

**Zeitschrift:** Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

**Herausgeber:** Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

**Band:** 90 (1992)

**Heft:** 10

**Artikel:** La combinaison de mesures terrestres et par satellite dans les réseaux planimétriques

**Autor:** Carosio, A.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-234867>

### **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:** 17.03.2025

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

## Anmerkungen:

- [1] Ambiguität ist ein Synonym für Mehrdeutigkeit und stammt vom englischen Ausdruck Ambiguity.
- [2] RDOP: «Relativ Dilution of Precision» ein quasi über die Beobachtungszeit aufintegriertes und auf 60 Sekunden normalisiertes a priori Genauigkeitsmass (Einheit: m/Zyklus).

## Literaturverzeichnis:

Eidgenössische Vermessungsdirektion, Bundesamt für Landestopographie (1990): Richtlinien für die Bestimmung von Lagefixpunkten mittels GPS in der amtlichen Vermessung.

Kofmel D. (1992): Die GPS-Testkampagne durchgeführt vom Vermessungsamt der Stadt Zürich (interner Bericht).

## Adresse des Verfassers:

Daniel Kofmel  
dip. Ing. ETH  
Volkswirtschaftsdepartement  
des Kantons St. Gallen  
Moosbruggrasse 11  
CH-9001 St. Gallen

# La combinaison de mesures terrestres et par satellite dans les réseaux planimétriques

A. Carosio

**Les mesures de position grâce aux satellites du système GPS caractérisent toujours davantage la géodésie moderne. Les méthodes traditionnelles n'en disparaîtront pas pour autant: combinées aux mesures par satellite, elles sont toujours nécessaires. La méthode des séries de coordonnées est particulièrement indiquée pour les travaux courants, dont la planimétrie et l'altimétrie sont traitées séparément.**

**Die heutige Geodäsie ist je länger je mehr durch das Positionierungssystem GPS geprägt. Trotzdem werden die anderen Messverfahren nicht verschwinden: Kombinationen von Satellitenbeobachtungen und terrestrischen Messungen sind immer notwendig. Die Methode der Koordinatensätze ist besonders geeignet für die normalen Arbeiten, die am besten getrennt in Lage und Höhe berechnet werden.**

## Révolution ou évolution?

Les techniques géodésiques ont subi de profonds changements depuis la mise en service du système GPS NAVSTAR, lesquels seront d'autant plus visibles que le nombre de satellites en orbite aura atteint le nombre total initialement prévu et qu'une grande partie des géomètres se sera équipé de récepteurs. Ces transformations dans nos techniques de travail, bien que notables, ne constituent pas un bouleversement total de nos méthodes. Il s'agit plutôt d'une évolution des techniques très semblable à celle de la fin des années soixante, consécutive à l'apparition de la mesure électronique des distances.

Plusieurs raisons incitent à prévoir que les mesures GPS devront être intégrées aux mesures traditionnelles et ceci pendant de nombreuses années encore:

- Les mesures GPS sont uniquement possibles en terrain découvert et donc pas nécessairement là où les points sont requis.
- Les rattachements, les levés de points inaccessibles, les mesures entre les bâtiments etc. se font à l'aide de mesures de directions et de distances.
- Les mesures effectuées par le passé constituent un capital qui ne doit pas être perdu.
- La précision des mesures GPS n'est que relative. Il faut donc continuer à concevoir des réseaux.

Le choix entre les modèles de calcul tridimensionnels ou partagés en planimétrie et altimétrie doit tenir compte des considérations suivantes:

- Le système GPS est tridimensionnel. La précision de l'altimétrie est cependant moins bonne que celle de la planimétrie.

- Les mesures traditionnelles sont normalement faciles à partager en réseau dans le plan et en altimétrie.
- La compensation tridimensionnelle se justifie dans les réseaux étendus dans les trois dimensions et demande beaucoup plus de mesures pour atteindre une fiabilité suffisante.
- Une analyse mathématique de la fiabilité est indispensable pour les calculs à trois dimensions.

Ces raisons sont plus que suffisantes pour suggérer le développement de procédés permettant la combinaison de mesures GPS et de mesures conventionnelles (terrestres) en suivant la conception classique de partager les réseaux et le calcul en planimétrie et altimétrie.

## Stratégies de développement

Pendant les 20 dernières années, beaucoup de temps et d'énergie ont été investis dans le développement de logiciels de traitement des mesures géodésiques! Je me réfère en particulier à la compensation des réseaux, aux analyses statistiques, à la théorie de la fiabilité, etc. Les logiciels actuellement utilisés sont complets et ont atteint un bon niveau de qualité.

Il ne semble pas raisonnable d'abandonner ces logiciels existants, très complexes, pour écrire de nouveaux programmes pour le traitement combiné de mesures GPS et traditionnelles. La composante GPS est encore assez simple pour le moment, on ne dispose en effet que de peu d'expérience.

L'Office fédéral de topographie a par conséquent décidé d'intégrer dans son programme de triangulation LTOP le traitement de mesures GPS pour compléter la bien connue compensation des réseaux géodésiques. Cela a permis d'utiliser un

sauter

Kartographie Leitungskataster Vermessung

Wir übernehmen laufend Zeichnungsaufträge aus den Bereichen:

LEITUNGSKATASTER  
KARTOGRAPHIE  
VERMESSUNG

Vergleichen Sie uns:

- Attraktives Preis-Leistungsverhältnis
- Hochqualifiziertes Personal
- Bedeutender Kundenkreis (seit 1968 aufgebaut)
- Termingerech
- Sicherer Transport

Niederdorfstr. 63  
8001 Zürich  
Tel. 01/252 56 74

Rotbuchstr. 9  
8006 Zürich  
Tel. 01/363 82 83

Oberseestr. 48  
8640 Rapperswil  
Tel. 055/276 246

Das Sauter-Team grüsst



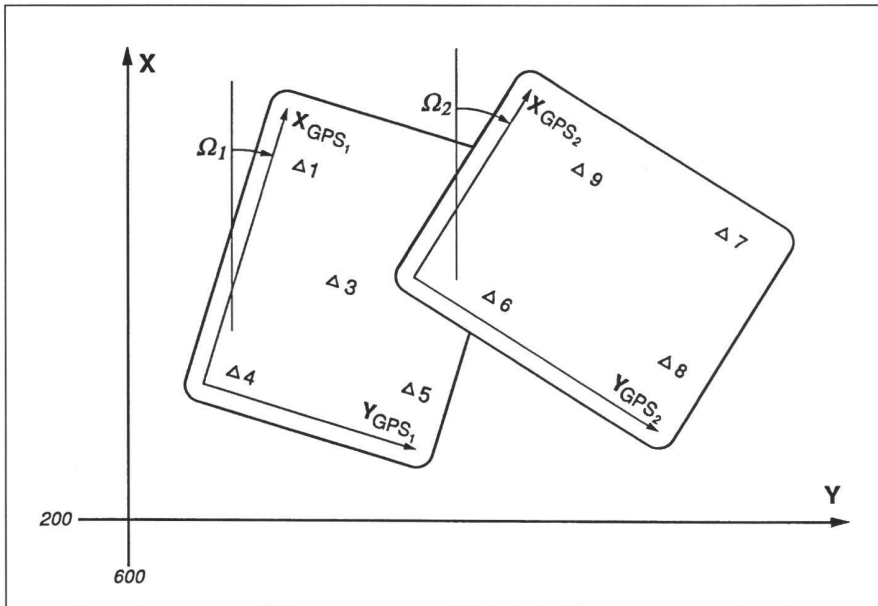


Fig. 3: Les transformations d'un système à l'autre.

### c) Translation (2 paramètres)

Etant donné que l'orientation et l'échelle des systèmes de coordonnées correspondants à des sessions GPS proches dans le temps sont relativement constantes, il est prévu de pouvoir (au choix) utiliser les mêmes inconnues de rotation et/ou d'échelle pour plusieurs sessions GPS successives.

Les fonctions de transformation sont bien connues et peuvent être écrites dans la forme des équations aux observations d'une compensation médiate:

on utilisera une numérotation correspondante en tenant compte du fait que la même inconnue est souvent commune à plusieurs sessions GPS.

Pour réduire les problèmes numériques dans le calcul, les systèmes de coordonnées subissent une translation préalable pour porter les origines dans les environs du centre de gravité des points de la série de coordonnées. Cela est calculé pour les coordonnées soit locales (GPS), soit globales (coordonnées nationales).  $Y_{GPS_S}$ ,  $X_{GPS_S}$ ,  $Y_S$ ,  $X_S$  sont des valeurs proches

$$Y_{GPS_i} + V_{iy} = \Delta Y_* + M_* \cos \Omega_* \cdot Y - M_* \sin \Omega_* \cdot X$$

$$X_{GPS_i} + V_{ix} = \Delta X_* + M_* \sin \Omega_* \cdot Y + M_* \cos \Omega_* \cdot X$$

$X_{GPS_i}$  et  $Y_{GPS_i}$  sont les mesures GPS (i-ème mesure) effectuées au point P (Y, X) et réduites le mieux possible dans le système de projection suisse (il s'agit de coordonnées mesurées dans un système local proche du système des coordonnées nationales).

$V_{ix}$  et  $V_{iy}$  sont les erreurs résiduelles correspondantes.

Y, X sont les coordonnées nationales de la station GPS qui sont des inconnues dans la compensation médiate ou des constantes s'il s'agit de points fixes.

$\Delta Y_*$  et  $\Delta X_*$  sont les paramètres de translation pour le système local.

$\Omega_*$  et  $M_*$  sont les paramètres de rotation et le facteur d'échelle.

L'index \* indique le numéro de l'inconnue correspondante dans la compensation.

Il y aura plusieurs mesures GPS partagées en plusieurs sessions dans la compensation. Dans le cas courant, on aura deux inconnues de translation par session GPS, ce qui signifie que les mesures effectuées lors de la première session auront les paramètres de translation  $\Delta Y_1$  et  $\Delta X_1$ , celles de la 2-ème les paramètres  $\Delta Y_2$  et  $\Delta X_2$ , etc. Pour les rotations et les échelles

du centre de gravité (moyenne) des points de la série correspondante.

$$Y_{GPS_T} = Y_{GPS} - Y_{GPS_S}$$

$$X_{GPS_T} = X_{GPS} - X_{GPS_S}$$

$$Y_T = Y - Y_S$$

$$X_T = X - X_S$$

Après linéarisation, les équations aux observations peuvent être transformées en équations aux erreurs [Burnand 1990].

Ces équations aux erreurs provenant des mesures GPS peuvent être combinées avec n'importe quelles autres équations aux erreurs relatives à d'autres observations (distances, directions etc.). L'ensemble de toutes ces équations (GPS et autres) livre la matrice du système des équations aux erreurs de la compensation médiate qui peut être calculée de la manière habituelle [Dupraz 1986], [Grossmann 1969].

## Langage descriptif du modèle fonctionnel

L'opérateur introduit les coordonnées locales séparées en sessions dans le fichier des mesures. Dans la phase actuelle, les coordonnées locales doivent être préalablement transformées dans le système de projection, par exemple à l'aide du programme VEKTRA [Plazibat, Schaub 1991].

Chaque coordonnée de la session correspond à un enregistrement (ligne) dans le fichier des mesures contenant:

- le type (LY ou LX, c'est-à-dire X-local ou Y-local)
- l'identification du point (nom ou numéro)
- la valeur de la coordonnée mesurée
- éventuellement l'erreur moyenne individuelle de la coordonnée.

Il est prévu dans une prochaine phase de pouvoir introduire directement les coordonnées géocentriques dans le système WGS 84 qui seront identifiées par les types GX, GY, GZ.

Le début d'une série de coordonnées locales doit être signalé avant la première coordonnée par un enregistrement du type SL (série de coordonnées locales). C'est dans cet enregistrement que l'opérateur indique son choix d'inconnues pour les paramètres de la transformation en introduisant un code de quatre caractères dans l'espace réservé au groupe. Cela peut être fait de trois façons différentes selon l'ordre suivant des paramètres utilisables:

1. translation en Y ( $\Delta Y$ )
2. translation en X ( $\Delta X$ )
3. rotation ( $\omega$ )
4. échelle (m)

### a) Indication directe

des paramètres de transformation inconnus (par la numérotation interne du programme).

L'opérateur peut indiquer par exemple que la transformation utilise le 3ème paramètre  $\Delta Y$ , le 3ème  $\Delta X$ , la 5ème rotation et que la transformation n'a pas d'échelle en écrivant <3350> pour le groupe.

# Partie rédactionnelle

$$V_{iy} = \Delta Y_* + \cos \Omega_0 \eta - \sin \Omega_0 \cdot \xi + \frac{B}{1000} m_* - \frac{A}{\rho^{cc}} \omega_* - f_{iy}$$

$$V_{ix} = \Delta X_* + \sin \Omega_0 \eta + \cos \Omega_0 \cdot \xi + \frac{A}{1000} m_* + \frac{B}{\rho^{cc}} \omega_* - f_{ix}$$

$$\text{avec } A = Y_0 \sin \Omega_0 + X_0 \cos \Omega_0$$

$$B = Y_0 \cos \Omega_0 - X_0 \sin \Omega_0$$

$\Omega_0, X_0, Y_0$	sont la rotation et les coordonnées approchées en grades et mètres
$\xi, \eta, \omega$	sont les inconnues réduites (en mm et cc)
m	est la correction d'échelle (en mm/km)
$\Delta X, \Delta Y$	sont les translations inconnues de l'origine en mm
$\rho^{cc}$	est le facteur de transformation $\frac{200\ 00\ 00}{\pi}$ des radians en secondes centésimales
$f_{ix}, f_{iy}$	sont les termes absolus des équations aux erreurs (différence entre la coordonnée GPS mesurée et le résultat obtenu en introduisant les valeurs approchées des inconnues dans les équations d'observation après la translation des systèmes de coordonnées).

Cette méthode ne doit être utilisée qu'en cas d'essais très particuliers.

## b) Indication relative des paramètres de transformation inconnus

Pour chaque paramètre, l'opérateur indique à l'aide d'un code prédéfini, soit l'introduction d'une nouvelle inconnue pour la session considérée, soit l'utilisation de l'inconnue de la session précédente, soit enfin l'absence d'inconnue. Le code consiste en une série de 4 signes choisis entre +, =, 0, -.

Par exemple, «++ ==» signifie que  $\Delta Y$  et  $\Delta X$  sont deux paramètres nouveaux à ajouter à la liste des inconnues alors que la rotation et l'échelle sont les mêmes que pour la session précédente.

Un code «0» ou «-» signifie l'absence de l'inconnue correspondante.

## c) Indication indirecte

Les indications codifiées qui se répètent à chaque session peuvent être établies une fois pour toutes dans les options du programme LTOP en définissant un nom de groupe de quatre lettres ou chiffres avec les codes correspondants selon la règle a) ou b).

Par exemple:

ABC	doit signifier	++++
DDD	doit signifier	++==
ABCD	doit signifier	+++0

Le nom du groupe peut, par la suite, être écrit dans la ligne SL de la session et il a la même signification que le code correspondant.

## Le modèle stochastique

Les solutions habituellement utilisées pour compenser les mesures GPS dans les réseaux mixtes utilisent des vecteurs dans l'espace ou planimétriques (différences de coordonnées) comme observations fictives. Les corrélations mathématiques dues au choix arbitraire de l'origine des

vecteurs sont importantes et doivent être prises en considération.

Le modèle des séries de coordonnées a des caractéristiques bien différentes. Si le nombre de points de la série est  $\leq 5$ , il est toujours possible de réduire la matrice de covariance en forme diagonale avec une transformation similitude quelconque sans modifier la valeur de la série. Pour des séries plus grandes, il est possible d'obtenir une matrice de covariance équivalente avec une somme des carrés des éléments non diagonaux minimale. Il s'agit là d'une généralisation de l'équivalente principale de Helmert selon [Höpcke, 1969].

Il est donc justifié de renoncer au calcul des covariances pour les coordonnées GPS observées. L'estimation des variances (éléments diagonaux) peut se faire sur la base de l'expérience et des indications des constructeurs.

L'introduction du modèle stochastique dans LTOP se fait selon le même schéma que pour les autres mesures et permet d'utiliser des valeurs individuelles ou générales pour les erreurs moyennes selon l'ordre de priorité suivant:

- 1 Indication individuelle de l'erreur moyenne pour chaque coordonnée si nécessaire.
- 2 Indication de l'erreur moyenne valable pour toute une série de coordonnées en l'absence d'indication individuelle.
- 3 Indication de l'erreur moyenne générale pour toutes les autres coordonnées

A											
GPS-KOORD											
-----											
TRANSF. PARAMETER:		DY	=	5.8 +/-	52.4 MM	(	1)				
GRUPPE = (anf.)		DX	=	.7 +/-	52.4 MM	(	1)				
		DREH	=	9999.877 +/-	2.015 CC	(	1)				
		MST	=	-.481 +/-	3.165 PPM	(	1)				
SCHWERPUNKTE:		----- LOKAL -----				----- GLOBAL -----					
		Y	=	27081.0300	Y	=	27251.3223	M			
		X	=	10627.7376	X	=	11054.4717	M			
NR	PUNKT	TYP	NP	OR/BOB.	GR	VERB.	M.F.	ZI	NABLA	WI	GI
				G/M		CC/MM	CC/MM	%	CC/MM		CC/MM
	A										
1		LY		12283.7000		.0	5.0	0**			
2		LX		17920.4700		.0	5.0	0**			
	B		N								
3		LY		10584.6400		.0	5.0	0**			
4		LX		5284.5000		.0	5.0	0**			
	C		N								
5		LY		40883.2300		.0	5.0	0**			
6		LX		20801.9500		.0	5.0	0**			
	D										
7		LY		43131.0000		.0	5.0	0**			
8		LX		6088.2800		.0	5.0	0**			
	E		N								
9		LY		25164.3600		.0	5.0	0**			
10		LX		9597.8200		.0	5.0	0**			
	F		N								
11		LY		30439.2500		.0	5.0	0**			
12		LX		6633.8100		.0	5.0	0**			

Fig. 4: Tableau des «Abriss» de LTOP.



GPS observées pour lesquelles l'indication par série ou individuelle manque.

## La représentation des résultats

Les résultats de la compensation de mesures hétérogènes sont présentés par LTOP de la manière habituelle dans le tableau des «Abriss», dans la liste des coordonnées et avec les indications générales.

### Bibliographie:

T. Burnand: LTOP-GPS, Dokumentation der Programmierung, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie ETHZ 1990, nicht veröffentlichte Manuskripte.

A. Carosio: Intégration des mesures GPS dans les réseaux terrestres avec LTOP. Cours sur la méthode GPS, EPFL, mars 1990.

H. Dupraz: Théorie des erreurs 2, Département de Génie Rural et Géomètres, EPF Lausanne 1986.

W. Grossmann: Grundzüge der Ausgleichsrechnung, Springer 1969.

W. Höpcke: Einige Ergänzungen zur Theorie der Richtungsmessungen, Zeitschrift für Vermessungswesen, 3/69.

M. Plazibat, E. Schaub: VEKTRA, Programmleitung, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETHZ 1991.

Les valeurs compensées des paramètres ( $\Delta Y$ ,  $\Delta X$ ,  $\omega$ ,  $m$ ) de la transformation sont écrits dans les «Abriss» avant chaque série de coordonnées GPS mesurée avec les translations sur les centres de gravité

$$\left(\overline{YGPS} - YGPS_s\right) = \Delta Y + (1+m) \cos\Omega \cdot (Y - Y_s) - (1+m) \sin\Omega \cdot (X - X_s)$$

$$\left(\overline{XGPS} - XGPS_s\right) = \Delta X + (1+m) \sin\Omega \cdot (Y - Y_s) + (1+m) \cos\Omega \cdot (X - X_s)$$

Il est également possible avec les mêmes paramètres de transformation et les translations de calculer la transformation inverse pour passer des coordonnées me-

$$(Y - Y_s) = \frac{1}{1+m} \cos(-\Omega) \cdot (\overline{YGPS} - YGPS_s - \Delta Y) - \frac{1}{1+m} \sin(-\Omega) \cdot (\overline{XGPS} - XGPS_s - \Delta X)$$

$$(X - X_s) = \frac{1}{1+m} \sin(-\Omega) \cdot (\overline{YGPS} - YGPS_s - \Delta Y) + \frac{1}{1+m} \cos(-\Omega) \cdot (\overline{XGPS} - XGPS_s - \Delta X)$$

## Développement et implémentation du logiciel

Le travail d'analyse, de programmation et d'introduction a été effectué en étroite collaboration entre l'Office fédéral de topographie (S+T) et l'Institut de géodésie et de photogrammétrie (IGP) de l'EPFZ avec la contribution du Département militaire fédéral; le travail se base sur un concept formulé par H. Chablais et l'auteur de cet article dans le cadre d'une réunion de coordination en 1989.

C'est Thierry Burnand, ing. diplômé de

approchés correspondants ( $Y_s$ ,  $X_s$ ,  $YGPS_s$ ,  $XGPS_s$ ).

Ces paramètres introduits dans les équations des observations livrent les mesures GPS compensées:

surées aux coordonnées nationales.

Ce qui permet de transformer les points de la série, éventuellement non traités par la compensation:

l'EPFL et assistant à l'IGP de Zurich qui a développé la base mathématique du procédé et introduit le modèle dans LTOP en un laps de temps record, vu l'ampleur du travail.

Adresse de l'auteur:  
Prof. Dr. Alessandro Carosio  
Institut für Geodäsie  
und Photogrammetrie  
ETH-Hönggerberg  
CH-8093 Zürich

## Eine neue Ära in der GPS Vermessung



### WILD GPS – System 200

Das hochintelligente Satellitenvermessungssystem WILD GPS 200 setzt für die Lösung vielfältiger Messaufgaben neue Massstäbe in Bezug auf Genauigkeit, Schnelligkeit, Ergonomie und Wirtschaftlichkeit.

- Modernste Hardwaretechnologie
- Neue hochautomatisierte Softwaregeneration (läuft unter MS Windows 3.0)
- Unterstützt alle GPS Messmethoden
- Die einzigartige "Rapid Static"-Schnellmesstechnik ermöglicht sehr kurze Beobachtungszeiten innerhalb nur weniger Minuten

Anwendungsmöglichkeiten:  
Geodätische Fixpunktnetze, Ingenieurvermessung, Parzellarvermessung etc.

G15/1CH

**Leica AG** Kanalstrasse 21, 8152 Glattbrugg, Tel. 01/809 33 11, Fax 01/810 79 37  
Rue du Lausanne 60, 1020 Renens, Tel. 021/ 635 35 53, Fax 021/634 91 55