

Accidents longitudinaux dans la Molasse rouge *auct.* et dans son substratum sur le versant oriental du Salève (Haute-Savoie, France)

Bruno Mastrangelo · Jean Charollais ·
Roland Wernli · Jacques Metzger

Received: 10 October 2012 / Accepted: 24 June 2013 / Published online: 16 November 2013
© Swiss Geological Society 2013

Résumé Dans le cadre d'un récent levé détaillé de la carte géologique du Salève, de nouveaux affleurements de Molasse rouge *auct.* (Marnes et Grès bariolés) ont été découverts sur le versant NW du Petit Salève et sur le flanc SE du Grand Salève, où ils présentent des pendages variés. Ces derniers révèlent la présence de failles et de plis dans le substratum crétacé, dans lequel ont également été observés des « kinks » en plusieurs points. Ces accidents, qui se suivent sur au moins 4 à 5 km de longueur, parallèlement à l'axe du chaînon, révèlent un raccord complexe, jusqu'ici insoupçonné, entre le versant oriental du Salève et le plateau des Bornes adjacent.

Mots-clefs Grès sidérolithiques · Jura · Molasse · Poudingues de Mornex · Salève · Tectonique

Abstract A detailed mapping of the Salève Mountains reveals tectonically important new Molasse rouge *auct.* outcrops on the NW side of the Petit Salève and on the SE flank of the Grand Salève. On the SE flank the various dips indicate faults, kinks and folds that can be followed up to 5 km long and parallel to the axis of the chain and also

affecting the Cretaceous substratum. This demonstrate a more complex connection of the eastern flank of the Salève Mountains with the adjacent plateau des Bornes than was previously supposed.

Keywords Jura · Molasse · Poudingues de Mornex · Salève Mountain · Siderolithicum · Tectonics

1 Introduction

A l'heure actuelle, il n'existe aucune carte géologique moderne détaillée du chaînon du Salève, si ce n'est celle de Joukowsky & Favre publiée à une échelle 1/25'000 et qui date de 1913. Cette carence avait été dénoncée, il y a déjà un quart de siècle, par Amberger et al. (1988: 34), qui souhaitaient que soit dressée au plus vite « une nouvelle feuille géologique du Salève, sur fond topographique à 1/25'000 », car à cette époque seuls, le Petit Salève et une portion du Grand Salève avaient été relevés et publiés à 1/25'000 par Lombard and Paréjas (1965). Plus tard, la géologie du Petit et du Grand Salève ainsi que celle de l'ensemble de ce chaînon jurassien (entre Annemasse et Cruseilles) seront partiellement révisées et éditées sur les feuilles à 1/50'000: Annecy-Bonneville (Charollais et al. 1986), Saint-Julien-en-Genevois (Donzeau et al. 1997a), Annemasse (Kerrien et al. 1998). Mais, les contours des affleurements dessinés reportés sur ces trois feuilles se raccordent souvent assez mal et leurs légendes ne sont pas harmonisées.

Pour remédier à cette carence, un groupe de géologues de l'Université de Genève, soutenu par la Faculté des Sciences de l'Université et le Muséum d'Histoire naturelle de Genève et aidé financièrement par la Communauté de communes du Genevois et du Syndicat mixte du Salève, a

Editorial handling: D. Marty.

B. Mastrangelo
Chemin du Crêt-de-la-Tour 4, 1248 Hermance, Switzerland
e-mail: br.mastrangelo@bluewin.ch

J. Charollais (✉) · R. Wernli
Département de géologie et de paléontologie,
Section des Sciences de la Terre et de l'Environnement,
Rue des Maraîchers 13, 1211 Geneva 4, Switzerland
e-mail: jdcharollais@bluewin.ch

J. Metzger
25, quai Charles-Page, 1205 Geneva, Switzerland

décidé de relever sur le terrain une nouvelle carte géologique moderne à 1/10'000 et de la publier à 1/25'000, à l'occasion du bicentenaire de l'Académie suisse des Sciences naturelles, fondée en 1815 au Mont Gosse, adjacent au Petit Salève. Les initiateurs de ce projet de cartographie ont bénéficié de nombreux travaux de diplôme et de thèses élaborés au Département de géologie et de paléontologie de l'Université de Genève, dont la liste figure en bibliographie de l'article de Amberger et al. (1988). Lors des premières campagnes de terrain, l'un de nous (B. M.) a découvert de nouveaux affleurements de Molasse rouge *auct.* sur les deux versants du Petit Salève et sur le flanc sud-est du Grand Salève (Fig. 1); dans ce secteur, des directions et surtout des pendages variés révèlent une tectonique insoupçonnée jusqu'ici dans cette portion de ce chaînon jurassien. Ces premiers résultats font l'objet de cette note préliminaire.

Après un rappel succinct sur l'état des connaissances de la stratigraphie et de la structure du Petit et du Grand Salève, nous décrivons un nouvel affleurement de Molasse rouge *auct.* sur le versant NW du Petit Salève (côté Genève) et l'importante fracturation de son flanc SE (côté

Alpes) découverte dans la Molasse rouge *auct.* et dans les Calcaires urgoniens sous-jacents. Puis nous présenterons une série de profils établis à partir de notre nouvelle carte d'affleurements, sur laquelle nous avons relevé des failles et/ou des plis qui affectent les couches du versant SE du Grand Salève.

2 Etat des connaissances sur la stratigraphie du Salève

La seule grande « Monographie géologique et paléontologique du Salève » de 228 pages, rédigée par Joukowsky et Favre, date de (1913). Cette œuvre surtout consacrée à la stratigraphie, à la paléontologie et à la tectonique est complétée par leur carte géologique à 1/25'000 dessinée sur un fond topographique en hachures (type Dufour), « d'après des levés photogrammétriques et des croquis pris sur place » par les auteurs. Après cette publication parurent de nombreux travaux ponctuels sur le Salève, tels ceux du Colloque organisé par la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève, le 16 octobre 1987 (Deferne and Wuest 1988), où le lecteur trouvera notamment une bibliographie exhaustive. En revanche, aucune nouvelle monographie moderne n'a complété celle de Joukowsky et Favre (1913).

2.1 Les Formation du Mésozoïque

Les formations mésozoïques qui affleurent au Petit et au Grand Salève (Donzeau et al. 1997b; Charollais et al. 1998: 36–46) débutent au Kimméridgien supérieur avec les Calcaires de Tabalcon (Deville 1990) et se terminent avec les Calcaires urgoniens (Hauterivien supérieur – Aptien inférieur). Sur les deux versants du Petit et du Grand Salève (Fig. 2), cette dernière formation constitue le substratum plus ou moins érodé, karstifié et raviné, sur lequel reposent les formations du Paléogène.

2.2 Les Formation du Paléogène

Après avoir relevé sept coupes dans les formations du Paléogène du versant SE du Petit et du Grand Salève entre Bas-Mornex et Naz, Martini (1962) présente une analyse critique sur les travaux de ses prédécesseurs (voir sa bibliographie) et résume ses observations sur un schéma orienté SSW-NNE, parallèlement à l'axe du chaînon du Salève (Fig. 3), inédit, et qu'il nous a autorisés de publier. Pour cet auteur (1962), les formations du Paléogène reposent sur un substratum karstifié et faillé, constitué par les Calcaires urgoniens, lapiazés et fracturés. Elles se composent de quatre unités lithologiques (Martini 1962: 619), de haut en bas (Fig. 3):

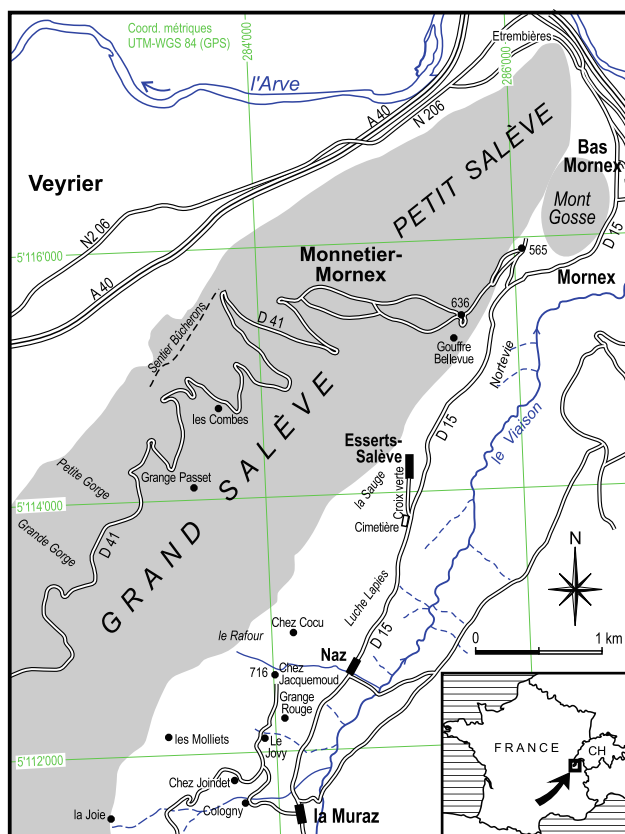


Fig. 1 Plan de situation avec quadrillage UTM WGS 84 (GPS) de la feuille topographique 3430 OT de l'Institut géographique national (IGN) à 1/25'000 (Mont Salève)

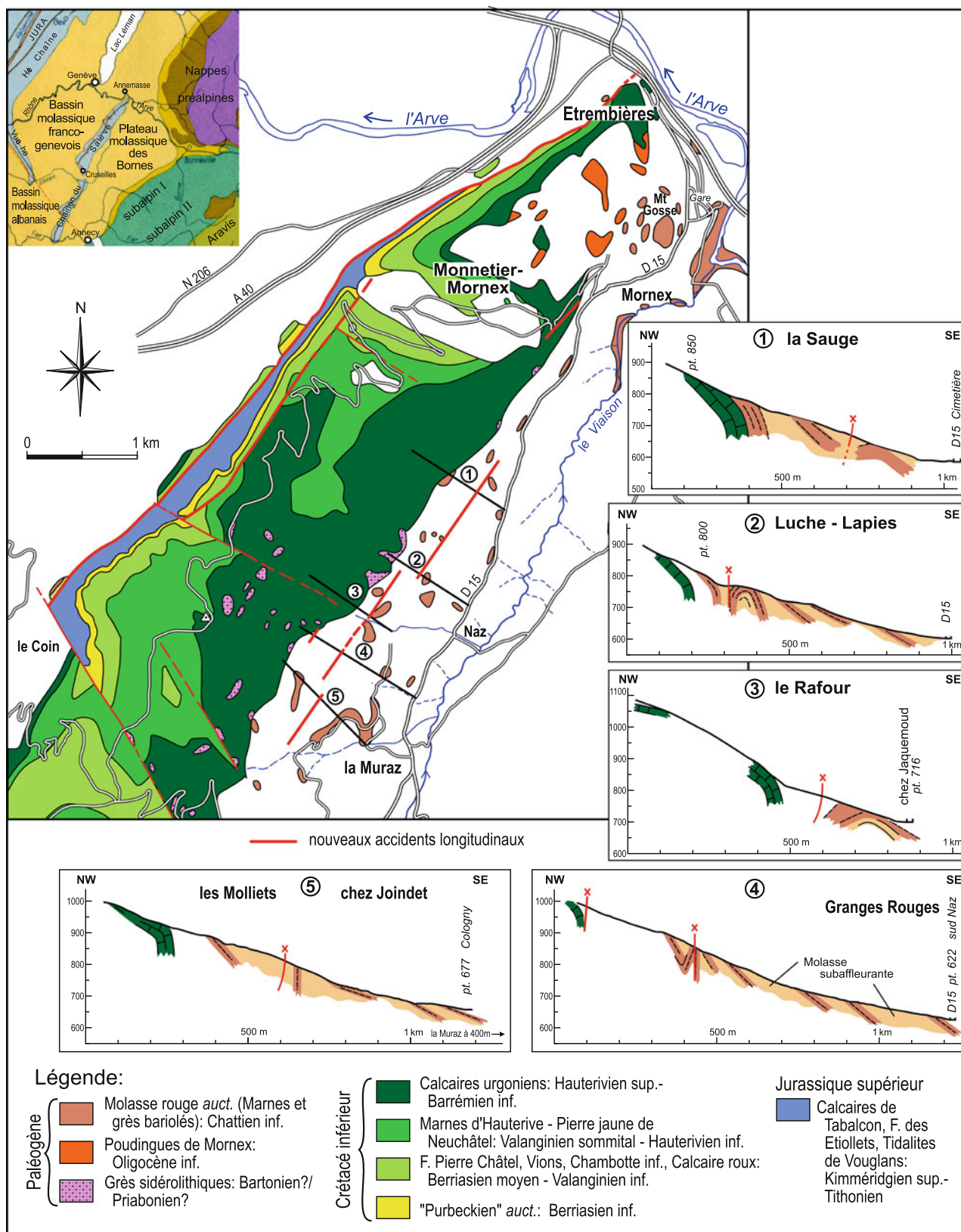


Fig. 2 Carte géologique simplifiée du Petit et du Grand Salève d'après la feuille géologique à 1/50'000, « Annemasse » (Kerrien et al. 1998), la feuille 1301 « Genève » (Lombard and Paréjas 1965) et la carte

géologique à 1/25'000 de Joukowsky and Favre (1913). En encart, carte tectonique de la région franco-genevoise (modifiée), extraite de la notice explicative de la Feuille 5, « Genève – Lausanne », Collet (1955)

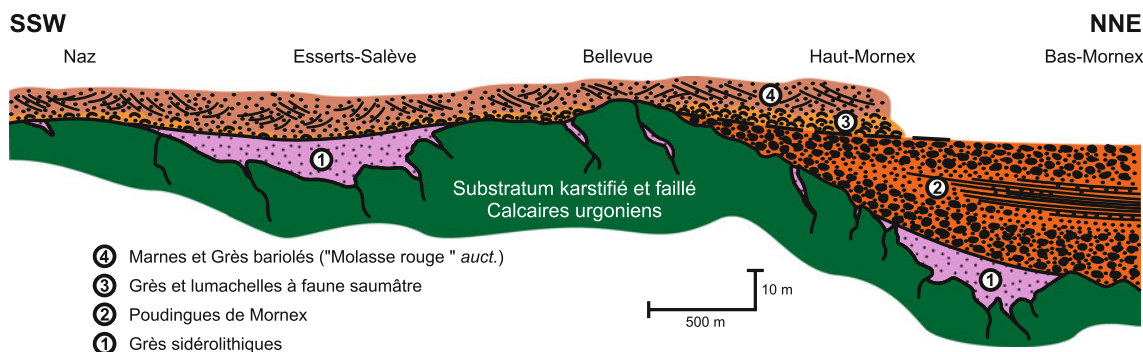


Fig. 3 Répartition stratigraphique des formations paléogènes du versant SE du Salève entre Bas-Mornex et Naz: document inédit de Jacques Martini (1962), qui nous a autorisés à le publier dans le cadre de cette note

- Molasse rouge *auct.* (=Marnes et Grès bariolés),
- « Grès et lumachelles » à faune saumâtre,
- Poudingues de Mornex,
- Grès sidérolithiques.

Dans l'esprit de la présente note à caractère essentiellement tectonique, il sera surtout question des relations géométriques de ces quatre unités entre elles ainsi qu'avec leur substratum mésozoïque. De très faibles biseaux stratigraphiques affectent les trois unités lithologiques inférieures en raison de leur caractère lenticulaire, comme le montre la Fig. 3. Bon nombre d'auteurs les ont déjà signalés et en ont déduit une légère amorce de relief à l'emplacement du futur Salève avant le dépôt des formations du Paléogène.

2.2.1 Les Grès sidérolithiques

Les Grès sidérolithiques apparaissent dans des poches ou des fissures; ils correspondent au remplissage d'anciennes dolines, de gouffres et de zones fracturées (faille de la Petite Gorge, par exemple) formés entre la fin du Crétacé et le début du Paléogène. Parfois, ils s'interstratifient entre deux couches mésozoïques, comme l'ont mentionné Joukowsky et Favre (1913: 347) au sentier des Bûcherons, où « dans une couche marneuse du Purbeckien, on voit une grosse lentille de grès sidérolithique, allongée parallèlement aux couches ».

Les Grès sidérolithiques reposent donc sur une ancienne surface d'érosion karstifiée. D'après Conrad and Ducloz (1977: 136), ces grès « sont massifs et ce n'est que très exceptionnellement que l'on peut distinguer en leur sein de vagues stratifications horizontales ou obliques ». Dans ces conditions, il nous paraît difficile de détecter une discordance angulaire entre ces Grès sidérolithiques et leur substratum. Sur le versant SE du Grand Salève, dans la région de Cruseilles, Conrad and Ducloz (1977: 138) mentionnent une concordance entre les Grès sidérolithiques et les Calcaires urgoniens sous-jacents, bien

que sur leur Fig. 5 (p. 135) ils dessinent une légère discordance. Pour ces auteurs, « la planation karstique qui a précédé le dépôt des grès a dû s'effectuer, dans la région du Salève, sur une dalle urgonienne qui était légèrement ployée en anticlinal ». Après une révision des affleurements cités par Joukowsky and Favre (1913), qui décrivaient, en plusieurs points du Salève, un contact entre les Grès sidérolithiques et la Pierre jaune de Neuchâtel (Hauterivien supérieur), Conrad and Ducloz (1977: 139) concluent que, contrairement à ce qu'avaient écrit leurs prédécesseurs, « la surface sur laquelle reposent les Grès sidérolithiques n'a pas atteint l'Hauterivien et qu'elle n'a entaillé que la carapace urgonienne » ; nous ne souscrivons pas à ce point de vue, en accord avec l'observation de Joukowsky et Favre (1913: 347) citée plus haut.

A ce propos, lors d'une étude faite au Vuache, autre chaînon jurassien voisin analogue à celui du Salève, Blondel (1984, *in* Donzeau et al. 1997b: 57; Blondel et al. 1988) rapporte une remarque orale de Patrick Bienfait, géologue-consultant, qui avait observé, lors du percement d'une galerie de l'autoroute A40 traversant le Vuache, une poche karstique remplie de Grès sidérolithiques, dont la stratification présentait une discordance de l'ordre de 20° avec les couches mésozoïques encaissantes. Pour Blondel (1984), cette observation confirmerait la structuration précoce du Vuache, et par analogie celle du Salève. Mais cette amplitude de l'angle de discordance est-elle originelle ? Ne faudrait-il pas plutôt l'interpréter comme résultant du fluage d'argiles résiduelles et de grès au sein d'une cavité karstique, postérieure à leur dépôt ? Paréjas and Lombard (1959, figs. 1–3) ont remarqué ce phénomène au Petit Salève dans des poches karstiques au sein des Calcaires urgoniens; leurs dessins sont tout à fait démonstratifs.

Les résultats des travaux de Conrad and Ducloz (1977) plaideraient donc en faveur d'une faible « structuration » du Salève au Bartonien - Priabonien, époque souvent avancée pour le dépôt des Grès sidérolithiques (Weidmann 1984, *in* Charollais et al. 1998: 46), bien que Martini (1962: 624) estime « aléatoire d'attribuer un âge précis à

ces dépôts qui devaient être en perpétuel remaniement ». Pour Martini (1962: 624), « une partie en tout cas de ces sables était antérieure à la karstification. En effet, il semble

bien que bon nombre de poches sableuses dans l'Urgonien se soient remplies au fur et à mesure de leur formation ».

Dans la région franco-genevoise, c'est au Salève que les Grès sidérolithiques apparaissent le plus développés. A notre connaissance, sur la transversale de Genève, la répartition spatiale de cette formation est limitée au NW par la crête de la Haute Chaîne, et au SE, à la frontière des domaines « subalpin I » et « subalpin II », tels que définis par Clavel et al. (1987) dans le massif des Bornes (Fig. 2, encart).



Fig. 4 Chenal dans les Marnes et Grès bariolés (Molasse rouge auct.), près des fermes de Coligny, à l'WNW de la Muraz

2.2.2 Les Poudingues de Mornex

Définis au Petit Salève, ils correspondent à une formation conglomératique polygénique lenticulaire, dont l'épaisseur varie entre 0 et 25 m, selon Rigassi (1957: 27), mais pourraient peut-être atteindre une trentaine de mètres en d'autres points du chaînon du Salève. Leur environnement de dépôt varie suivant les auteurs (Paréjas 1938; Rigassi

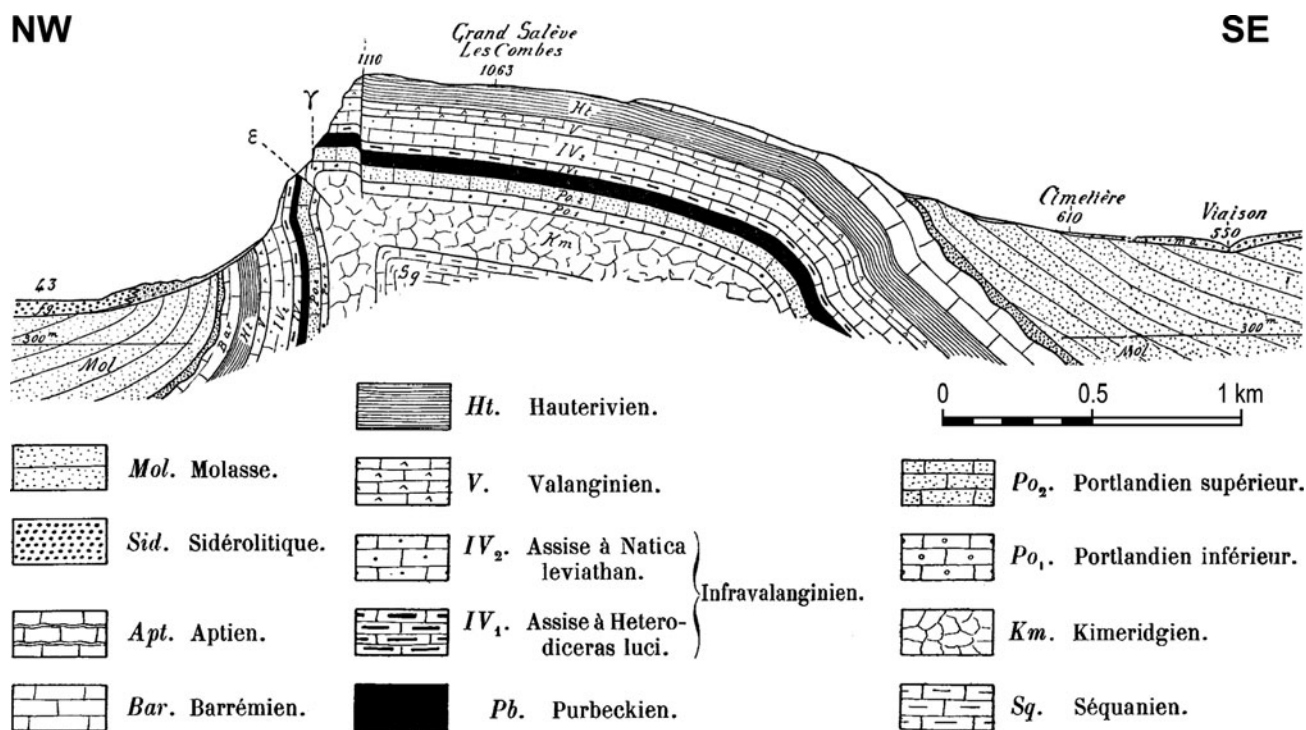


Fig. 5 Profil géologique n° 4 de Joukowsky and Favre (1913, pl. XII), à travers le Grand Salève, à la latitude des Combes et du cimetière le Devant. *Versant NW (côté Genève)*. Paréjas (1938), suivi par de nombreux auteurs (Rigassi 1957, pl. V; Schroeder 1958; Ruchat 1959 in Amberger et al. 1988; Lombard 1965; Gorin et al. 1993; Signer and Gorin 1995, etc.), considère que la faille « ε » de Joukowsky and Favre (1913) correspond non pas à une faille « superficielle », comme indiqué ci-dessus, mais à un important plan de chevauchement qui se prolonge en profondeur: celui-ci met en contact les couches paléogènes et mésozoïques du flanc normal du Grand

Salève avec les couches renversées de son flanc inverse. *Versant SE (côté Alpes)*. Jusqu'aux travaux de Gorin et al. (1993) et de Signer and Gorin (1995) basés sur l'interprétation de lignes sismiques, il était admis qu'une légère inflexion affectaient les couches du versant SE du Salève en direction du plateau des Bornes. En complément de leurs résultats, nos recherches sur le terrain nous ont permis de découvrir des plongements verticaux et inverses dans les Marnes et Grès bariolés (Molasse rouge auct.), des faisceaux discontinus de failles longitudinales, et des « kinks » dans les Calcaires urgoniens sous-jacents

1957; Martini 1962): continental ou partiellement marin (Charollais and Badoux 1990: 18, fig. 8). Sur le versant SE du Salève, où ils n'existent pas partout, ils reposent soit directement sur les Calcaires urgoniens, soit sur d'autres formations paléogènes (Fig. 3). Comme le montrent les deux coupes du « Tertiaire de Haut Mornex » de Paréjas (1938: 26, figs 6, 7), aucune discordance stratigraphique angulaire n'est décelable entre les Poudingues de Mornex et leur substratum mésozoïque.

En fait, la reconstitution des dépôts paléogènes (Fig. 3) établie à partir de sept coupes relevées entre Bas Mornex et Naz (Martini 1962: 621, figs. 1, 2), semble bien démontrer que les Poudingues de Mornex correspondent à des alluvions déposés dans des dépressions lacustres, ce qu'atteste la présence de charophytes et de *Microcodium*.

2.2.3 « Les Grès et lumachelles »

Ces faciès à faune saumâtre et/ou à affinité marine (*Callianassa* sp., *Cerithium* sp., *Natica* sp.), sont considérés par Martini (1962) comme « transgressifs », soit sur le substratum mésozoïque, soit sur les Grès sidérolithiques, soit sur les Poudingues de Mornex. La qualité des affleurements ne permet pas de déceler d'éventuelles discordances angulaires entre les « Grès et lumachelles » et leur substratum.

2.2.4 La Molasse rouge auct.

Dénommée actuellement « Marnes et Grès bariolés » (Angelillo 1987; Charollais et al. 2007), la Molasse rouge auct. affleure de part et d'autre du chaînon du Salève, soit directement sur les Calcaires urgoniens, soit sur d'autres formations du Paléogène. Il s'agit de grès feldspathiques, micacés, à débris charbonneux et à ciment calcaire, généralement assez fins, présentant souvent des structures obliques avec parfois des chenaux (Fig. 4) d'ordre décimétrique.

Joukowsky and Favre (1913: 349) signalent « une légère discordance qu'on observe parfois entre la Molasse et le Barrémien, en particulier au Chêne près de Vovray-en-Bornes », ce qui est assez logique, puisque le versant SE du Salève correspond à un bord de bassin d'avant-pays en voie de comblement (plateau molassique des Bornes). Cependant, la discordance mentionnée par Joukowsky and Favre (1913) reste, d'après nos propres recherches, très difficilement mesurable sur le terrain, d'autant plus que ces auteurs d'ajouter dans leur texte: « souvent on n'aperçoit pas de discordance sensible ».

Bien qu'aucun gisement fossilifère n'ait été découvert à la base des Marnes et Grès bariolés du versant NW du Salève, elle devrait se situer au milieu du Chattien, plus précisément au niveau Fornant 6 (=partie supérieure de

MP 28; biozonation à mammifères) d'après Charollais et al. (2007: 152). Quant à la base des Marnes et Grès bariolés du flanc SE du Salève, non datée par fossiles, il est logique de la rapporter également au milieu du Chattien, mais à une période légèrement plus ancienne que Fornant 6, en raison de la migration du remplissage du bassin molassique du SE vers le NW. Rappelons que la base des Marnes et Grès bariolés du plateau des Bornes a été attribuée à la biozone de Montalban (ou base d'Heimersheim) et son sommet à la biozone de Cournon-Boningen, voire la biozone de Rickenbach-La Milloque (Charollais et al. 1981).

Pour Joukowsky and Favre (1913: 349), « il n'est pas douteux que le relief du Salève ait été recouvert d'une épaisseur considérable de Molasse ». La « coupe de la série Tertiaire Genève-Bornes » de Rigassi (1961, in Charollais and Lombard 1966: 70, fig. 6) confirme ce point de vue partagé par Schegg (1992).

En conclusion, vu les très faibles discordances angulaires entre les formations paléogènes et leur substratum mésozoïque, il est raisonnable d'admettre que jusqu'au milieu du Chattien, époque du dépôt des Marnes et Grès bariolés, le domaine du futur Salève correspondait à une zone relativement peu déformée, mais certainement déjà assez fracturée.

3 Etat des connaissances sur la structure du Salève

Comme l'écrivaient Joukowsky and Favre (1913: 535): « Le Salève est un anticlinal (...) déjeté vers le NW, surgissant à peu près au milieu de la grande dépression synclinale molassique séparant les Alpes et le Jura » (Fig. 5). Depuis le début du 19^{ème} siècle déjà, tous les nombreux profils géologiques établis à travers ce chaînon jurassien du Salève, montrent la structure de la Molasse auct. (Marnes et Grès bariolés) se mouler sur celle de son substratum mésozoïque, comme le prouvent, par exemple, les profils de Favre (1867, pl. III, figs 2, 3, 5) et, de façon encore plus explicite, les 23 profils sériés de Joukowsky and Favre (1913, pl. XII). En d'autres termes, cela signifie que les perturbations structurales qui seraient observées en surface dans les Marnes et Grès bariolés correspondent forcément à des complications structurales en profondeur: plis et/ou failles.

Sur le versant NW du Grand Salève (côté Genève), les couches mésozoïques et paléogènes sont subverticales à renversées, tandis que sur son versant SE (côté Alpes), elles sont censées, d'après nos prédécesseurs, plonger régulièrement aux environs de 30 à 40° en direction du plateau des Bornes. Pourtant, sur leur carte géologique à 1/25'000, Joukowsky and Favre (1913) signalent sur le flanc SE du Grand Salève, parmi les nombreux pendages

vers le SE, un seul pendage dirigé vers le NW, contraire à la pente structurale. En effet, ils indiquent près de Chez Cocu, un pendage de 70°, renversé, qui d'ailleurs ne figure pas sur les cartes plus récentes (Ruchat and Michel 1959; Lombard and Paréjas 1965; Kerrien et al. 1998). Pour Joukowsky and Favre (1913), ce pendage traduit une perturbation tectonique en profondeur. A partir de cette observation faite sur un affleurement de Marnes et Grès bariolés, ils dessinent un "kink", qui affecte non seulement la couverture tertiaire, mais également tout le substratum crétacé, voire jurassique (Joukowsky and Favre 1913, profil 5, pl. XII). Sur leur profil, les couches molassiques ont bien un pendage subvertical, à peine renversé, alors que les Calcaires urgoniens sont seulement redressés, sans être renversés, avec un très fort pendage vers le SE.

4 Nouvelles observations au Petit Salève

4.1 Découverte d'un affleurement de Molasse rouge auct. sur le versant NW (côté Genève)

Au pied de la face NW du Petit-Salève (Fig. 2), vers 480 m d'altitude et à environ 200 m au SSW du Château d'Etrembières (coord. UTM WGS 84: 286 050 E/5117 250 N), l'un de nous (B. M.) a découvert un petit affleurement de Marnes et Grès bariolés (Molasse rouge *auct.*), de direction N20°E et de plongement 75°SE (donc renversé). Cet affleurement composé de plusieurs têtes de couches ne figure sur aucune carte géologique. Bien que réduit, il est d'importance, puisqu'il permet de prolonger avec précision la « faille longitudinale principale du Petit et du Grand Salève » jusqu'à la latitude du Château d'Etrembières (Fig. 2). En ce point, les deux cartes géologiques les plus récentes, l'une au 1/25'000ème (Genève: Lombard and Paréjas 1965) et l'autre à 1/50'000 (Annemasse: Kerrien et al. 1998) ne reflètent donc pas correctement la géologie visible sur le terrain. L'affleurement de Marnes et Grès bariolés découvert au Petit Salève occupe une position structurale identique à celle du pied de la Grande Arête (Charollais and Badoux 1990: 33, fig. 18), à l'extrémité SW du Grand Salève, et à celle des affleurements de la D45 reliant le Coin à la Croisette (Charollais and Badoux 1990: 28, fig. 13).

En conclusion, la découverte d'un affleurement de Marnes et Grès bariolés (Molasse rouge *auct.*) près du château d'Etrembières permet de préciser la position de la grande « faille longitudinale principale » du flanc NW du Salève et de la prolonger avec certitude jusqu'à la terminaison périclinale du Petit Salève, là où précisément sourdaient des eaux sulfureuses, mentionnées et analysées en 1778 par de Saussure (1779–1796), puis par Tingry en 1813 (*in* Carozzi 1990: 358–359).

4.2 Présence de failles longitudinales sur le versant SE (côté Alpes)

Entre le point 565, juste au-dessus de la chapelle de Mornex, et le point 636 à l'entrée du vallon de Monnetier, le talus de la D41 est entaillé dans les Calcaires urgoniens karstifiés et fracturés, où de nombreux plans de faille d'orientation N50°E sont bien visibles (Fig. 6). Sur leur carte géologique à 1/25'000, Joukowsky and Favre (1913) n'ont pas indiqué de failles le long de la D41, dont l'aspect devait être bien différent de celui d'aujourd'hui; il est fort probable que les affleurements étaient de moins bonne qualité. Il est plus étonnant de constater qu'en cet endroit aucun accident n'aient été reporté ni sur la feuille « Genève » à 1/25'000 (Lombard and Paréjas 1965), ni sur la feuille « Annemasse » à 1/50'000 (Kerrien et al. 1998). Comme le montrent les Figs. 2 et 6, de nombreux plans de failles affectent les Calcaires urgoniens et se prolongent à la hauteur du gouffre de Bellevue.

Ces plans de faille reflètent certainement le passage de cassures de type « longitudinal », parallèles à la grande « faille principale longitudinale » qui court tout le long du versant NW du Petit et du Grand Salève (côté Genève), entre Etrembières et Cruseilles. D'autre part, il est tentant d'imaginer un accident orienté NE-SW entre la terminaison du Petit Salève et le Mont Gosse, ce qui expliquerait la morphologie particulière de ce secteur, à moins qu'elle ne soit due à l'érosion glaciaire et/ou à un passage temporaire de l'Arve.

5 Etude du versant SE du Grand Salève

Nos observations concernent essentiellement le contact entre la Molasse rouge *auct.* et les Calcaires urgoniens au



Fig. 6 Plans de faille parallèles à l'axe de la structure du Salève, dans les Calcaires urgoniens le long de la D41, entre la sortie nord du village de Mornex et le réservoir à l'entrée du vallon de Monnetier

pied oriental du Grand Salève, entre Esserts-Salève au nord et La Muraz au sud. Le long de cette aire ont été relevés 70 pendages et directions sur une centaine d'affleurements de taille variable, séparés les uns des autres par des zones couvertes, ce qui explique le caractère parfois hypothétique de l'interprétation structurale. Ces mesures ne peuvent pas être reportées sur l'esquisse géologique à trop petite échelle (Fig. 2) pour des raisons de lisibilité. En revanche, elles ont toutes été utilisées pour la construction des profils 1 à 5 de la Fig. 2.

A 1 km au NE d'Esserts-Salève, nous avons découvert un affleurement de Molasse rouge *auct.* au lieu-dit Nortevie, sur rive gauche du Viaison, au SSE de la cote 555 m (coord. UTM WGS 84: 285 950 E/5115 230 N; alt.: 520 m). Sans prétendre qu'il soit absolument en place, la direction de ses couches et son plongement inverse (70° vers le NW) le situerait exactement dans le prolongement des accidents longitudinaux décrits ci-dessous (Fig. 2).

Chacun des cinq profils de la Fig. 2, orientés NW–SE perpendiculairement aux directions générales des couches, est commenté d'amont en aval, du NW au SE.

5.1 Région de la Sauge, près d'Esserts-Salève (Fig. 2, profil 1; 7,8)

Dès le point topographique 850, les Calcaires urgoniens plongent à 50°SE; plus bas, jusqu'à la cote 800 m, ils n'atteignent que 40°SE. A 750 m, les plongements des couches de Molasse rouge *auct.* s'élèvent à 65°SE. Plus aval, entre 715 m et 660 m, ils passent successivement à 25°SE, puis à 20°NW (coord. UTM WGS 84: 284 720 E/5113 770 N; alt.: 690 m), donc à contre-pente, enfin à 70°SE pour finir à 35°SE à la hauteur de la D15. En outre, dans le talus du chemin de la Croix Verte (coord. UTM WGS 84: 285 100 E/5114 130 N; alt.: 600 m), petite route reliant l'église et le cimetière d'Esserts-Salève, ainsi que dans un petit ruisseau au nord dudit cimetière, les pendages de la Molasse rouge *auct.* sont subverticaux. Ces pendages particuliers observés sur ces trois sites s'alignent sur un axe NE.

De plus, ce secteur recèle deux « kinks » dans les Calcaires urgoniens illustrés sur les Figs. 7 et 8.

5.2 Région de Luche Lapies, près Naz (Fig. 2, profil 2)

Vers le point topographique 800, la Molasse rouge *auct.* repose sur les Calcaires urgoniens et plonge à 50°SE. Immédiatement en aval (coord. UTM WGS 84: 284 150 E/5113 200 N; alt.: 775 m), elle est à contre-pente (50°NW) et jouxte un vallon, qui correspondrait à l'axe d'un « anticlinal pincé » ayant un flanc oriental à 70°SE. Ici, passe un accident probablement subvertical de direction N40°. Plus bas, la Molasse rouge *auct.* s'aplatit avec des plongements de 40°SE, puis de 30°SE dans la région de Luche Lapies.

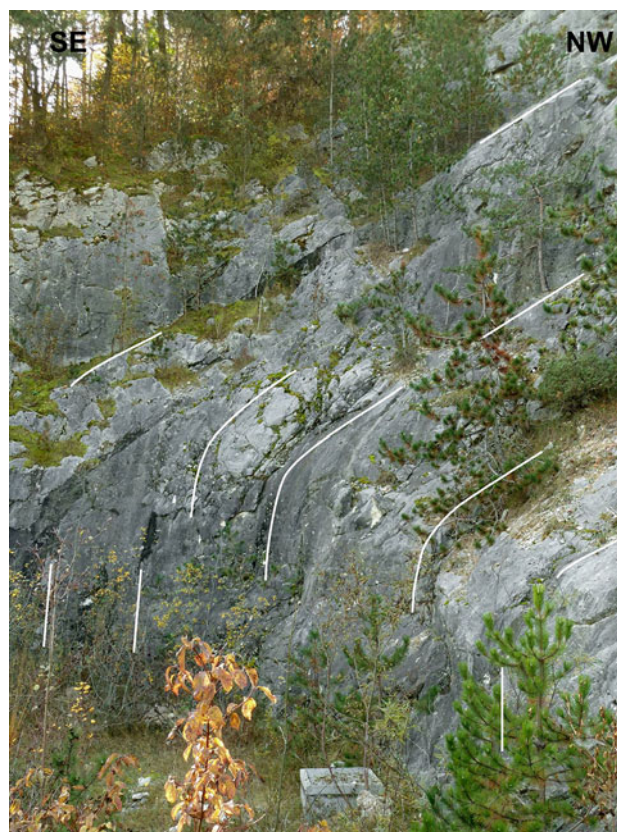


Fig. 7 « Kink » dans les Calcaires urgoniens de l'ancienne carrière de Mornex



Fig. 8 « Kink » dans les Calcaires urgoniens à 400 m de l'église d'Esserts-Salève

5.3 Région du Rafour – chez Jacquemoud (Fig. 2, profil 3)

En amont du Rafour, à l'altitude 850 m, les Calcaires urgoniens montrent un « kink » avec des plongements qui

passent de 40° à 65°SE. Plus bas, à 750 m, la Molasse rouge *auct.* forme un synclinal pincé avec des plongements à contre-pente de 45°NW (coord. UTM WGS 84: 283 850 E/5112 750 N). Puis à partir du point topographique 716, en direction de Chez Jacquemoud, la Molasse rouge *auct.* plonge régulièrement de 40° vers le SE.

5.4 Région de Grange Rouge (Fig. 2, profil 4)

Entre 860 et 800 m, la Molasse rouge *auct.* présente des pendages très variables: 60°SE, 70°NW (à contre-pente), 90°, 60°SE (coord. UTM WGS 84: 283 600 E/5112 600 N). Cette fluctuation est due à un accident probablement subvertical orienté N40° et matérialisé par un petit vallon. Plus bas, jusqu'à la D15 près de Grange Rouge, les pendages de la Molasse rouge *auct.* deviennent homogènes et voisins de 40°SE.

5.5 Région des Molliets – Chez Joindet s/la Muraz (Fig. 2, profil 5)

Juste en amont des Molliets, à la cote 950 m ainsi qu'à la Joie, les Calcaires urgoniens forment un « kink » d'axe N30°: les plongements, d'abord de 30°SE, atteignent 70°SE.

A la cote 882 m aux Molliets (coord. UTM WGS 84: 283 150 E/5112 180 N), la Molasse rouge *auct.* est subverticale aux abords immédiats d'une ferme rénovée. Plus en aval en direction de Chez Joindet au ESE, vers l'altitude 750 m, la Molasse est plus ou moins en pente structurale avec un plongement de 30°SE.

Le profil 5 passe par le fossé qui longe la route Les Molliets - La Joie, dans lequel affleurent des couches de Molasse qui plongent en moyenne de 50° SE. En aval de cette route, à l'altitude 810 m, à quelque 150 m au nord de la cote 774 (sur la D48), se retrouvent des couches subverticales de Molasse, orientées N40°. Elles déterminent un anticlinal de petite dimension, très pincé tel un pli en chevron (coord. UTM WGS 84: 283 110 E/5111 750 N). Plus bas dans la pente, le long de la D48 menant à la Croisette, les bancs de Molasse présentent un pendage de 30° SE.

Ces observations ont permis de mettre en évidence un accident d'axe NW–SE à une centaine de mètres au SW des Molliets. Un rejet sénestre de 300 m a été relevé en prenant comme repère les couches subverticales de la Molasse de part et d'autre de l'accident. Ce dernier est en outre matérialisé par une petite cuesta de même orientation et parallèle au décrochement sénestre du Coin.

5.6 Conclusions sur la structure du versant SE du Salève

Entre Nortevie, Esserts-Salève et la Joie, sur 4 km à 5 km de longueur, de nombreux affleurements de Marnes et Grès

bariolés (Molasse rouge *auct.*) montrent des couches subparallèles à la pente structurale, à contre-pente (pendages inverses) et/ou subverticales; les Calcaires urgoniens sous-jacents présentent des « kinks ». Les différents profils (Fig. 2: 1 à 5) établis dans les 5 secteurs décrits ci-dessus démontrent la présence d'une suite d'accidents longitudinaux majeurs, de direction N25° à N45°, plus ou moins parallèles à l'axe de la structure du Salève et de même orientation que les failles longitudinales bien connues sur le versant NW du Petit et du Grand Salève. En fait, il s'agit de « faisceaux de failles », très probablement décalés par des décrochements sénestres, tel celui de la Grande Gorge. Ces accidents décelés dans les Marnes et Grès bariolés se traduisent par des « kinks » dans les Calcaires urgoniens.

Jusqu'ici, aucun accident majeur n'avait été repéré sur le terrain sur le versant SE du Salève, hormis la faille longitudinale de Grange Passey que Joukowsky and Favre (1913: 363) qualifient de « dislocation faible » et dont ils estimaient le rejet à « une vingtaine de mètres seulement ». En revanche une fracture importante avait été imaginée avec beaucoup d'intuition par Rigassi (1961, *in* Charollais and Lombard 1966: 70, fig. 6), dans sa « coupe de la série tertiaire Genève-Bornes ». Plus récemment, Gorin et al. (1993, pl. 2; p. 701, fig. 6) et Signer and Gorin (1995, p. 244, fig. 8) ont interprété dans un secteur situé beaucoup plus à l'est de celui que nous avons cartographié, les données de sismique réflexion calibrées par les informations fournies par le puits Salève-2 (coord. Lambert II: 897 66/2122 86; alt.: 810 m) foré en 1960 au lieu-dit « Les Roux » à 1,5 km au SSE de Menthonnex en Bornes, à 6 km à l'est de Cruseilles. Ils y ont reconnu la présence de plusieurs failles (subverticales ou à faible plongement vers le SE) qui affectent, pour la plus importante, la Molasse rouge *auct.* et les formations du Crétacé inférieur. La faille qui, dans le travail de Gorin et al. (1993) borde le versant SE du Salève et qui, pour ces auteurs, présente un fort rejet sur leur planche 2 (mais insignifiant sur leur Fig. 6), correspondrait aux accidents longitudinaux majeurs (« faisceau de failles longitudinales ») orientés N25° à N45°, que nous avons observés en surface. Toutefois, ces résultats basés sur la sismique réflexion font encore l'objet de discussion (Paolacci 2012).

De la comparaison du profil 4 de Joukowsky and Favre (1913, pl. XII) reproduit sur notre Fig. 5 avec nos cinq portions de profils dessinées sur notre Fig. 2, il ressort que le raccord des couches paléogènes et mésozoïques du versant SE du Grand Salève avec celles du bord NW du plateau des Bornes est beaucoup plus complexe que ne l'avaient imaginé nos prédécesseurs. Nos observations révèlent avec certitude la présence d'accidents longitudinaux majeurs sans que l'on puisse déterminer aujourd'hui le sens et l'amplitude du pendage des plans de failles.

D'autre part, s'agit-il uniquement de fractures, avec ou sans plissements? La présence de « kinks » bien identifiés sur le terrain (Figs. 7, 8) plaiderait plutôt en faveur de la première hypothèse. Dans l'état actuel de nos connaissances, nous ne pouvons pas exclure une structure en « pop-up », qui conférerait au Salève un style tectonique compatible avec celui de nombreux plis du Jura interne. C'est la raison pour laquelle nous avons opté sur nos profils pour des pendages qui, de subverticaux en surface, s'inclinent vers le NW en profondeur. Seule une étude microsismique de ce secteur pourrait lever le doute.

6 Conclusion générale

Les relevés géologiques du chaînon du Salève à 1/10'000 entrepris depuis une année, ont déjà permis de découvrir de nouveaux affleurements de Marnes et Grès bariolés (Molasse rouge *auct.*) et de Calcaires urgoniens. Ils traduisent une complexité structurale du versant SE du Salève beaucoup plus grande que celle décrite dans la littérature ancienne et actuelle. Toutefois, l'absence d'affleurements due la couverture morainique nous empêche de savoir si les accidents longitudinaux nouvellement identifiés sur ce versant se poursuivent au-delà du décrochement du Coin.

Une meilleure connaissance de la structure du Salève, que peut révéler un travail minutieux de cartographie sur le terrain, n'a pas seulement un impact sur la compréhension de la genèse de cette montagne, mais est déterminante pour la gestion des eaux souterraines et pour la délimitation de leurs périmètres de protection, actuellement en étude par d'autres chercheurs.

Remerciements Les auteurs tiennent à exprimer leur gratitude pour leur soutien et leurs encouragements aux Présidents (et à leurs collaborateurs) de la Communauté de Communes du Genevois et du Syndicat mixte du Salève, à l'ancienne et à la nouvelle Direction du Muséum d'Histoire naturelle de la Ville de Genève ainsi qu'au Décanat de la Faculté des Sciences de l'Université de Genève. Le manuscrit a été relu par Jacques Martini et Georges Gorin, qui nous ont fait part de remarques pertinentes et constructives; qu'ils en soient vivement remerciés.

References

- Amberger, G., Carozzi, A. V., Charollais, J., Decrouez, D., Ruchat C., Zaninetti, L. (1988). Histoire géologique du Salève d'Horace-Bénédict de Saussure à nos jours. *Archives des Sciences*, 41, 1–42 (Genève).
- Angelillo, V. (1987). *Les Marnes et Grès gris à gypse (« Molasse grise ») du bassin genevois. Géologie, sédimentologie, stratigraphie, Unpublished Master Thesis.* Geneva: University of Geneva.
- Blondel, T. (1984). Etude tectonique de la partie septentrionale de la montagne du Vuache (Haute-Savoie, France) (2ème partie), Unpublished Master Thesis. University of Geneva, Geneva.
- Blondel, T., Charollais, J., Sambeth, U., Pavoni, N. (1988). La faille du Vuache (Jura méridional): un exemple de faille à caractère polyphasé. *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles*, 79, 65–91 (Lausanne).
- Carozzi, A.-V. (1990). Histoire des Sciences de la Terre entre 1790 et 1815 vue à travers les documents inédits de la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève. *Mémoires de la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève*, 15, 1–411.
- Charollais, J., & Badoux, H. (1990). *Suisse lémanique. Pays de Genève et Chablais. Guides géologiques régionaux.* Paris: Masson.
- Charollais, J., Dondey, D., Ginet, C., Lombard, A., Müller, J.-P., Rosset, J., et al. (1986). Carte géologique de France (1/50'000), feuille Annecy-Bonneville (678). Orléans.
- Charollais, J., Ginet, C., Huguency, M., Müller, J.-P. (1981). Sur la présence de dents de mammifères à la base et dans la partie supérieure de la Molasse rouge du plateau des Bornes (Haute-Savoie, France). *Eclogae Geologicae Helveticae*, 74, 37–51 (Bâle).
- Charollais, J., Lombard, A. (1966). Stratigraphie comparée du Jura et des chaînes subalpines, aux environs de Genève. *Archives des Sciences*, 19, 49–81 (Genève).
- Charollais, J., Plancherel, R., Monjuvent, G., Debelmas, J. (1998). Notice explicative. Carte géologique de France (1/50'000), feuille Annemasse (654). Orléans: BRGM.
- Charollais, J., Weidmann, M., Berger, J.-P., Engesser, B., Hotellier, J.-F., Gorin, G. et al. (2007). La Molasse du bassin franco-genevois et son substratum. *Archives des Sciences*, 60, 59–174 (Genève).
- Clavel, B., Charollais, J., Busnardo, R. (1987). Données biostratigraphiques nouvelles sur l'apparition des faciès urgoniens du Jura au Vercors. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 80, 59–68 (Bâle).
- Collet, L. W. (1955). Notice explicative, Feuille 6, Genève – Lausanne. Commission géologique suisse. Ed. Kümmerly & Frey, Berne.
- Conrad, M.-A. & Ducloz, C. (1977). Nouvelles observations sur l'Urgonien et le Sidérolithique du Salève. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 70, 127–141 (Bâle).
- de Saussure, H.-B. (1779–1796). Voyages dans les Alpes précédés d'un essai sur l'histoire naturelle des environs de Genève, 4 vols. Neuchâtel: Franche-Borel.
- Deferne, J. & Wuest, J. (1988). Le Salève. Colloque organisé par la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève, le 16 octobre 1987 au Muséum d'Histoire naturelle de Genève. *Archives des Sciences*, 14, 1–181 (Genève).
- Deville, Q. (1990). Chronostratigraphie et lithostratigraphie synthétique du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur de la partie méridionale du Grand Salève (Haute-Savoie, France). *Archives des Sciences*, 43, 215–235 (Genève).
- Donzeau, M., Wernli, R., Charollais, J., & Monjuvent, G. (1997a). *Carte géologique de France (1/50'000), feuille Saint-Julien-en-Genevois (653).* Orléans: BRGM.
- Donzeau, M., Wernli, R., Charollais, J., Monjuvent, G. (1997b). Notice explicative. Carte géologique de France (1/50'000), feuille Saint-Julien-en-Genevois (653). BRGM: Orléans.
- Favre, A. (1867). Recherches géologiques dans les parties de la Savoie, du Piémont et de la Suisse voisines du Mont Blanc. Paris: Atlas, 29 planches.
- Gorin, G., Signer, C., Amberger, G. 1993. Structural configuration of the western Swiss Molasse Basin as defined by reflection seismic data. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 86, 693–716 (Bâle).
- Joukowsky, E., & Favre, J. (1913). Monographie géologique et paléontologique du Salève (Haute-Savoie, France). *Mémoires de la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève*, 37, 295–523.

- Kerrien, Y., Turrel, C., Montjuvent, G., Charollais, J., Lombard, A., Balmer, A., et al. (1998). *Carte géologique de France (1/50'000), feuille Annemasse (654)*. Orléans: BRGM.
- Lombard, A. (1965). Notice explicative de la feuille 1301 Genève. *Atlas géologique de la Suisse 1/25'000*. Commission géologique suisse. Berne: Kümmerly & Frey S.A.
- Lombard, A. & Paréjas, E. (1965). Feuille 1301 Genève. *Atlas géologique de la Suisse 1/25'000*. Berne: Commission géologique suisse, Kümmerly & Frey S.A.
- Martini, J. (1962). Note sur le Tertiaire des environs de Mornex (Hte-Savoie). *Compte Rendu des Séances de la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève*, 1^{er} novembre 1962. *Archives des Sciences*, 15, 619–626.
- Paolacci, S. (2012). Seismic Facies and Structural Configuration of the Western Alpine Molasse Basin and its Substratum (France and Switzerland), Unpublished PhD Thesis. Geneva: University of Geneva.
- Paréjas, E. (1938). Essai sur la géographie ancienne de la région de Genève. *Revue de la Faculté des Sciences de l'Université d'Istanbul (N. S.)*, 3, 1–50.
- Paréjas, E., & Lombard, A. (1959). Cavités karstiques dans l'Urgonien du Mont Salève. *Compte Rendu des Séances de la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève*, 3 décembre 1959. *Archives des Sciences*, 12, 690–695.
- Rigassi, D. (1957). Le Tertiaire de la région genevoise et savoissienne. *Bulletin of applied Geology*, 24, 19–34 (Basel).
- Rigassi, D. (1961). Coupe de la série tertiaire Genève – Bornes. Livret-guide de l'Association suisse des Géologues et Ingénieurs du Pétrole. In Charollais, J. & Lombard, A. (1966). *Archives des Sciences*, 19, p. 70, fig. 6. Genève.
- Ruchat, C. (1959). Coupes géologiques à travers l'anticlinal du Mont-Salève. In Amberger, G., Carozzi, A., Charollais, J., Decrouez D., Ruchat, C., Zaninetti, L. (1988). *Archives des Sciences*, 41, p. 26–29, fig. 5. Genève.
- Ruchat, C. & Michel, R. (1959). Carte géologique de l'anticlinal du Mont Salève, 1/20'000 (Inédit).
- Schegg, R. (1992). Coalification, shale diagenesis and thermalmodelling in the Alpine Foreland Basin: the Western Molasse basin (Switzerland/France). *Organic Geochemistry*, 18, 289–300.
- Schroeder, J. W. (1958). Géologie du Pays de Genève. *Le Globe*, *XCVII*, 37–100 (Genève).
- 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 Geologicae Helveticae*, 88, 235–265 (Bâle).
- Weidmann, M. (1984). Le Siderolithique et la Molasse basale d'Orbe (Vaud). *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles*, 366, 135–141.