amplitude du décalage cartographique sénestre, de l'ordre de 2 km, est identique à la valeur du raccourcissement horizontal mesuré sur la coupe du chevauchement du Crêt de Chalam (fig. 7 A). La similitude de ces deux valeurs suggère que la branche principale du système Vuache et le chevauchement du Crêt de Chalam constituent une même entité tectonique. Dans l'hypothèse de correspondance adoptée, la corrélation de structures plicatives présentant des degrés d'évolution différents de part et d'autre de la branche principale de la faille du Vuache nous permet de préciser la dynamique de déformation commune

entre le relais de failles Léaz-Champfromier et le compartiment Haute-Chaîne-Chalam.

Plus au sud, le chevauchement du Reculet (compartiment Haute-Chaîne-Chalam) ne présente pas d'homologue dans le relais de failles Léaz-Champfromier. Le raccourcissement horizontal de 4 km mesuré sur la coupe de la figure 7 A doit néanmoins s'ajouter aux décalages cartographiques sénestres mesurés le long de la branche principale, puisqu'il s'amortit complètement contre elle.

Si l'on suppose que les chevauchements du compartiment Haute-Chaîne-Chalam se sont propagés en séquence (c'est-à-dire depuis le plus interne vers le plus externe, donc du sud-est vers le nord-ouest) on évalue à 6 km minimum le décalage sénestre le long de la branche principale du système Vuache (fig. 5) :

- 4 km : raccourcissement horizontal dû au chevauchement du Reculet ;

- 2 km : décalage cartographique le long de la branche principale, associé au raccourcissement horizontal de 2 km induit par le chevauchement du Crêt de Chalam.

Un décalage vertical de 500 m peut s'évaluer en comparant les cotes altimétriques du contact Urgonien-Hauterivien dans les synclinaux de Menhières et de la Valserine. Ici c'est le compartiment ouest qui est surélevé (relais de failles Léaz-Champfromier), contrairement à ce qui se passe à la montagne du Vuache. On voit donc que le long de la branche principale du système Vuache les décalages verticaux sont variables et peuvent s'inverser.

### Décalages le long de la branche secondaire du système de la faille du Vuache

L'amplitude du décalage cartographique sénestre, de l'ordre de 0,5 à 1 km, se mesure par le décrochement de l'anticlinal de Monnetier (Meyer, 1995), ainsi qu'à la limite ouest de la feuille, où la branche secondaire décale une faille N 15°.

Le rejet vertical le long de la branche secondaire varie fortement de 950 m à 500 m mesurés dans le Dogger (fig. 5) au niveau du Grand Crêt d'Eau (soulèvement

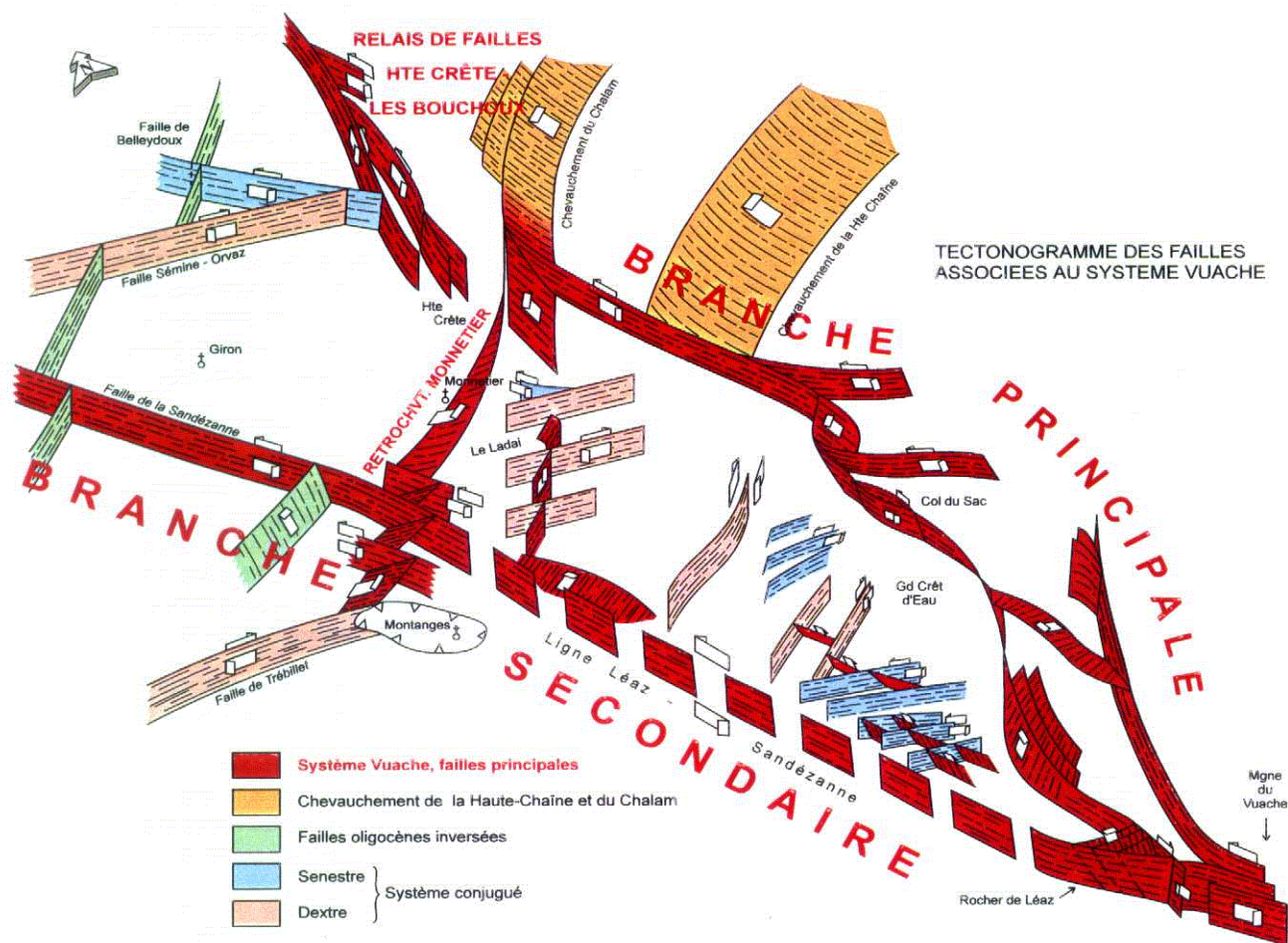


Fig. 6.- Tectonogramme schématique des failles associées au système Vuache dans la feuille Saint-Julien-en-Genevois.

Fig. 6.- Tectonogram of the faults related to the Vuache fault system in the Saint-Julien-en-Genevois geological quadrangle.

du compartiment nord-est : relais de failles Léaz-Champfromier), il diminue vers le nord-ouest (200 m, à l'ouest de l'anticlinal de Monnetier).

### Décalages le long des failles en échelon de la Haute-Crête-Les Bouchoux

Les failles en échelon de la Haute-Crête-Les Bouchoux présentent chacune de rejets d'ordre hectométrique. Le décalage cartographique cumulé, mesuré sur les feuilles 653 Saint-Julien-en-Genevois et 628 Saint-Claude est de l'ordre de 1,5 à 2 km.

### Raccourcissement dans le relais de failles Léaz-Champfromier

Dans le relais de failles Léaz-Champfromier, la direction de raccourcissement fluctue suivant les secteurs d'E-W à NW-SE (fig. 5). On peut estimer le raccourcissement par plissement et rétrochevauchement au niveau du Dogger dans la coupe de la figure 7 B, au nord-ouest de la faille du Vuache, à 5 km environ.

Dans cette estimation, la part du rétrochevauchement de Monnetier est importante : le raccourcissement horizontal induit dans le Dogger par le rétrochevauchement de Monnetier atteindrait

3,5 km environ, avec un rejet vertical d'environ 1 km.

### Cinématique

Comme il a été montré ci-dessus, la déformation dans le relais de failles Léaz-Champfromier et dans le compartiment Haute-Chaine-Chalam semble procéder d'une dynamique commune. Le compartiment Retord-Giron, quant à lui, a évolué de façon relativement indépendante et ne sera pas discuté ici.

Le plissement semble avoir commencé simultanément dans le relais de failles Léaz-Champfromier et le compartiment Haute-Chaine-Chalam.

Dans un second temps, la branche principale du système Vuache se mobilise, permettant aux deux compartiments d'évoluer de façon différente et notamment aux grands chevauchements de se développer dans le compartiment Haute-Chaîne-Chalam. Si l'on admet que la déformation s'est effectuée de l'intérieur vers l'extérieur de la chaîne (du sud-ouest vers le nord-est), la branche principale du système Vuache a pu progresser vers le nord et jouer le rôle de rampe latérale successivement pour le chevauchement du Reculet puis, au blocage de celui-ci, pour celui du Crêt de Chalam. La flèche chevauchante du Reculet s'annule au contact de la branche principale du système Vuache qui se comporte actuellement en faille de déchirement pour ce chevauchement (Donzeau *et al.*, 1993 et fig. 5 et 6).

La branche secondaire du système Vuache a joué plus tardivement. Les structures plicatives et (rétro) chevauchantes du relais de failles Léaz-Champfromier semblent s'être appuyées contre un axe Léaz-Sandézanne d'abord passif et dont la mobilisation postérieure pourrait avoir été induite par le blocage du chevauchement du Crêt de Chalam, c'est-à-dire de la branche principale. Ce stade tardif s'accompagne d'une fracturation conjuguée à raccourcissement E-W dans le relais de failles Léaz-Champfromier et le compartiment Retord-Giron (fig. 5). Le jeu du relais de failles en échelon de la Haute-Crête-Les Bouchoux serait contemporain de celui de la branche secondaire.

## Conclusions

L'interprétation de la branche principale du système Vuache comme la rampe latérale du chevauchement du Crêt de Chalam suggère qu'elle formerait ainsi la limite de la « nappe du Risoux - Haute-Chaîne » postulée par de nombreux auteurs. Cependant Wildi *et al.* (1991) placent cette limite un peu plus à l'ouest, le long d'un hypothétique « chevauchement de Belleydoux ». D'après nos levés cartographiques, cette structure correspond en fait à une faille flexurale, localement inverse mais de faible importance, développée dans le flanc occidental de l'anticlinal d'Orvaz (fig. 5 et fig. 7 A).

Dans l'histoire de l'évolution cinématique de ce secteur du Jura méridional, plusieurs incertitudes demeurent :

- **Quelle est l'organisation de la ligne Léaz - Sandézanne** sous le recouvrement superficiel du plateau de Bellegarde ? S'agit-il d'un accident majeur de trajectoire « simple » (Nussbaumer, 1995) ou au contraire d'un accident composite formé par l'imbrication des structures tectoniques du relais de failles Léaz-Champfromier ?

- **Quelle est la structure profonde de l'anticlinal de la Montagne du Crêt** sous le rétrochevauchement de faible amplitude du plateau du Ladai ? Pourrait-il s'agir en profondeur d'un pli de rampe chevauchant vers le nord-ouest (fig. 7 B), ce qui impliquerait un raccourcissement plus important dans le relais de failles Léaz-Champfromier ?

- **Que représente l'accident de Monnetier** (fig. 7 B) ? Nous l'avons interprété comme un rétrochevauchement simple, responsable, d'une part, du décalage vertical important (1 000 m minimum) entre ses compartiments occidental et oriental et d'autre part, de la culmination axiale de l'anticlinal de Monnetier (fig. 7 B). Meyer (1995), pour des considérations d'équilibrage, nuance cette interprétation en privilégiant un scénario plus complexe impliquant l'inversion tectonique d'une structure distensive antérieure : d'abord, une distension d'âge probablement oligocène dégagerait un horst faillé du socle à l'emplacement du futur anticlinal de Monnetier. Puis, lors de la compression, une inversion réactiverait le flanc ouest de ce horst en un rétrochevauchement important responsable du décalage vertical actuellement observé. Le flanc oriental serait ensuite réactivé en chevauchement de plus faible amplitude, masquant le rétrochevauchement principal. Ce serait la trace de ce deuxième accident que jalonne de nos jours l'accident de Monnetier. Dans cette interprétation, il serait chevauchant (vers l'ouest) et non rétrochevauchant (vers l'est). Dans les deux cas cependant, la déformation principale est liée à un rétrochevauchement. L'hypothèse de Meyer a le mérite d'offrir une explication pour la position de l'accident de Monnetier, bien que son orientation nord-est ne soit pas celle de la direction réputée oligocène (N 15°) dans la zone étudiée.

## Interprétation du système Vuache

La disposition géométrique des éléments structuraux décrits ci-dessus suggère que tout se passe comme si, au nord de la Montagne du Vuache, il y avait eu blocage du jeu coulissant sénestre le long de la faille du Vuache. Ce blocage entraîne au nord le passage à un régime compressif, matérialisé par le relais transpressif sénestre Léaz-Champfromier, siège d'une compression induite par le mouvement coulissant.

La déformation par failles et rampes du relais transpressif s'interrompt dans la couverture au nord d'une ligne reliant le chevauchement du Crêt de Chalam et le rétrochevauchement de Monnetier (fig. 5 et 6). Elle se transmet plus au nord dans le relais des failles verticales en échelon sénestre de La Haute-Crête-Les Bouchoux, avec des décalages moins importants, puis dans la faille rectiligne sénestre de Molinges (fig. 2).

Quelles sont les raisons de blocage du coulissement sénestre le long de l'accident du Vuache ? Nous suggérons que celui-ci présente dans le socle un motif en « tirité » consistant en un alignement discontinu de tronçons de failles verticales (disposées peut-être en échelon sénestre). La région médiane de chaque tronçon pourrait coulisser librement, tant dans le socle que dans la couverture, induisant des trajectoires rectilignes dans cette dernière. Aux extrémités, le mouvement se bloque au niveau du socle. La déformation est alors transférée plus haut, essentiellement dans la couverture qui doit s'ajuster. Des failles divergentes, verticales ou peu pentées (rétrochevauchements, chevauchements, rampes latérales et failles de déchirement) produisant des plis, traduisent ce phénomène dans la couverture. Notons qu'un mouvement décrochant le long d'une faille verticale de dimensions finies doit produire un décalage vertical par flexion des blocs de part et d'autre de l'accident. Ce phénomène peut expliquer le décalage observé dans la montagne du Vuache.

Dans ce contexte, l'apparition, dans la couverture, de relais de failles complexes ponctuant le trajet du système Vuache, entre des portions de failles linéaires bien exprimées, traduit des effets d'extrémité des tronçons de failles

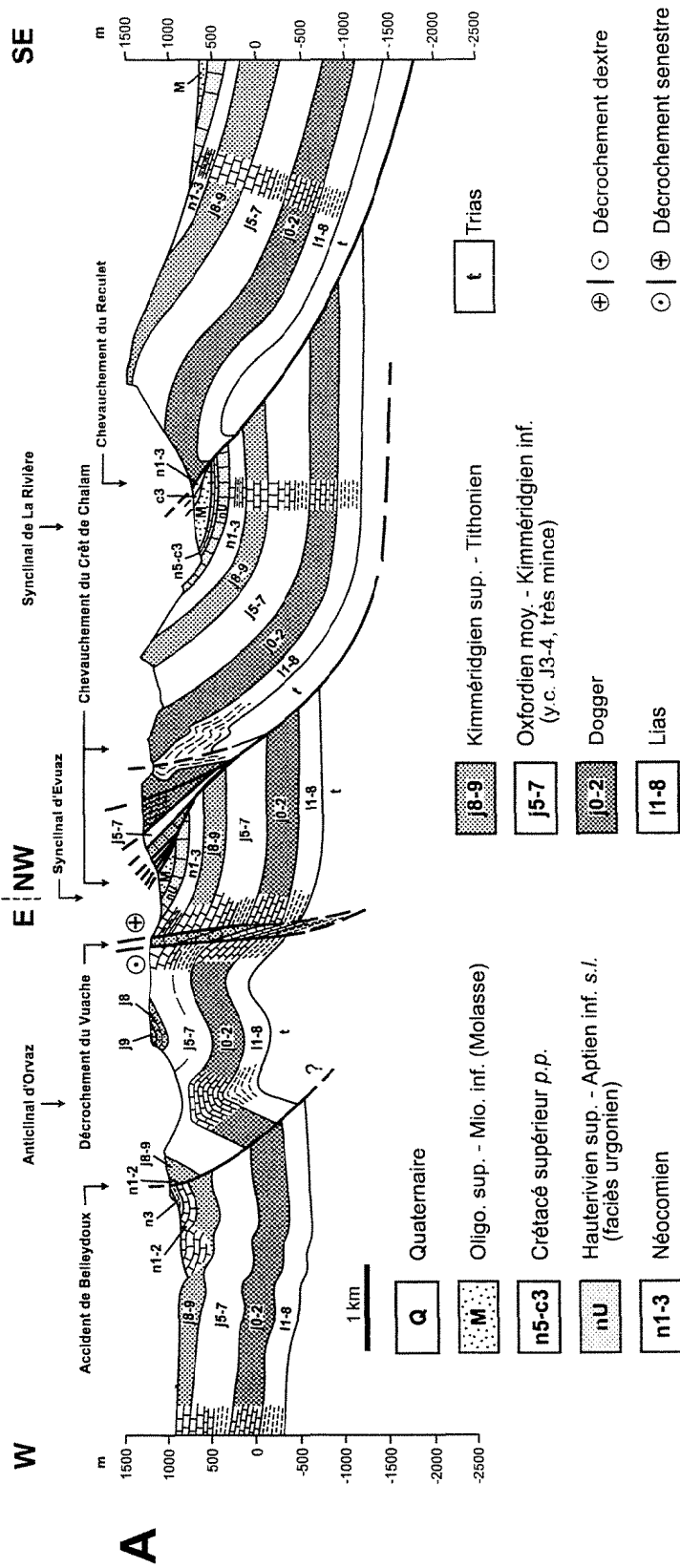


Fig. 7 A. - Profils tectoniques (position sur figures 4 et 5).  
 Fig. 7 A. - Tectonic cross-sections (located in Figs. 4 and 5).

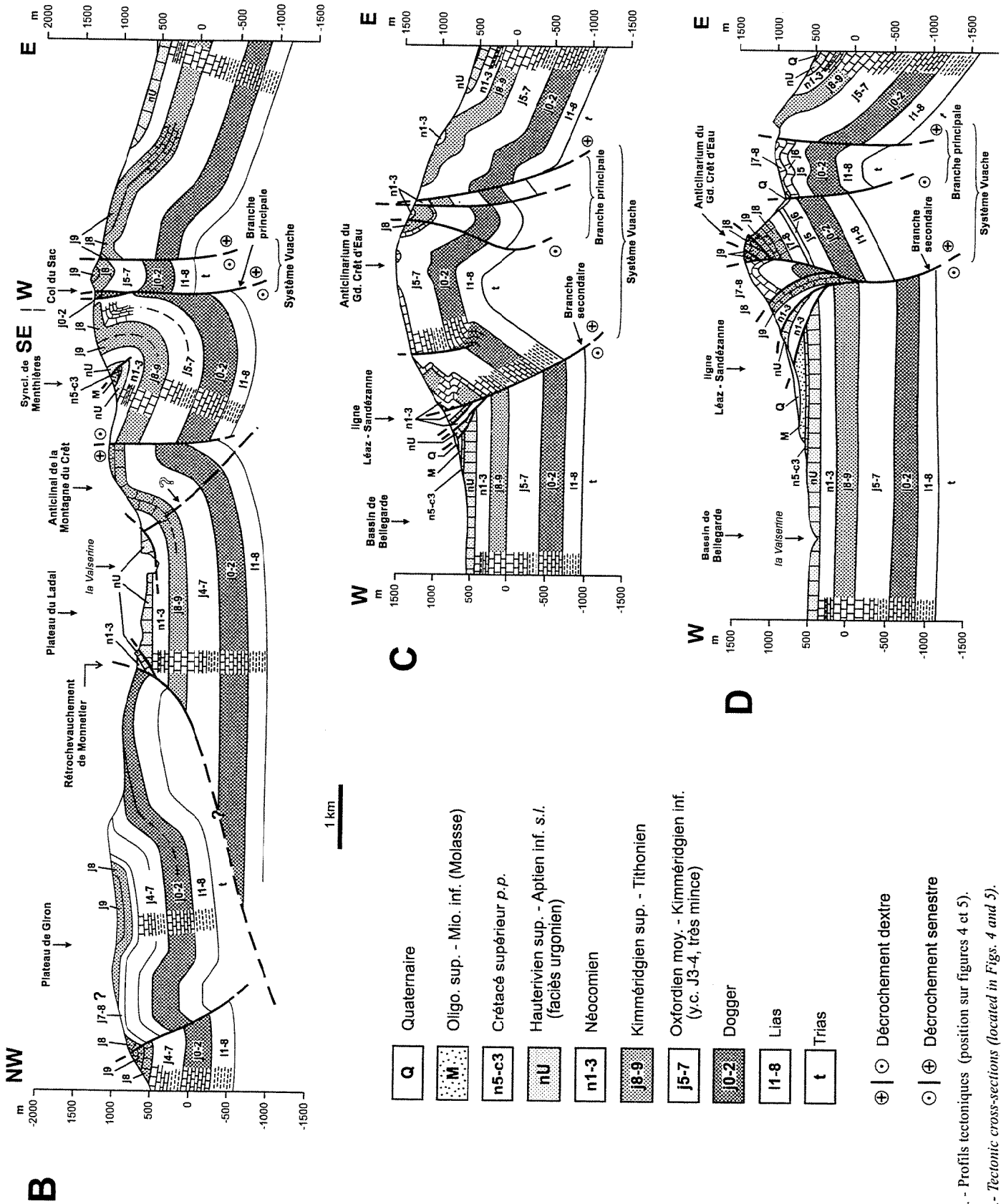


Fig. 7 B-D. - Profils tectoniques (position sur figures 4 et 5).  
 Fig. 7 B-D.- Tectonic cross-sections (located in Figs. 4 and 5).

de socle, avec prise en charge de la déformation essentiellement par la couverture.

L'accident du Vuache, sismiquement actif sur certaines portions de son trajet (région d'Annecy), devient inactif au nord du Rhône (Blondel *et al.*, 1988). On peut envisager qu'au niveau des relais de failles, la fracturation s'élève dans la couverture, ce qui atténue le risque sismique. Les portions sismiquement actives seraient elles situées à proximité des zones faillées du socle ?

En outre, il est important de souligner le caractère remarquable du système de la faille du Vuache dans son

ensemble. Contrairement aux autres failles pourtant réputées de la même famille (décrochements sénestres de la Caille, de Cruseilles et du Coin, fig. 2) qui n'affectent que le chaînon du Salève et le bassin molassique, le système Vuache se prolonge loin dans le Jura méridional. Il faut donc expliquer l'évolution de ces structures parallèles dont l'empreinte ne se retrouve pas sur la Haute-Chaine du Jura. Nous suggérons, à titre d'hypothèse, qu'elles traduisent elles-aussi des tronçons verticaux d'accidents de socle, de moindre importance que l'accident du Vuache et dont il reste à identifier les effets tectoniques d'extrémité dans la couverture.

## Remerciements

Les auteurs remercient MM. J. Metzger, géologue-graphiste (Université de Genève), pour l'élaboration des dessins, M. Meyer et C. Nussbaumer (Université de Genève) pour la fourniture de documents inédits, J.L. Mugnier (C.N.R.S., Université Joseph Fourier de Grenoble) pour la relecture critique de la présente note, T. Baudin (BRGM), ainsi qu'un relecteur anonyme dont les suggestions stimulantes ont permis d'améliorer le manuscrit. Le Fonds National suisse de la Recherche Scientifique a fourni un soutien financier par les projets n° 20.43118.95, 20.37089.93 et 20000.046719.96.

## Références

- Aeschlimann A. (1996) - Géologie du Grand-Colombier septentrional (Ain, France). Dipl. ing.-géol. Dpt. Géol. Paléontol. Univ. Genève (inédit).
- Amato E. (1983) - Etude de la sismicité historique de la faille du Vuache (Haute-Savoie, France). Dipl. Sci. Terre Dpt. Géol. Paléontol. Univ. Genève (1ère partie) (inédit).
- Amato E. (1985) - Etude de la sismicité historique de la partie méridionale du mont Vuache (Haute-Savoie, France). Dipl. Sci. Terre Dpt. Géol. Paléontol. Univ. Genève (2ème partie) (inédit).
- Amato E. (1988) - La faille du Vuache (Jura méridional) : un accident géologique pas si tranquille. *Le Globe*, Genève, **128**, 39-61.
- Arikan Y. (1964) - Etude géologique de la chaîne du Grand Crêdo-Vuache (Ain - Haute-Savoie, France). *Eclogae Geol. Helv.*, Bâle, **57**, n°1, 1-74.
- Bergerat F. (1985) - Déformations cassantes et champs de contraintes tertiaires dans la plate-forme européenne. Thèse de doctorat d'Etat, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris VII, 330 p.
- Bernier P. (1984) - Les formations carbonatées du Kimméridgien et du Tithonien dans le Jura méridional. Stratigraphie, micropaléontologie, sédimentologie. *Doc. Lab. Géol. Lyon*, n° 92, 1-442.
- Bienfait P. (1981) - Géologie appliquée aux tunnels routiers de la cluse de Nantua (Jura méridional) : étude stratigraphique, structurale et géotechnique. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle. Univ. Claude Bernard - Lyon I, 127 p (inédit).
- Blondel T. (1984) - Etude géologique et tectonique de la partie septentrionale de la Montagne du Vuache (Haute-Savoie, France). Dipl. Ing.-géol., Dpt. Géol. Paléontol. Univ. Genève (2 parties), 310 p. (inédit).
- Blondel T. (1988) - La montagne du Vuache (Jura méridional) : un exemple de structure géologique d'apparence simple mais de formation complexe. *Le Globe*, **128**, 16-38.
- Blondel T., Charollais J., Sambeth U., Pavoni N. (1988) - La faille du Vuache (Jura méridional) : un exemple de faille à caractère polyphasé. *Bull. Soc. vaud. Sci. nat.*, **79**, n° 2., 65-91.
- Charollais J., Clavel B., Amato E., Escher A., Busnardo R., Steinhauser N., Macsotay O., Donze P. (1983) - Etude préliminaire de la faille du Vuache (Jura méridional). *Bull. Soc. vaud. Sci. nat., Lausanne*, **76**, n° 3, 217-256.
- Charollais J., Clavel J., Busnardo R., Maurice B. (1989) - L'Hauterivien du Jura du bassin genevois. *Mém. Soc. neuch. Sci. nat.*, **11**, 49-72.
- Chauve P., Enay R., Fluck P., Sittler C. (1980) - Vosges-Fossé Rhéno-Bresse-Jura. *Ann. Sci. Univ. Besançon - Géologie*, (4), **1**, 114 p.
- Clavel B., Charollais J., Busnardo R., Le Hegarat G. (1986) - Précisions stratigraphiques sur le Crétacé inférieur basal du Jura méridional. *Eclogae Geol. Helv.*, Bâle, **72**, n° 2, 319-341.
- Copson R. (1984) - Etude géologique du massif du Roc-à-l'Aigle près Chézery (Valserine, Ain, France). Dipl. Sci. Terre Dpt. Géol. Paléontol. Univ. Genève (inédit).
- Donze P., Enay R. (1972) - Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Seyssel n° 677. Orléans : Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Notice explicative par Donze P., Enay R. (1972), 16 p.
- Donzeau M., Wernli R., Charollais J., Monjuvent G. (1997) - Notice explicative de la carte géologique de la France (1/50 000), feuille Saint-Julien-en-Genevois (653). Orléans : BRGM. Carte géologique par M. Donzeau, R. Wernli, J. Charollais, G. Monjuvent (1997).
- Donzeau M., Gamond J.F., Mugnier J.L. (1993) - Evolution latérale et amortissement d'une structure chevauchante, un exemple du Nord Vercors. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **317**, (2), 1675-1682.
- Enay R. (1966) - L'Oxfordien dans la moitié sud du Jura français. Etude stratigraphique. *Niles Arch. Museum Hist. nat. Lyon*, **8**, 2 tomes, 624 p., 40 pl.



- Glangeaud L. (1944) - Le rôle des failles dans la structure du Jura externe. *Bull. Soc. hist. nat. Doubs*, Besançon, n° 51, 17-38.
- Glangeaud L. (1947) - Le rôle du socle dans la tectonique du Jura. *Ann. Soc. géol. Belgique*, Liège, 73, 57-94.
- Gorin G. E., Signer C., Amberger G. (1993) - Structural configuration of the western Swiss Molasse Basin as defined by reflection seismic data. *Eclogae Geol. Helv., Bâle*, 86, n° 3, 693-716.
- Graezer P. (1995) - Géologie de la Montagne des Moines (Ain, France). Dipl. Sci. Terre Dpt. Géol. Paléont. Univ. Genève, 118 p. (inédit).
- Guellec S., Mugnier J.L., Tardy M., Roure F. (1990) - Neogene evolution of the western alpine foreland in the light of Ecors-data and balanced cross-section. In: Roure F., Heitzmann P., Polino R., Eds., Deep structure of the Alps. - *Mém. Soc. géol. Fr.*, Paris, 156 ; *Mém. Soc. géol. suisse*, Zürich, 1, Vol. spec. *Soc. Geol. It.*, Roma, 1, 165-184.
- Guillaume A., Guillaume S., Llac F., Meurisse M. (1971) - Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Saint-Claude n°628. Orléans : Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Notice explicative par Guillaume A., Guillaume S., Llac F., Meurisse M. (1971), 15 p.
- Guyonnet D. (1987) - Analyse tectonique de la montagne du Grand-Crédo (Ain, France). Dipl. Sci. Terre Dpt. Géol. Paléontol. Univ. Genève (2ème partie), 85 p. (inédit).
- Guyonnet D. (1988) - La structure de la montagne du Grand Crédo (Ain, France). *Archs. Sci. Genève*, 41, n° 3, 393-408.
- Krummenacher R. (1970) - Géologie du bassin de la Valserine. Thèse n° 1159. Univ. Genève, 95 p., 21 pl. (inédit).
- Loubat H. (1963) - Etude géologique de la région de Champfromier (Ain, France). Dipl. Sci. Terre Dpt. Géol. Paléontol. Univ. Genève, 37 p. (inédit).
- Mage R. (1983) - Etude géologique de la région de Montanges (Ain, France). Dipl. Sci. Terre Dpt. Géol. Paléontol. Univ. Genève, 26 p. (inédit).
- Mangold C. (1970) - Stratigraphie des étages bathonien et callovien du Jura méridional. *Doc. Lab. Géol. Fac. Sci. Lyon*, 41, n° 1 et 2.
- Mangold C., Enay R., Bourseau J.P., de Montjamont M. (à paraître) - Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Nantua n°652. Orléans : Bureau de Recherches Géologiques et Minières.
- Masclé A. (1994) - Hydrocarbon and Petroleum Geology of France. *Spec. pub. E.A.P.G.*, n° 4, Springer Verlag.
- Meyer M. (1995) - Géologie du "diapir" de Champfromier et stratigraphie du Lias (Ain, France). Dipl. Sci. Terre Dpt. Géol. Paléontol. Univ. Genève, 103 p. (inédit).
- Nussbaumer C. (1995) - Etude géologique du Grand Crédo septentrional (Ain, France). Cartographie géologique, stratigraphie, tectonique. Dipl. ing.-géol. Dpt. Géol. Paléontol. Univ. Genève, 135 p. 19 pl., 3 annexes (inédit).
- Pavoni N. (1975) - Zur Seismotektonik des Westalpendogens. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Fachblatt*, III/IV, 185-187.
- Rigassi D. (1977) - Encore le Risoux. *Bull. Soc. vaud. Sci. nat., Lausanne*, 73, 379-413.
- Roure F., Brun J.P., Coletta B., Vially R. (1994) - Multiphase extension of structures, fault reactivation and petroleum plays in the Alpine foreland basins of Southeastern France. in: Masclé A. : Hydrocarbon and petroleum geology of France. *Europ. Assoc. Petrol. Geosci., spec. publ.* 4.
- Sambeth U. (1984) - Seismotektonische Untersuchungen im Gebiet des Genfer Beckens. Diplomarbeit, I.G.A.N.-E.T.H. Zürich, 116 p.
- Sambeth U., Pavoni N. (1988) - A seismotectonic investigation in the Geneva Basin, southern Jura Mountains. *Eclogae Geol. Helv., Bâle*, 81, n° 2, 433-440.
- Schardt H. (1891) - Etude géologique sur l'extrémité méridionale de la première chaîne du Jura (Chaîne du Reculet - Vuache). *Bull. Soc. vaud. Sci. nat., Lausanne*, 17, 69-158.
- Scolari G. (1955) - Etude géologique du Mont Vuache (extrémité méridionale) et du Mont-de-Musièges (Haute-Savoie). Dipl. Univ. Genève (inédit).
- Signer C., Gorin G. E. (1995) - New geological observations between the Jura and the Alps in the Geneva area, as derived from reflection seismic data. *Eclogae Geol. Helv., Bâle*, 88, n° 2, 235-265.
- Tripet J.P. (1966) - Etude géologique de la région de Menthrières (Ain, France). *Dipl. Sci. Terre*. Dpt. Géol. Paléontol. Univ. Genève, 116 p., 3 pl. (inédit).
- Vilpert J. (1996) - Etude géologique du vallon des Etrées (Ain, France). *Dipl. Sci. Terre*. Dpt. Géol. Paléontol. Univ. Genève. 118 p., 11 fig., 30 pl., 1 carte (inédit).
- Vincienne H. (1930) - Observations stratigraphiques et tectoniques sur la terminaison méridionale de la chaîne du Credo (Ain). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 190, 805-807.
- Vincienne H. (1932) - Un type de décollement dans le Jura méridional au Nord de Chézery (Ain). Sa signification au point de vue de la genèse tectonique de la chaîne. *Rev. géogr. phys. et géol. dynam.*, Fr., 5, 233-243.
- Wernli R. (1971) - Les foraminifères du Dogger du Jura méridional (France). *Arch. Sci. Genève*, 24/2, 305 - 364.
- Wernli R., Jaquet J.M. (1972) - Le Bathonien et le Callovien du col du Sac (Gd. Crédo, Ain, France). *C.R. Soc. Phys. Hist. nat. Genève*, 1/7, 23-30.
- Wildi W., Blondel T., Charollais J., Jaquet J.M., Wernli R. (1991) - Tectonique en rampe latérale à la terminaison occidentale de la Haute-Chaîne du Jura. Compte-rendu de l'excursion de la Société géologique suisse du 2 oct. 1990. *Eclogae Geol. Helv., Bâle*, 84, n° 1, 265-277.

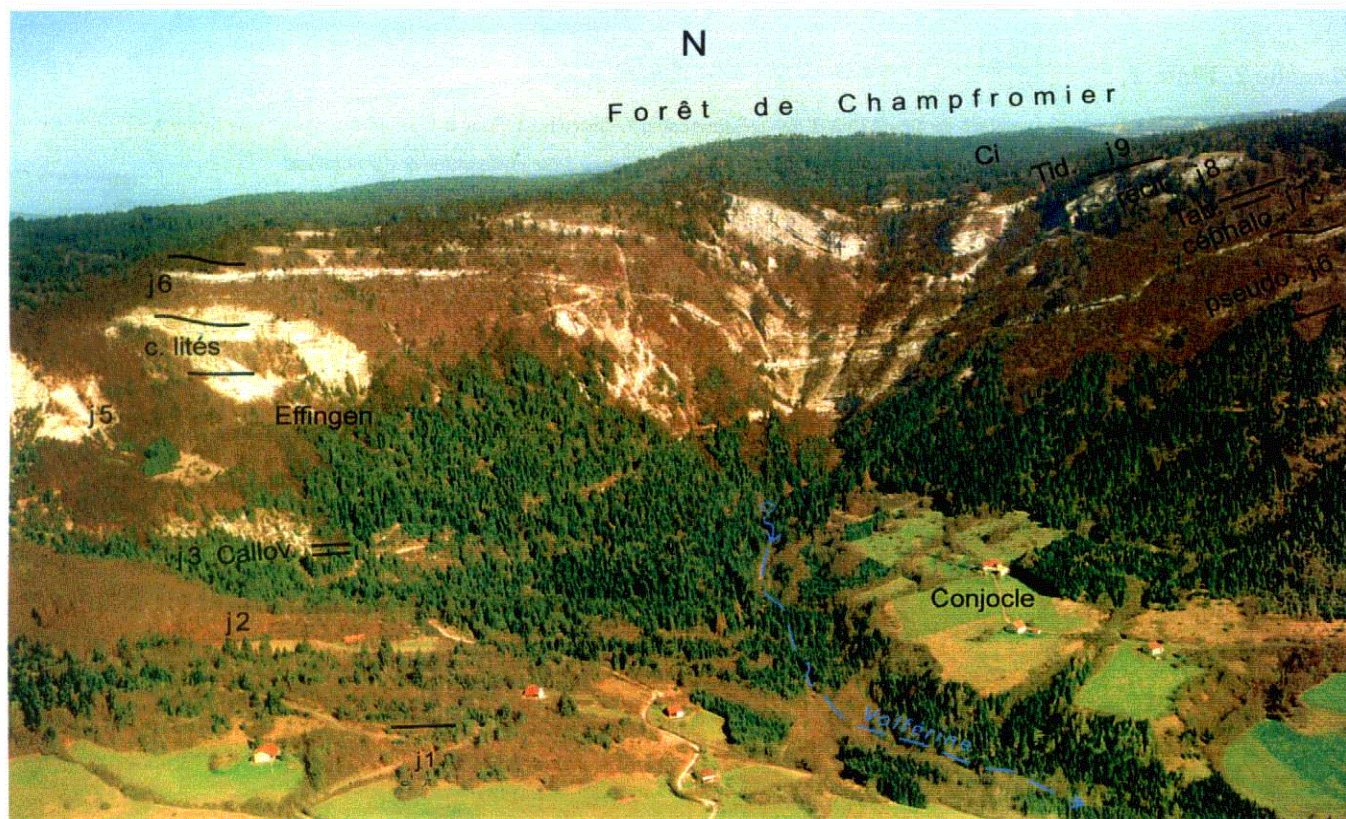
**Planche 1/ Plate 1**

Fig. 1.- Vue aérienne sur la série jurassique et crétacé inférieur du cirque de Champfromier (photographie J. Charollais). Pour la légende des signes, voir figure 3.

*Fig. 1.- Aerial view of the Jurassic and Lower Cretaceous succession in the Champfromier cirque (photo: J. Charollais). See Figure 3 for explanation of the notations.*

Fig. 2.- Vue aérienne sur la série jurassique de la région de Communal et du cirque de Sous les Rochers (photographie J. Charollais). Pour la légende des signes, voir figure 3.

*Fig. 2.- Aerial view of the Jurassic series in the area of Communal and the Sous les Rochers cirque (photo: J. Charollais). See Figure 3 for explanation of the notations.*



Pl. I, fig. 1



Pl. I, fig. 2

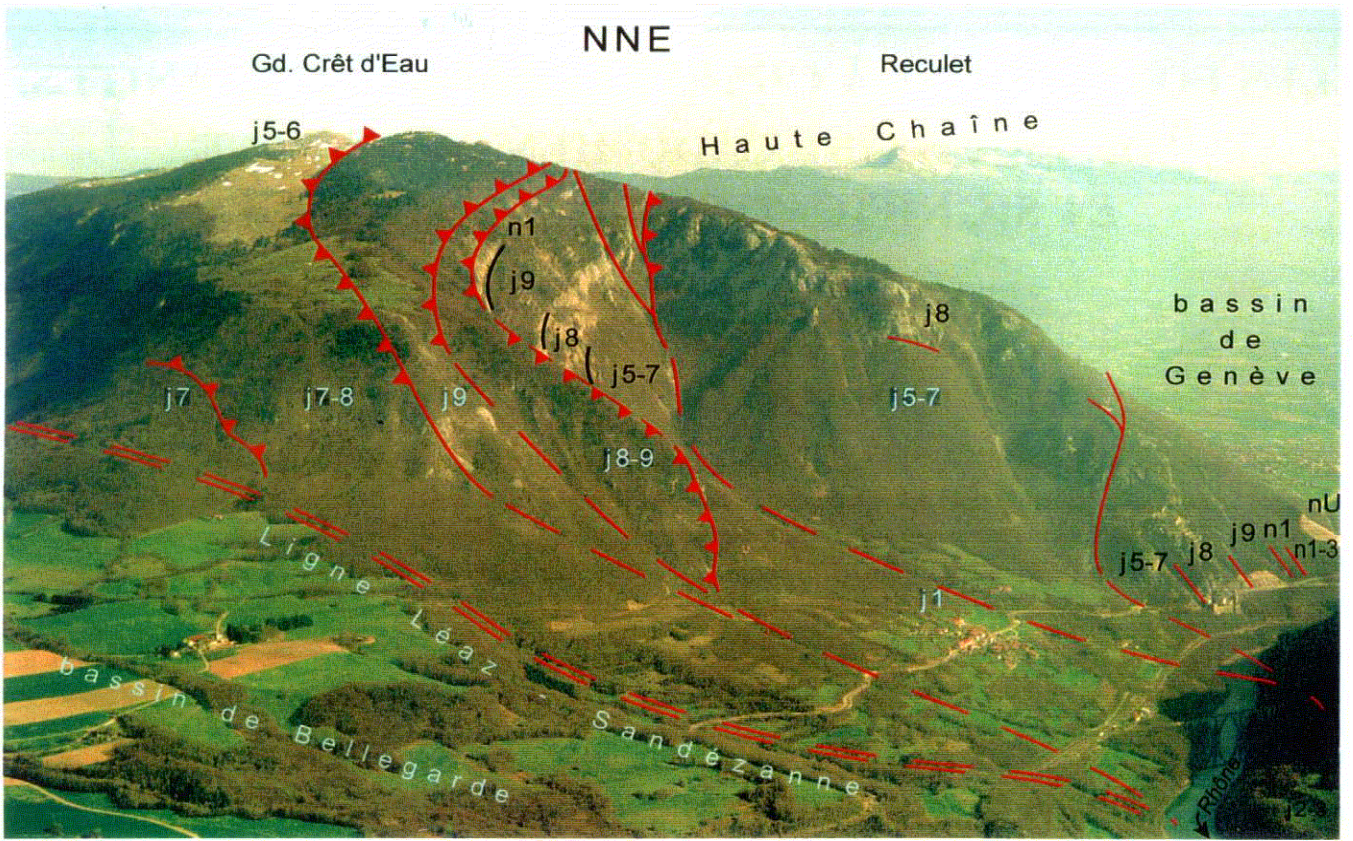
**Planche 2/ Plate 2**

Fig. 1.- Vue aérienne de l'anticlinal complexe du Grand Crêt d'Eau (photographie J. Charollais). Pour la légende des signes, voir figure 3.

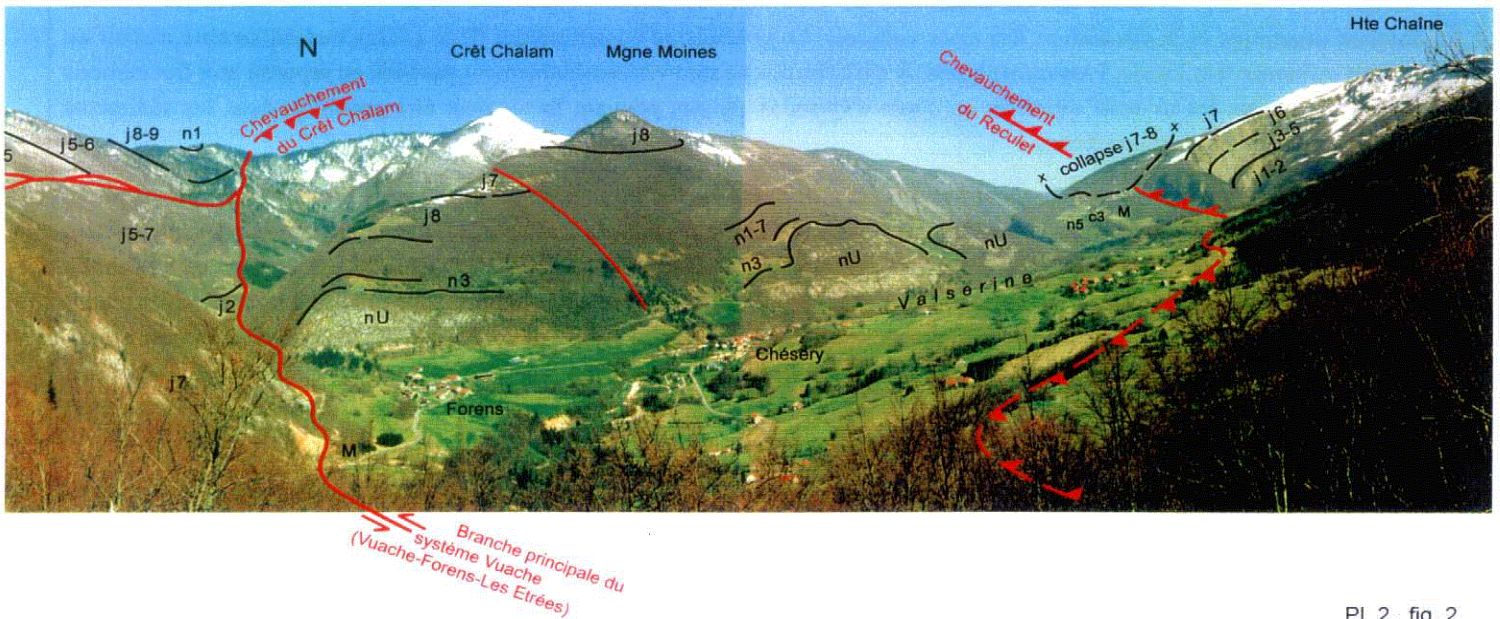
*Fig. 1.- Aerial view of the Grand Crêt d'Eau anticline (photo: J. Charollais). See Figure 3 for explanation of the notations.*

Fig. 2.- Vue du val de Chézery, du Crêt de Chalam, et de la Haute-Chaine (photographie J. Charollais). Pour la légende des signes, voir figure 3.

*Fig. 2.- View of the Val de Chézery, Crêt de Chalam and Haute-Chaine (photo: J. Charollais). See Figure 3 for explanation of the notations.*



Pl. 2, fig. 1



Pl. 2, fig. 2