

Zeitschrift: Mensuration, photogrammétrie, génie rural
Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) =
Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF))
Band: 72-F (1974)
Heft: 3

Artikel: Essais de mesure géodésique des mouvements horizontaux de la
croûte terrestre
Autor: Jeanrichard, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-226703>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 02.04.2026

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

Essais de mesure géodésique des mouvements horizontaux de la croûte terrestre

F. Jeanrichard

Résumé

La détermination des mouvements récents de la croûte terrestre intéresse actuellement beaucoup les géologues. Cet aperçu montre une possibilité de déceler des mouvements horizontaux dans la région du décrochement de Vallorbe-Pontarlier, au moyen de mesures de directions et de distances dont la précision atteint environ $2 \cdot 10^{-6}$.

Zusammenfassung

Die Bestimmung von rezenten Erdkrustenbewegungen ist heute für die Geologen von großer Bedeutung. Diese Darstellung zeigt eine Möglichkeit, horizontale Bewegungen in der Zone der Horizontalverschiebungen bei Vallorbe-Pontarlier mit Distanz- und Richtungsmessungen, die eine Genauigkeit von etwa $2 \cdot 10^{-6}$ aufweisen, zu bestimmen.

Introduction

L'étude des mouvements verticaux et horizontaux de la croûte terrestre en Suisse fait l'objet d'un programme de recherches dans le cadre du «Projet géodynamique» [3]. Ce programme comprend, entre autres, l'étude des mouvements horizontaux dans la région du décrochement de Vallorbe-Pontarlier. La géologie de cette région a été étudiée de façon approfondie [2].

Le décrochement comporte un rejet de l'ordre de 3,5 km. En admettant une déformation uniforme depuis la phase de plissement pliocène jusqu'à nos jours, on parvient à une vitesse de déplacement relatif de 3,5 cm par siècle. Si l'on veut déceler les mouvements de stations distantes de 200 m à 600 m dans un laps de temps de dix ans, il faut donc atteindre une précision des mesures de l'ordre de 10^{-6} . Le but des essais décrits ci-après était d'expérimenter une méthode permettant d'atteindre cette précision en utilisant un équipement disponible actuellement sur le marché.

Choix et repérage des stations

Le choix des stations d'observation est, finalement, toujours un compromis entre l'exigence d'avoir un réseau trigonométrique bien conformé, la configuration du terrain et les données géologiques. Sur territoire français, par exemple, le décrochement se présente comme une cassure rectiligne. Sur territoire suisse, il s'associe à d'autres dislocations dont la plus visible est le chevauchement de la Dent-de-Vaulion. Malgré ces difficultés, auxquelles s'ajoutent celles provenant de la topographie, le professeur D. Aubert, de l'Institut de géologie de l'Université de Neuchâtel, a trouvé deux régions permettant d'établir des quadrilatères. Ces deux régions, Le Mont-du-Lac et Pré-de-l'Haut-Dessous, sont d'accès aisé et permettent d'établir un dispositif d'observation dont les côtés varient entre 210 m et 585 m (voir fig. 1).

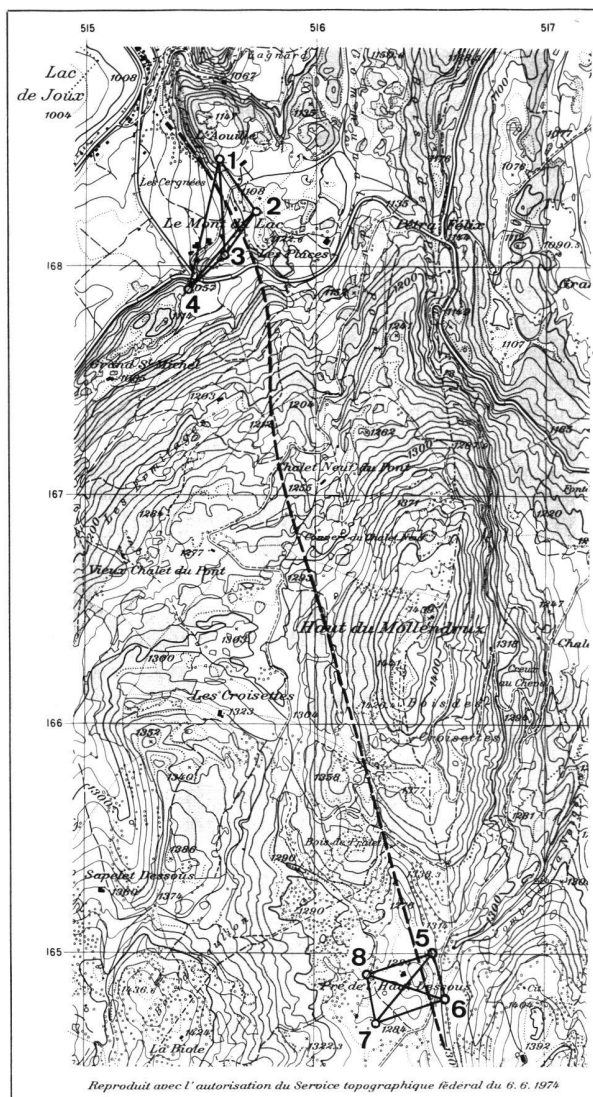


Fig. 1 Quadrilatères et situation de la cassure

Le repérage des stations donne lieu au choix suivant: ou bien l'on construit des piliers en béton, ou bien l'on se contente de repères scellés dans la roche en place. Les piliers ont l'avantage de présenter une base stable pour les instruments; le centrage et la lecture des hauteurs d'instruments sont aisés. Mais ils demandent cependant un certain entretien. Les dégâts dus aux intempéries ou à la malveillance sont possibles et leurs mouvements propres doivent être contrôlés. En outre, ils ne sont pas toujours acceptés par les propriétaires des terrains. Les repères scellés directement dans la roche en place ont l'avantage de refléter fidèlement les

mouvements du sol. Ils peuvent être dissimulés facilement et peuvent échapper ainsi à des actes malveillants. Mais le centrage des instruments au-dessus de ces repères est délicat, à moins qu'on ne mesure l'excentrement. La stabilité des trépieds doit être surveillée et la lecture de la hauteur des instruments est plus ou moins aisée, selon le type de trépied utilisé.

Malgré ces désavantages, nous avons choisi de repérer les stations du décrochement de Pontarlier à l'aide de chevilles en bronze scellées dans la roche en place. Ces chevilles ont une longueur de 110 mm et une tête de 27,4 mm de diamètre avec un forage de 16,6 mm. Entre deux périodes de mesure, elles sont protégées par une calotte. Pendant les mesures, on introduit, dans le forage, un cylindre dont la face supérieure comporte un quadrillage millimétrique. Les lignes de ce quadrillage sont orientées selon le système de coordonnées de référence. Au moyen d'un appareil de centrage optique, on peut, à chaque instant, déterminer les écarts en abscisse et en ordonnée de l'axe vertical de l'instrument par rapport au centre de la cheville. En plus, chaque station est assurée par trois repères scellés dans la roche à des distances variant entre 5 m et 60 m. Ces trois repères servent à déterminer d'éventuels mouvements de la cheville par rapport aux environs immédiats de la station, à contrôler le centrage des instruments d'une mesure à l'autre ou, le cas échéant, à reconstruire la station par relèvement sur les trois repères si elle venait à être détruite.

Les mesures

Les premières mesures ont été effectuées en juin 1973. Les distances ont été mesurées à l'aide d'un télémètre électro-optique Mekometer ME 3000 que la maison Kern & Co. SA nous avait mis obligeamment à disposition [4]. Les directions ont été mesurées en quatre séries avec un théodolite DKM2-A [1]. Le centrage des instruments a été contrôlé au moyen d'un appareil de centrage offrant une précision de 1:10000, soit environ $\pm 0,12$ mm pour la hauteur des trépieds utilisés.

Dans le laps de temps d'une année, les repères ne devaient pas avoir subi de mouvements sensibles. Dans ces conditions, il était donc très intéressant de pouvoir comparer deux séries de mesures. Nous avons répété les observations en mai 1974 avec un équipement semblable à celui utilisé en 1973; toutefois, le Mekometer ME3000 n'était pas le même.

Les expériences faites lors des mesures de 1973 ont montré que la stabilité des trépieds doit être contrôlée très souvent et qu'il faut déterminer l'excentrement de l'axe vertical des instruments avant, pendant et après les mesures, bien que les trépieds reposent sur du rocher.

Les directions et les distances ont été réduites au centre de la station, matérialisé par l'origine du réseau de coordonnées formé par le quadrillage du cylindre placé dans le forage du repère de la station. Le tableau 1 résume les caractéristiques des mesures effectuées en 1973 et en 1974.

Le nombre des éléments à disposition pour calculer ces erreurs quadratiques moyennes est forcément restreint pour deux quadrilatères seulement. Les valeurs contenues dans le tableau 1 n'indiquent donc qu'un ordre de grandeur. Mais on peut affirmer que les mesures de 1973 et celles de 1974

Caractéristiques des mesures 1973 et 1974

	1973	1974
Erreur quadratique moyenne d'une direction d'après la compensation de la station (4 séries)	$\pm 1,6^{ee}$	$\pm 1,8^{ee}$
Erreur quadratique moyenne d'une direction, déduite de l'écart de fermeture des triangles	$\pm 1,4^{ee}$	$\pm 1,6^{ee}$
Ecart de fermeture moyen des triangles	2,8 ^{ee}	3,6 ^{ee}
Erreur quadratique moyenne d'une distance mesurée deux fois, déduite des différences aller-retour	$\pm 0,3$ mm	$\pm 0,3$ mm

Tableau 1

ne présentent pas de différence de qualité. Il était donc particulièrement intéressant de comparer les mesures elles-mêmes pour ces deux périodes. Le tableau 2 donne un aperçu de ces différences dans le sens «mesure 1974 moins mesure 1973».

L'erreur quadratique moyenne de la différence entre les valeurs de 1973 et de 1974 d'une direction est de l'ordre de $\pm 2,4^{ee}$. Le tableau 2 montre que le double de cette valeur n'est jamais dépassé. On peut donc admettre que les différences entre les deux périodes de mesures sont purement accidentelles. L'erreur quadratique moyenne de la différence entre les valeurs de 1973 et de 1974 d'une distance est de l'ordre de $\pm 0,4$ mm. Dans trois cas sur douze, les différences atteignent deux fois et demie cette grandeur. On peut donc admettre ici également que les différences entre les distances 1973 et celles de 1974 sont accidentelles et ont un ordre de grandeur de $2 \cdot 10^{-6}$ en moyenne.

Différences «Mesures 1974 moins mesures 1973»

Station	Visée	Directions		
		^{ee}	m	mm
1	2	- 2,0	276	+ 0,6
	3	- 0,3	423	+ 1,1
	4	+ 2,4	583	- 0,1
2	1	+ 2,1		
	3	+ 0,6	238	- 0,5
	4	- 2,7	448	- 1,0
3	1	- 2,9		
	2	- 1,2		
	4	+ 4,2	212	- 0,8
4	1	- 3,5		
	2	- 0,7		
	3	+ 4,1		
5	6	+ 2,6	210	+ 0,3
	7	- 0,2	384	- 0,4
	8	- 2,5	292	+ 1,0
6	5	+ 0,7		
	7	+ 0,2	316	- 0,1
	8	- 1,0	362	+ 0,5
7	5	- 1,1		
	6	+ 2,8		
	8	- 1,6	224	+ 0,3
8	5	- 3,1		
	6	+ 2,8		
	7	+ 0,4		

Tableau 2

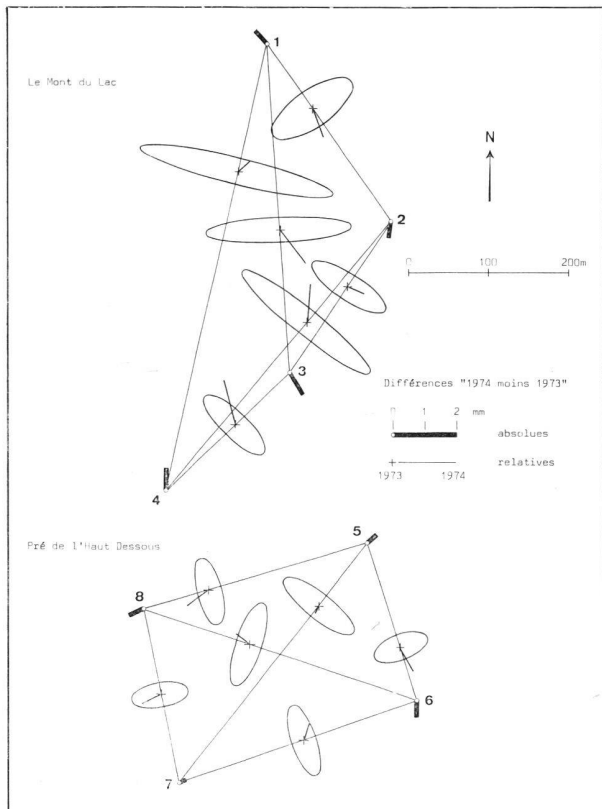


Fig. 2 Différences 1973/74 absolues et relatives ($P_i - P_j, i > j$) et ellipses d'erreur moyenne relatives

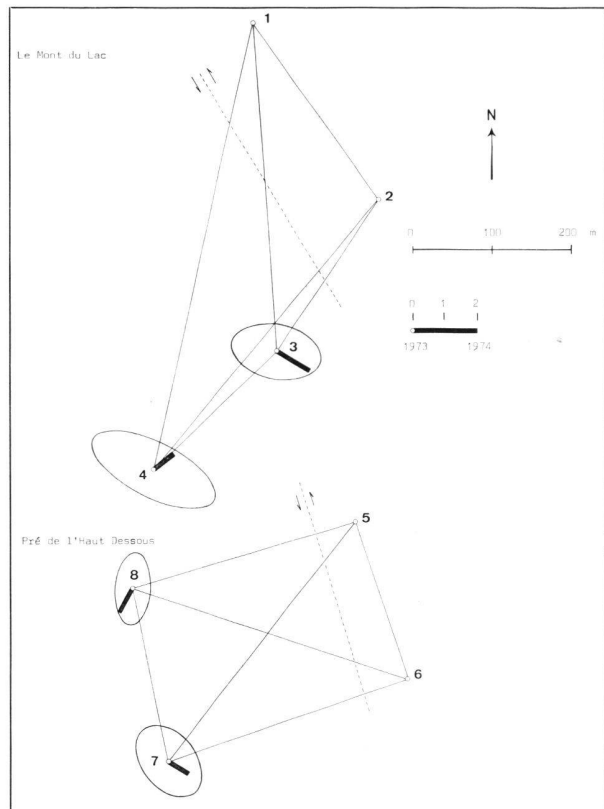


Fig. 3 Différences «1974 moins 1973» et ellipses d'erreur moyenne par rapport à deux points supposés stables. Ellipses calculées pour une sécurité $S = 95\%$

Notons toutefois que les mesures de distances de 1974 ont été mesurées avec un instrument présentant un défaut de compensation de la température et que les observations ont dû être corrigées à l'aide d'un diagramme établi en laboratoire et indiquant la fréquence en fonction de la température.

La précision de la détermination de l'excentrement des instruments peut être contrôlée. Les mesures sont réduites au centre de la station au moyen des valeurs de l'excentrement, obtenues à l'aide de l'appareil de centrage. Les directions vers les repères proches sont également réduites au centre. La différence entre les directions de 1974 et celles de 1973 vers ces repères proches donne une estimation de la qualité de centrage, à condition que les repères n'aient subi aucun déplacement entre les deux périodes de comparaison; nous l'admettons pour la période 1973/74. Cette comparaison nous permet de calculer une erreur quadratique moyenne de centrage de $\pm 0,3$ mm. Ceci est plus grand que ne le laisse

prévoir l'emploi d'un instrument de centrage, mais il faut tenir compte que la réduction au centre des mesures se fait pour une position moyenne des instruments.

Comparaison des coordonnées 1973/74 des stations

Nous voulons connaître, en définitive, les déformations que subissent les quadrilatères au cours des années. Ces déformations peuvent être obtenues en comparant les mesures elles-mêmes. Mais on peut aussi calculer les coordonnées des stations aux différentes époques et comparer ensuite ces coordonnées. Ce calcul a été effectué avec les mesures de 1973, puis avec celles de 1974, par la méthode des variations de coordonnées. Le tableau 3 résume quelques grandeurs caractéristiques des calculs de compensation des quadrilatères pour les mesures de directions et de distances combinées.

Grandeurs caractéristiques des calculs de compensation, directions et distances combinées

	1973		1974	
	A	B	A	B
Erreur quadratique moyenne d'une direction après compensation	$\pm 2,3^{ee}$	$\pm 1,3^{ee}$	$\pm 1,9^{ee}$	$\pm 1,7^{ee}$
Erreur quadratique moyenne d'une distance après compensation	$\pm 0,4$ mm	$\pm 0,3$ mm	$\pm 0,4$ mm	$\pm 0,3$ mm
Erreurs résiduelles maximums				
- directions	$+ 2,9^{ee}$	$- 1,6^{ee}$	$- 2,5^{ee}$	$- 2,2^{ee}$
- distances	$- 0,4$ mm	$+ 0,3$ mm	$- 0,4$ mm	$+ 0,4$ mm
Mesures surabondantes	9	9	9	9

Tableau 3 A = Région Le Mont-du-Lac B = Région Pré-de-l'Haut-Dessous

La différence entre les erreurs quadratiques moyennes d'une direction après compensation paraît assez grande pour 1973 entre les régions A et B. Elle n'est cependant significative qu'à partir d'un niveau légèrement supérieur à $\alpha = 5\%$. Elle ne l'est pas au niveau $\alpha = 1\%$. Dans l'ensemble, les valeurs contenues dans le tableau 3 concordent bien avec celles du tableau 1.

Nous avons calculé différentes variantes: réseau avec directions et distances, distances seules, directions seules. Vu le nombre restreint des mesures surabondantes des deux dernières variantes, les résultats ont peu de valeur. Mais il est intéressant de constater que les écarts moyens entre les positions des stations en 1973 et en 1974 sont de 0,5 mm pour le calcul avec directions et distances, de 0,4 mm pour les distances seules et de 0,8 mm pour les directions seules.

La figure 2 montre les différences absolues entre la position des stations en 1973 et celle en 1974, ainsi que les différences relatives entre les stations. Les demi-axes des ellipses d'erreur moyenne relatives ont pour valeurs:

$$\text{demi grand axe A} = \sqrt{A^2_{1973} + A^2_{1974}}$$

$$\text{demi petit axe B} = \sqrt{B^2_{1973} + B^2_{1974}}$$

Les différences entre les positions des stations en 1973 et celles en 1974 nous renseignent sur la précision des mesures, puisqu'on peut admettre que dans un laps de temps d'une année, les stations n'ont pas subi de déplacements sensibles. Mais il est également intéressant de connaître à partir de quelle grandeur un déplacement peut être décelé avec une sécurité donnée. Pour ce calcul, nous avons admis que les points situés d'un même côté de la faille conserveront une position relative inchangée au cours des années. On peut ainsi calculer les ellipses d'erreur moyenne des points situés de l'autre côté de la faille, par rapport aux deux stations supposées stables, pour une sécurité de 95%, par exemple. La figure 3 montre ces ellipses ainsi que la position des stations en 1973 et en 1974. Si l'hypothèse d'un mouvement

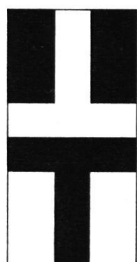
des stations par paire se confirme (ce qui est à contrôler par des mesures futures), il faut que les mouvements relatifs des paires de points atteignent au moins 1,3 mm pour la région Pré-de-l'Haut-Dessous et 2 mm pour Le Mont-du-Lac. Pour une sécurité de 99%, nous aurions 1,8 mm, respectivement 2,7 mm.

Conclusion

Les mesures effectuées en 1973 et en 1974 dans deux quadrilatères où les distances entre les stations atteignent en moyenne 298 m et 363 m présentent des différences de l'ordre de $2 \cdot 10^{-6}$ pour les distances et de $3 \cdot 10^{-6}$ pour les directions. L'emploi de trépieds pour effectuer des mesures de précision semble donc tout à fait possible, en prenant certaines précautions. Afin de diminuer les risques d'erreurs systématiques dues aux conditions météorologiques du moment, il faudrait répéter les mesures à une autre époque de l'année, dans des conditions différentes. Un équipement équivalent à celui utilisé en 1973 et en 1974 permettra, dans dix ans, d'obtenir des résultats significatifs sur les mouvements dans la région du décrochement de Vallorbe-Pontarlier.

Bibliographie

- [1] *H. Äschlimann*: Der neue Sekundentheodolit Kern DKM 2-A. Revue Mensuration, Photogrammétrie, Génie rural, 1-72.
- [2] *D. Aubert*: Le décrochement de Pontarlier et l'orogénèse du Jura. Mémoires de la Société vaudoise des Sciences naturelles, N° 76, vol. 12, fasc. 4, 1959.
- [3] *W. Fischer*: Rezente Erdkrustenbewegungen in der Schweiz. Mitteilungsblatt Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, 5-74.
- [4] *K.D. Froome*: Mekometer III: EDM with sub-millimeter resolution. Survey Review, N° 161, 1971, Vol. XXI.



Ed. Truninger

Inhaber H. Hauri-Truninger
 Telefon 01 / 23 16 40
 Uraniastraße 9
 8001 Zürich

Reproduktion
 von Grundbuchplänen

Lichtpausen

Plandruck

Xeroxkopien
 von Plänen 1:1 und red.

Offsetdruck