

**Zeitschrift:** Eclogae Geologicae Helvetiae  
**Herausgeber:** Schweizerische Geologische Gesellschaft  
**Band:** 77 (1984)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Evolution des contraintes tectoniques et sismicité dans la région du col du Sanetsch, Alpes valaisannes helvétiques  
**Autor:** Franck, Paul / Wagner, Jean-Jacques / Escher, Arthur  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-165515>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 02.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Evolution des contraintes tectoniques et sismicité dans la région du col du Sanetsch, Alpes valaisannes helvétiques

Par PAUL FRANCK<sup>1)2)</sup>, JEAN-JACQUES WAGNER<sup>1)</sup>,  
ARTHUR ESCHER<sup>3)</sup> et NAZARIO PAVONI<sup>4)</sup>

## ABSTRACT

A study of brittle tectonics and seismicity of the Sanetschpass region in the Helvetic domain of the Swiss Alps has shown the existence of three orientations of the maximum stress axis  $\sigma_1$  by an analysis of the échelon tension fractures. Chronologically the order is NE–SW; N–S; NW–SE. It is suggested that the first two orientations probably correspond to phases occurring before and during the formation of the Helvetic nappes. The most recent orientation coincides with the axis of maximum shortening P. This is deduced from the interpretation of 21 earthquakes with magnitude 0.5 to 1.6 recorded by a portable seismometer network.

## RÉSUMÉ

Une étude de la tectonique cassante et de la sismicité de la région du col du Sanetsch dans les Alpes valaisannes helvétiques permet la mise en évidence, grâce à l'analyse des fentes en échelon, de trois orientations de l'axe de contrainte maximale  $\sigma_1$ . Chronologiquement, on obtient NE–SW; N–S; NW–SE. On suggère que les deux premières orientations correspondent probablement aux périodes pré- et synformation des nappes helvétiques. L'orientation la plus récente coïncide avec celle de l'axe de raccourcissement maximal P. Ce dernier est déduit de l'interprétation de 21 tremblements de terre de magnitude 0,5 à 1,6 observés au moyen d'un réseau de sismographes portatifs.

## 1. Introduction

Par une approche multidisciplinaire, géologique et géophysique, nous tentons de reconstituer l'évolution du champ des contraintes tectoniques dans un secteur des Alpes valaisannes helvétiques.

Les directions principales des contraintes anciennes sont déterminées par l'analyse de déformations observées sur le terrain, notamment à l'aide de l'examen de fentes en échelon. Les contraintes actuelles sont déduites de l'analyse du mécanisme au foyer de tremblements de terre de faible profondeur et de faible magnitude.

---

<sup>1)</sup> Laboratoire de pétrophysique, Département de Minéralogie, Université de Genève, CH–1211 Genève 4.

<sup>2)</sup> Actuellement c/o Premier Consolidated Oilfields, Belgrave Street, London.

<sup>3)</sup> Institut de Géologie, Université de Lausanne, Palais de Rumine, CH–1005 Lausanne.

<sup>4)</sup> Institut de Géophysique, Ecole Polytechnique Fédérale, Hönggerberg, CH–8093 Zürich.

## 2. Situation géologique

La région étudiée se situe au nord-ouest du canton du Valais, à la limite des cantons de Vaud et de Berne. Elle s'étend à l'ouest du col du Sanetsch (alt. 2251 m) jusqu'à la Tour St-Martin et comprend le lapié de Tsanfleuron, du nom du glacier qu'il supporte partiellement. Le retrait glaciaire, d'environ 180 m ces trente dernières années, a facilité les recherches. La surface étudiée correspond environ à 6 km<sup>2</sup>.

Géologiquement, nous nous trouvons dans le domaine Helvétique, à la limite de la nappe des Diablerets et de celle du Wildhorn. Cette dernière, formant une digitation supérieure, a été enlevée par l'érosion dans la région du Sanetsch. La nappe des Diablerets montre son flanc normal sous la forme d'une carapace de calcaire, sur laquelle ont été effectuées nos observations.

Le lapié de Tsanfleuron (KUNZ 1982) est en majeure partie constitué de calcaire Urgonien contenant localement des poches de grès sidérolitique. On y trouve aussi, par endroit, une mince couche à Cérithes calcaire ou marno-calcaire, parfois carbonneuse; un grès nummulitique peu épais; un calcaire nummulitique plus important; des marnes à Globigérines.

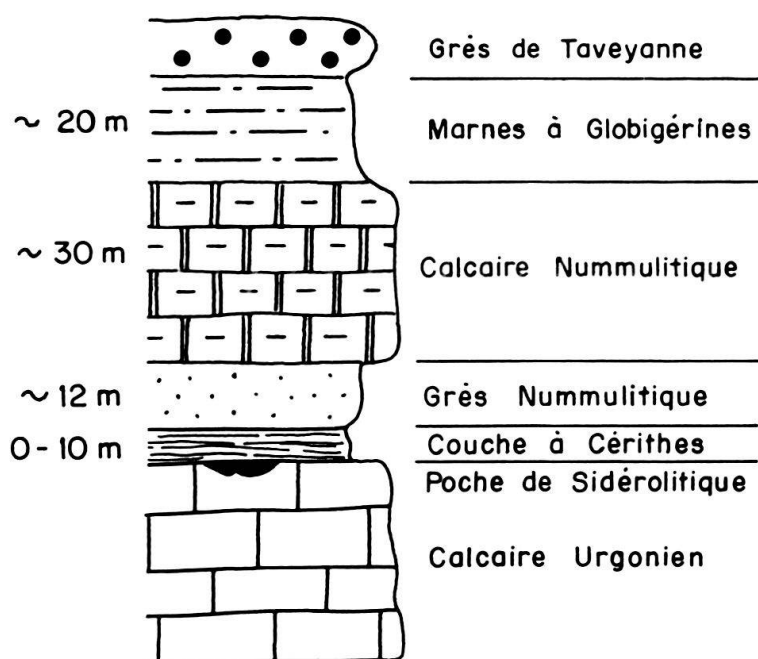


Fig. 1. Colonne stratigraphique des roches de la région du lapié de Tsanfleuron.

## 3. Observations géologiques

Le plateau calcaire du lapié de Tsanfleuron présente une surface appropriée à l'étude des failles et des fentes en échelon, car il a été relativement peu affecté par les plissements, ce qui a permis la conservation de beaucoup d'indices tectoniques (fig. 2).



Fig. 2. Systèmes de fentes en échelon dans la partie ouest du lapié de Tsanfleuron.

Nous avons cartographié un grand nombre de failles et relevé les orientations des systèmes de fractures d'extension en échelon calcitisées (fig. 3). Ces dernières étant particulièrement bien exposées, elles nous permettent de déterminer les directions des contraintes tectoniques principales les ayant engendrées. Notons cependant que le plan d'observation est presque horizontal et que celui-ci correspond plus ou moins au plan défini par les axes de contrainte maximale  $\sigma_1$  et minimale  $\sigma_3$ .

La photo d'affleurement (fig. 4a) permet d'illustrer particulièrement bien la méthode. On observe sur cette figure deux systèmes de fentes distincts se recoupant avec un angle d'environ  $100^\circ$ . Le système se trouvant dans l'axe du porte-mine et composé de fentes en échelon conjuguées, est schématisé sur la figure 4b. Il est possible, grâce à la disposition de ces fentes, de déterminer les directions des contraintes maximales ( $\sigma_1$ ) et minimales ( $\sigma_3$ ). Nous y parvenons en plaçant le grand axe d'un ellipsoïde de déformation perpendiculairement soit à la direction moyenne d'allongement des fentes, soit à la bissectrice de l'angle généralement aigu entre deux systèmes conjugués. Le grand axe doit être parallèle à l'orientation des fibres de calcite des fentes de tension. Nous procédons à la même démarche classique (RAMSAY 1967, DURNEY & RAMSAY 1973) pour les autres systèmes.

Les observations de terrain permettent la mise en évidence de systèmes de fentes successifs par recouvrement et déplacement de fentes anciennes par des fentes plus jeunes (fig. 4a, b et 5a, b). Les différents azimuts de la contrainte principale  $\sigma_1$  déduite de l'ellipsoïde de déformation sont localisés sur la carte de la figure 3. L'étude de la

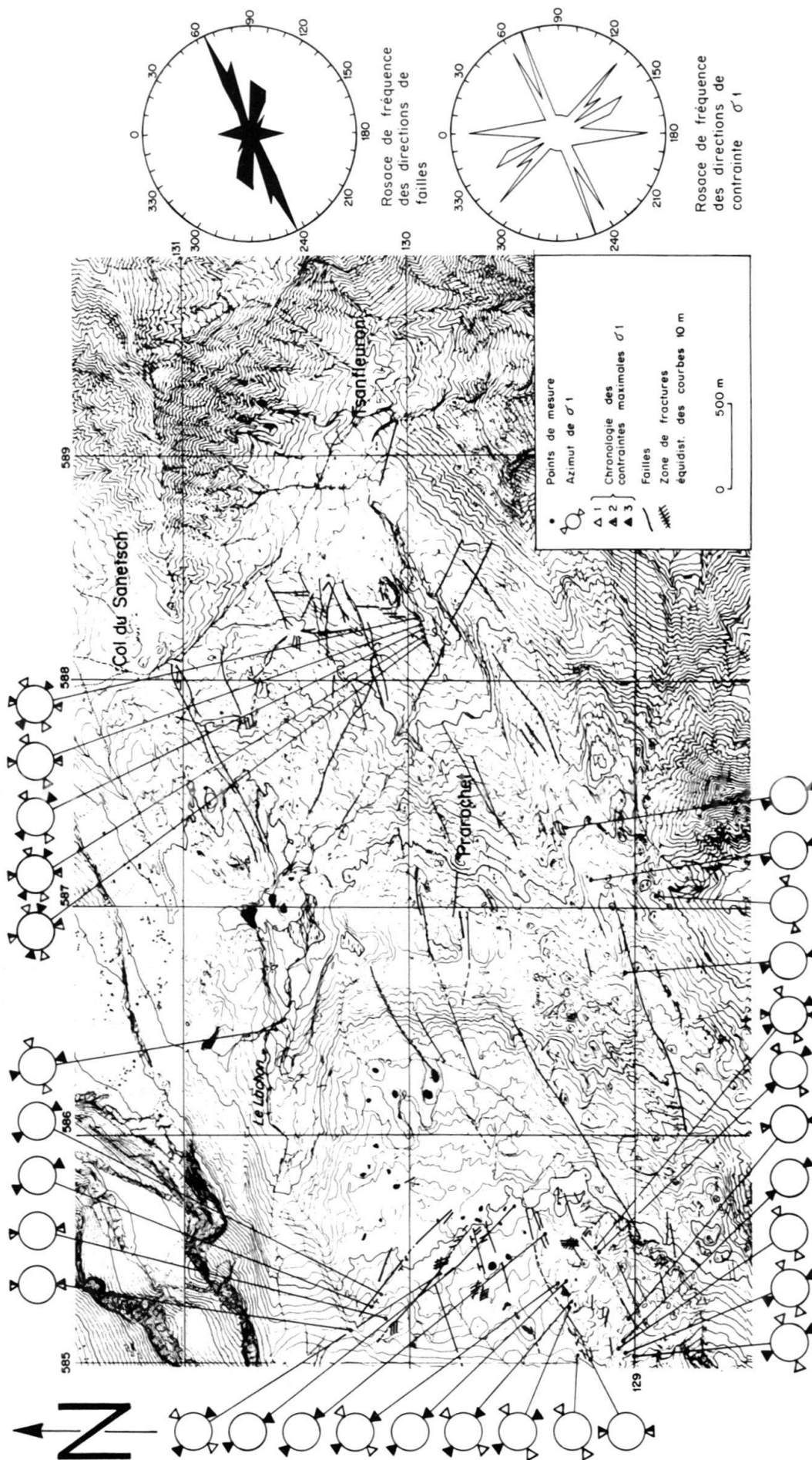


Fig. 3. Carte des failles et des contraintes tectoniques de la région du Sanetsch.  
 (Carte topographique reproduite avec l'autorisation de l'Office fédéral de topographie du 21.5.1984.)

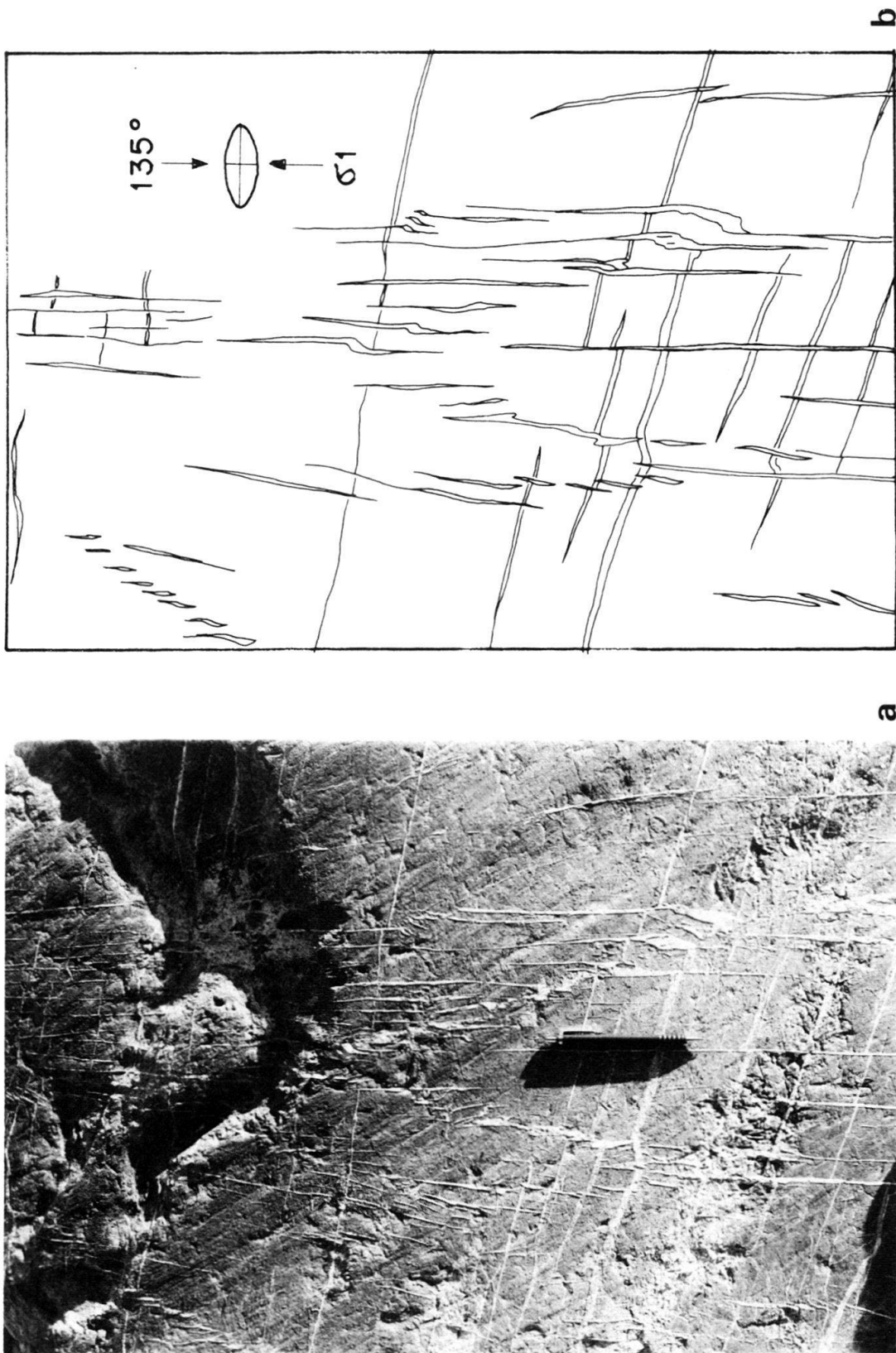


Fig. 4. a: Fentes en échelon partiellement sigmoïdales. Deux systèmes sont visibles: un ancien système orienté vers 60° recoupé par les fentes récentes vers 135°.  
b: Interprétation.

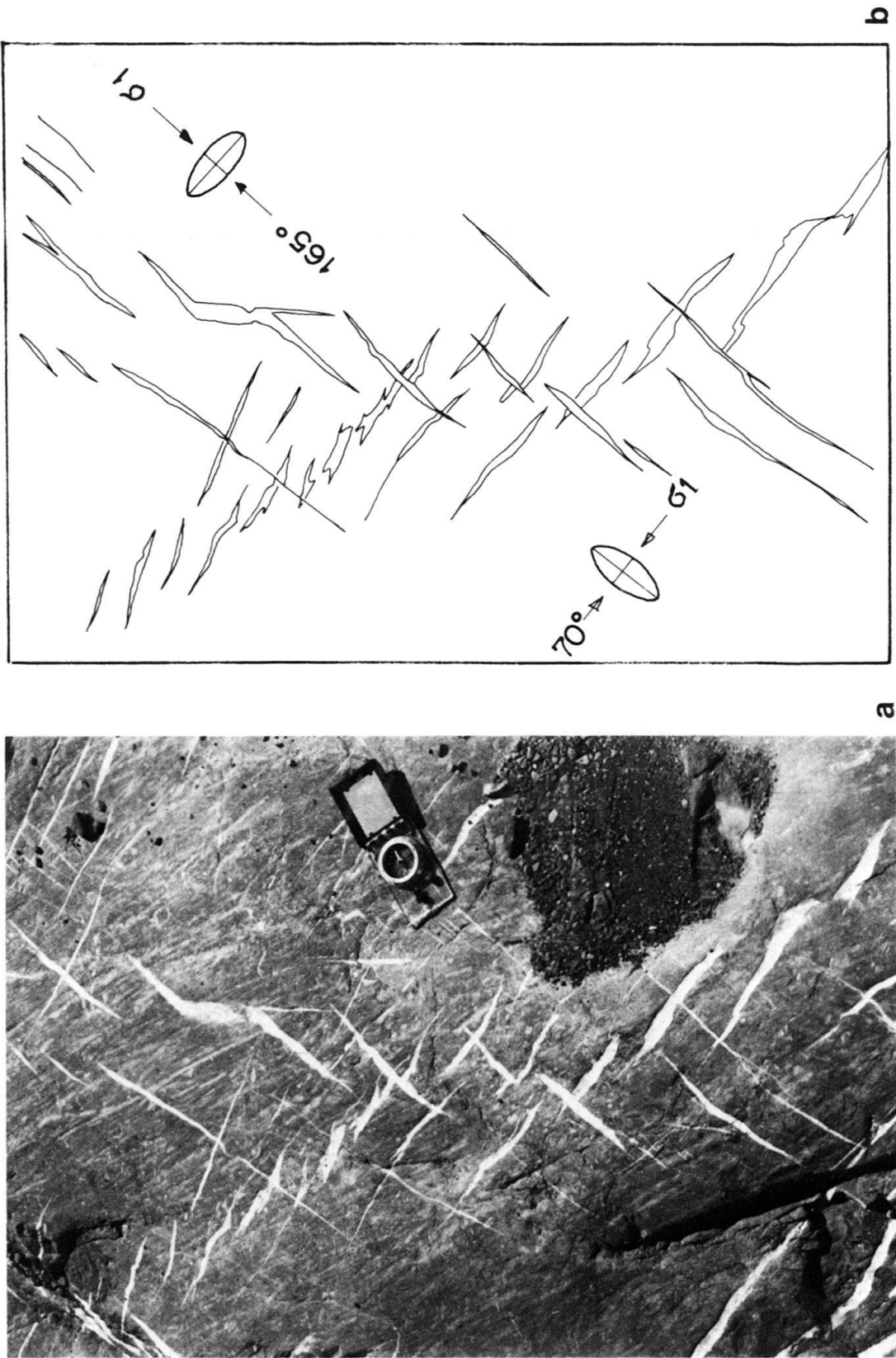


Fig. 5. a: Fentes en échelon montrant un ancien système orienté vers 70° recoupé par les fentes plus jeunes vers 165°. b: Interprétation.

distribution de l'azimut des  $\sigma_1$  sur la rosace de fréquence, établie sur une base de 46 mesures (fig. 3), confirme la présence de trois directions de contraintes, maximales, qui d'après les intersections des systèmes de fentes sur le terrain donnent la chronologie suivante:

1er système: NE–SW ( $60^\circ$ – $70^\circ$ )

2e système: N–S ( $180^\circ$ )

3e système: NW–SE ( $130^\circ$ – $150^\circ$ )

Le premier système est en relation avec des failles et fractures à remplissage de sidérolitique et pourrait résulter des contraintes qui ont existé à la fin du Crétacé et au début du Tertiaire. Le deuxième système correspondrait avec la phase principale de mise en place des nappes helvétiques et le troisième avec les contraintes post-nappe et même actuelles.

## 4. Observations sismiques

### 4.1 Tremblements de terre locaux

Pour déterminer les contraintes actuelles sur la base de l'analyse de mécanismes au foyer des tremblements de terre locaux, nous avons effectué une campagne sismique (été 1981) dans la région que nous avons géologiquement étudiée. Relevons cependant que l'implantation du réseau des sismographes (fig. 6) se trouve un peu plus au sud-est, ce qui fait que nous englobons cette fois les nappes des Diablerets et du Wildhorn, du domaine Helvétique.

Le réseau temporaire était composé de trois sismographes portatifs type MEQ-800 de Sprengether Instrument & Co. à composante verticale et d'un modèle SER à trois composantes développé par l'Institut de Géophysique de l'EPFZ. Les deux types d'appareils à courte période sont adaptés à l'enregistrement de microséismes de faible magnitude ( $M_L \leq 3$ ).

Nous avons aussi fait appel au réseau installé dans la région par le Service Suisse de Sismologie en utilisant les renseignements de deux de leurs stations [AMI (temporaire) et SIE (permanente)]. La qualité d'enregistrement a été excellente; ceci était dû entre autre, au fait que le bruit sismique était très faible. Pour localiser les épicentres et hypocentres à partir des temps d'arrivée d'ondes P et S, nous avons utilisé le programme Hypo 71 (LEE & LAHR 1972). Il nécessite un modèle crustal formé de couches successives homogènes.

Le modèle choisi est le suivant:

Profondeur en km	Vitesse $V_p$ km/s
0–1	5
1–45	6
> 45	8,1

avec  $V_p/V_s = 1,73$



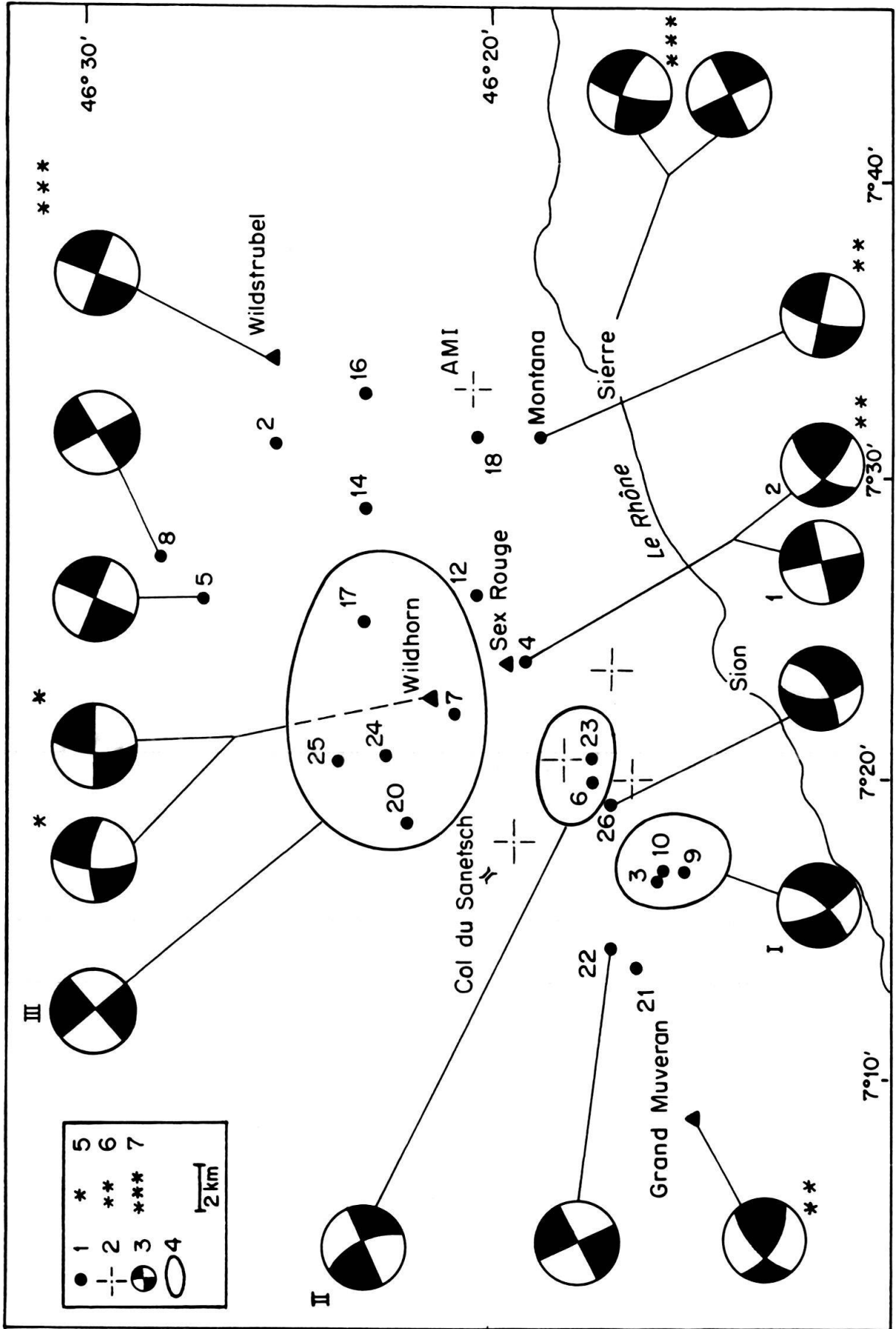


Fig. 6. Localisation des tremblements de terre et solutions du mécanisme au foyer. 1: Epicentre, 2: Sismographe, 3: Solution du mécanisme au foyer. En noir: quadrant de compression. En blanc: quadrant de dilatation. 4: Tremblements de terre inclus dans les solutions composites I, II et III. 5: PAVONI (1980). 6: ARNOLD (1977). 7: PERRAUDIN (1981).

Ce modèle est fortement simplifié par rapport à celui établi sur la base de la sismique réfraction. Comme les différences se manifestent principalement dans les parties intermédiaire et profonde de la croûte, elles n'interviennent pas pour le calcul de la trajectoire de l'onde directe. La vitesse de 5 km/s admise pour la couche supérieure (sédimentaire) simule temporellement assez bien l'augmentation graduelle de vitesse que l'on y rencontre.

Les 21 tremblements de terre (tabl.1) ont une magnitude comprise entre  $0,5 \pm 0,2 \geq M_L \geq 1,6 \pm 0,2$ , les hypocentres calculables se répartissent entre 0 et 14 km de profondeur à partir d'une altitude moyenne de 1545 m. Il faut noter que l'estimation de la profondeur est entachée d'erreurs dépendant de la position des stations sismiques par rapport au lieu d'ébranlement et du modèle crustal adopté.

D'après un profil géologique de la région, la couverture sédimentaire reposant sur le cristallin a une épaisseur de 5 km. La répartition, en profondeur, de nos hypocentres indique qu'un plus grand nombre se trouvent près du passage sédimentaire/cristallin. Relevons que le nombre d'observations n'est pas encore suffisant pour en tirer des conclusions dynamiques.

Tableau 1: Paramètres des tremblements de terre.

No	Date	Heure Minute	LAT	LONG	X , Y	H (km)
2	17.9.81	00 57	46°25.53'	7°30.94'	606/141	7.7
3	"	02 30	16.33'	16.19'	587/124	3.5
4	"	03 12	19.56'	23.36'	596/130	3.2
5	"	03 17	27.03'	25.31'	599/144	2.5
6	"	21 43	17.96'	19.21'	591/127	6.6
7	"	23 23	20.85'	21.80'	594/133	5.5
8	18.9.81	06 36	27.77'	27.43'	601/146	5.3
9	"	07 21	15.76'	16.61'	587/123	5.7
10	"	08 29	16.33'	16.42'	587/124	5.1
12	19.9.81	06 53	20.35'	25.50'	599/132	1.7
14	23.9.81	21 45	23.13'	28.56'	603/137	5.0
16	24.9.81	00 57	23.13'	32.87'	608/137	12.4
17	25.9.81	06 08	23.13'	24.48'	598/137	11.9
18	"	06 41	20.52'	31.05'	606/132	5.0
20	27.9.81	19 23	22.05'	18.05'	589/135	4.5
21	28.9.81	20 00	16.87'	13.04'	583/125	1.3
22	29.9.81	17 30	17.14'	13.86'	584/126	2.3
23	1.10.81	20 09	17.64'	20.15'	592/127	0.1
24	4.10.81	01 39	22.59'	20.15'	592/136	2.0
25	"	01 55	23.43'	20.15'	592/138	6.1
26	7.10.81	05 21	16.95'	18.74'	590/126	0.6

LAT, LONG = coordonnées géographiques des hypocentres

X, Y = coordonnées suisses des hypocentres

H = profondeur de l'hypocentre

#### 4.2 Mécanismes au foyer

Le modèle le plus utilisé pour l'étude des mécanismes au foyer est celui du double couple.

L'observation de la polarité de l'arrivée de l'onde P à une station sismique indique si cette onde se présente en compression (composante verticale «up») ou en dilatation (composante verticale «down»).

Ces polarités sont reportées, connaissant l'azimut de la station par rapport à l'épicentre, sur une sphère focale centrée sur l'hypocentre, dont l'hémisphère inférieur est projeté sur un plan. On tente de séparer les polarités à l'aide de deux plans orthogonaux qui correspondent aux plans nodaux du modèle.

Une fois les quadrants obtenus, il est possible de tracer le plan contenant les axes P et T. Ces axes correspondent respectivement à l'orientation de raccourcissement maximal et de l'extension maximale au foyer. Ainsi les axes de contraintes  $\sigma_1$  et  $\sigma_3$  du tectonicien sont comparables aux axes P et T du sismicien.

Du fait du nombre limité de sismographes, une solution sismique unique est difficile à établir; pour tenter de palier à cet inconvénient, nous avons utilisé des solutions dites composites (PAVONI 1977). Malgré cela, il faut garder une certaine prudence dans nos interprétations, car l'orientation des plans nodaux et par conséquent les axes P et T, peuvent varier considérablement; les solutions admises correspondent à une orientation «moyenne» par rapport aux possibilités extrêmes.

Quatorze tremblements de terre nous conduisent à quatre solutions simples et trois solutions composites (fig. 6):

Solutions simples (no du séisme)	Axes azimut/pendage (degrés)	
	P	T
5	335/0	65/0
8	298/0	28/0
22	305/0	215/0
26	20/64	290/6
<i>Solutions composites</i> (no des séismes)		
I (3, 9, 10)	336/56	102/20
II (6, 23)	218/08	308/08
III (7, 17, 20, 24, 25)	98/00	8/00

Sur les solutions de mécanisme au foyer, le type mouvement décrochant domine et on remarque que l'orientation préférentielle de P est NNW–SSE à WNW–ESE. Ces résultats sont en accord avec d'autres études séismotectoniques dans la région (PAVONI 1977, 1980; ARNOLD 1977; PERRAUDIN 1981).

Relevons que l'on trouve aussi une solution présentant une «inversion» des polarités (solution composite II); ce fait intéressant a également été noté par PERRAUDIN (1981). Ce phénomène pourrait s'expliquer par des variations locales des directions de contraintes tectoniques dominantes.

## 5. Comparaison des résultats tectoniques et sismiques

Notre étude de l'évolution du champ des contraintes tectoniques au cours de l'histoire géologique d'une partie du système alpin central nous a permis de montrer:

— d'une part, grâce au levé de la tectonique cassante, une succession d'événements concernant les contraintes tectoniques maximales  $\sigma_1$ . Trois systèmes ont été identifiés; on a, caractérisées par  $\sigma_1$ , chronologiquement, les directions suivantes: NE-SW; N-S; NW-SE.

Les deux premiers systèmes de contraintes correspondent probablement avec les périodes avant et pendant la formation des nappes helvétiques. Le dernier système (NW-SE) est le plus jeune et pourrait résulter de contraintes qui existent encore actuellement;

— d'autre part, par l'étude microsismique nous avons déduit une contrainte actuelle dominante de la région dont l'axe P s'oriente: NW-SE.

Les mécanismes au foyer se référant à cette direction de contrainte montrent des décrochements dextres ou sénestres oscillant respectivement autour d'une direction W-E ou autour d'une direction N-S. Il existe sur la lapié de Tsanfleuron plusieurs familles de failles dont la plus jeune a une orientation WNW-ESE. Celle-ci est formée essentiellement de failles normales et pourrait donc résulter des contraintes  $\sigma_1$  récentes. PAVONI (1980, fig. 5 et 6) rapporte des failles de décrochement dextres E-W et sénestres N-S près du Six du Samarin sur la route St-Romain-lac Zeuzier et près de la Forêt des Rives sur la route menant au col du Sanetsch.

En conclusion, retenons que la contrainte  $\sigma_1$  la plus récente (NW-SE), déduite des fentes se trouve dans le même secteur que l'orientation prédominante NW-SE des axes P.

## Remerciements

Nos remerciements s'adressent à F. Kunz, H. Masson, D. Mayer-Rosa, F. Perraudin, G. Perrier et P. Vialon pour leur collaboration ou pour leur commentaire.

Ce travail n'aurait pu être réalisé sans la précieuse aide de l'équipe des techniciens de l'EPFZ, R. Berger, H.P. Boller, M. Dietiker et M. Grieder. Notre reconnaissance va à Mme J. Berthoud pour la dactylographie et à P. Zbinden pour les dessins.

Les appareils sismiques MEQ-800 ont été acquis grâce au Fonds national, projets no 2.658-72 et 2.202-0.74.

## BIBLIOGRAPHIE

- ARNOLD, R. (1977): Etude des microséismes dans la région du Vuache (Haute-Savoie, France) et du Valais central (Suisse). – Trav. diplôme, Univ. Genève.
- DURNEY, D. W., & RAMSAY, J. G. (1973): Incremental strains measured by syntectonic cristal growths. In: DE JONG, K. A., & SCHOLTEN, R., (Ed.): Gravity and Tectonics. – Wiley, New York.
- KUNZ, F. (1982): Carte géologique de la région du col du Sanetsch 1:10000. – Trav. diplôme, Univ. Lausanne.
- LEE, W. H. K., & LAHR, J. C. (1972): HYPO 1971, a computer program for determining hypocenter, magnitude and first motion pattern of local earthquakes. – U.S. geol. Surv. Open file rep., p. 75-311.
- PAVONI, N. (1977): An investigation of microearthquake activity in the central Valais (swiss Alps). – Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci. 116, 317-320.
- (1980): Comparison of focal mechanisms of earthquakes and faulting in the Helvetic zone of central Valais (swiss Alps). – Eclogae geol. Helv. 73, 551-558.
- PERRAUDIN, F. (1981): Untersuchung der Seismizität des Gebietes zwischen Rawilpass and Sanetschpass. – Trav. diplôme, Ecole Polytechnique Fédérale, Zürich.
- RAMSAY, J. G. (1967): Folding and fracturing of rocks. – McGraw Hill, New York.

