

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

Institut für Geodäsie  
und Photogrammetrie

Bericht

**249**

**Mesures gyroscopiques  
et déviation de la verticale**

Olivier Reis

September 1995

**Anmerkung des Herausgebers**

Die Beiträge, die in der Schriftenreihe "Berichte des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie" erscheinen, dienen vor allem dem Unterricht und der Dokumentation. Sie sind deshalb in erster Linie für Mitarbeiter des Instituts und für Studenten bestimmt. Einzelne Hefte können auch einem weiteren Kreis von Interessenten zur Verfügung gestellt werden. Die Auflage ist auf den besonderen Zweck des Heftes abgestimmt.

IGP Bericht Nr. 249

Mesures gyroscopiques et déviation de la verticale

Olivier Reis

© 1995

Institut für Geodäsie und Photogrammetrie  
an der Eidg. Technischen Hochschule Zürich

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 3-906513-70-X

## AVANT - PROPOS

Le projet AlpTransit de nouvelles lignes ferroviaires à travers les Alpes a été à la base d'une intéressante activité de recherche à laquelle nous nous sommes consacrés tout au long des quatre dernières années.

La grande longueur des tunnels prévus et les difficultés en résultant pour une implantation très précise de leur axe ont été au coeur de nos investigations. Les progrès remarquables réalisés ces dernières années dans les techniques de positionnement, grâce particulièrement aux systèmes satellitaires autorisent la détermination des points de référence extérieurs (portails, puits) à une précision élevée, même dans le cas de longues distances. Il en va autrement à l'intérieur des tunnels, où ces nouvelles méthodes ne peuvent pas être utilisées et où, de plus, des variations irrégulières du champ de pesanteur terrestre portent préjudice à la qualité des mesures géodésiques envisagées.

Le présent travail d'Olivier Reis s'attache à étudier les modèles mathématiques à appliquer pour les grands travaux linéaires et souterrains dans le cas de fortes perturbations du champ de gravité. Les mesures exécutées, les variantes calculées et les différents modèles utilisés ouvrent la voie et démontrent que seule la prise en compte concrète de différentes influences permettront aux résultats de satisfaire les exigences de qualité requises.

Le travail montre par ailleurs qu'il est possible, grâce aux bases géodésiques disponibles en Europe et particulièrement en Suisse (MN95, modèle du géoïde, nivellement national, mesures gravimétriques, etc) de réaliser des ouvrages aussi ambitieux que ceux que les chemins de fer suisses (CFF et BLS) ont au programme, même dans les zones les plus défavorables.

Je remercie Olivier Reis pour cet excellent travail qui fournit une contribution importante à la réalisation d'AlpTransit, le projet du siècle pour la Suisse.

Zurich, le 30 août 1995

Alessandro Carosio

## **Sommaire**

	Page
<b>1. Cadre de l'étude</b>	<b>3</b>
1.1 Contexte général	3
1.2 L'étude consacrée à l'influence du champ de pesanteur terrestre sur les gisements gyroscopiques ([4], [5])	3
<b>2. La campagne de mesures de l'été 1994</b>	<b>6</b>
2.1 Enoncé du problème posé au groupe	6
2.2 Commentaire	7
2.3 Difficultés liées au site choisi	7
2.4 Le réseau mis en place	8
2.5 Les mesures effectuées	10
2.5.1 Les mesures GPS	10
2.5.2 Les mesures astronomiques	11
2.5.3 Les mesures conventionnelles	13
2.5.4 Les mesures gyroscopiques	14
<b>3. Méthode d'exploitation des mesures</b>	<b>15</b>
<b>4. Les mesures astronomiques</b>	<b>16</b>
4.1 L'azimut PP3 - PP3an	16
4.2 Obtention des composantes de la déviation de la verticale à partir des mesures astronomiques	17
4.3 Obtention des composantes de la déviation de la verticale à l'aide du modèle de masse	18
4.4 Comparaison des composantes de la déviation de la verticale calculées et déduites de mesures	18
4.5 Dédution de composantes de la déviation de la verticale "mesurées" aux points PP1 et PP7	19
<b>5. Le réseau GPS de référence</b>	<b>20</b>
5.1 Méthode d'exploitation des mesures	20
5.2 Exploitation des lignes de base	20
5.2.1 Principe de calcul	20
5.2.2 Paramétrisation utilisée	21
5.2.3 Exécution des calculs et difficultés rencontrées	22

---

	Page
5.3 Compensation par la méthode des séries de coordonnées	22
5.3.1 Compensations libres	22
5.3.2 Compensations contraintes	22
<b>6. Mesures conventionnelles et gyroscopiques</b>	<b>24</b>
6.1 Contrôle des mesures conventionnelles	24
6.2 Contrôle des mesures gyroscopiques	26
<b>7. Exploitation globale des mesures</b>	<b>26</b>
7.1 Présentation du procédé d'exploitation envisagé	27
7.2 Résultats des calculs et premiers commentaires	28
7.3 Synthèse des 5 calculs effectués	36
<b>8. Conclusion</b>	<b>37</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>39</b>
<b>Annexe 1: Protocole des mesures astronomiques</b>	<b>43</b>
<b>Annexe 2: Fichier des mesures et listage complet du calcul du réseau GPS de référence</b>	<b>61</b>
<b>Annexe 3: Fichier des mesures conventionnelles et gyroscopiques et listage du calcul de contrôle</b>	<b>75</b>

## 1. Cadre de l'étude

L'étude qui fait l'objet du présent rapport est un maillon dans une chaîne de travaux menée depuis plusieurs années par notre groupe. Il convient donc, avant de l'aborder plus en détail, de décrire brièvement le contexte dans lequel elle s'inscrit et les bases sur lesquelles elle s'appuie.

### 1.1 Contexte général

Le projet AlpTransit de nouvelles lignes ferroviaires à travers les Alpes prévoit le percement d'un nouveau tunnel de base du St-Gothard, d'une longueur de 57km. Il s'agit d'un ouvrage d'une ampleur considérable constituant un véritable défi technique, c'est pourquoi une attention toute particulière doit lui être dévolue. Les Chemins de Fer Fédéraux (CFF), maîtres d'oeuvre du projet, ont ainsi décidé de la formation de groupes de travail par disciplines techniques, chacun d'entre eux étudiant, pour son domaine spécifique, les difficultés liées à la réalisation d'un tel ouvrage et les moyens de les surmonter. Un groupe de travail géodésie fut ainsi mis en place, dans le but de fixer le cadre technique et organisationnel dans lequel les travaux topographiques devront s'effectuer. Il a pour cela recensé les travaux à exécuter et étudié les moyens de les mener à bien, localisant ainsi les points critiques requérant un examen plus approfondi. L'étude de ces derniers fut confiée à notre institut du fait de la participation du prof. Dr. A. Carosio au groupe de travail géodésie. Les travaux réalisés et les résultats obtenus sont décrits dans le rapport d'avant-projet rendu public en avril 1994 ([1]), document de base pour la mise au concours des travaux topographiques. Ils concernent pour l'essentiel la vérification et le recalcul du réseau de base mesuré et calculé entre 1971 et 1974 ("Die Ueberprüfung des Gotthardbasisnetzes", O. Reis, rapport IGP No. 224, [2]), le calcul de simulation effectué pour la totalité du tunnel ("Calculs de simulation pour la ligne de base du St-Gothard", O. Reis, rapport IGP No. 231, [3]), ainsi que l'influence du champ de pesanteur terrestre sur les gisements gyroscopiques ("Kreiselazimute in Tunnelnetzen unter Einfluss des Erdschwerefeldes", M. Zanini, R. Stengele, M. Plazibat, rapport IGP No. 214, [4]). Cette dernière étude revêtant une importance toute particulière, il convient d'en rappeler ici les principaux aspects.

### 1.2 L'étude consacrée à l'influence du champ de pesanteur terrestre sur les gisements gyroscopiques ([4], [5])

Elle repose sur la campagne de mesures effectuée à Ambri-Piotta aux abords immédiats des tunnels routiers et ferroviaires actuels du St-Gothard, dans le cadre des travaux pratiques effectués par les élèves-ingénieurs de dernière année en génie rural et mensuration à l'été 1992.

Deux groupes d'étudiants examinèrent l'influence de la déviation de la verticale (angle entre la verticale du lieu et la normale à l'ellipsoïde de référence) sur les gisements gyroscopiques dans le cadre de l'implantation de tunnels de grande longueur. Ils ont ainsi conçu et mesuré deux cheminements polygonaux renforcés par des mesures gyroscopiques simulant des réseaux de tunnel, l'un à ciel ouvert de 8.6km de longueur, l'autre dans le tunnel de service du tunnel routier du St-Gothard de 7.9km de longueur. L'approche d'exploitation des mesures retenue consistait à emprunter la démarche suivante, identique pour les deux cheminements:

- détermination de tout ou partie des points de la polygonale par des mesures indépendantes (GPS, rattachement à un réseau existant,...) pour obtenir des coordonnées de référence.
- calcul du cheminement proprement dit de 4 manières différentes:
  1. - **sans** mesures gyroscopiques et **sans** correction de la déviation de la verticale
  2. - **sans** mesures gyroscopiques et **avec** correction de la déviation de la verticale
  3. - **avec** mesures gyroscopiques et **sans** correction de la déviation de la verticale
  4. - **avec** mesures gyroscopiques et **avec** correction de la déviation de la verticale  
(les composantes de la déviation de la verticale utilisées à cette fin ont toutes été calculées à l'aide du logiciel LAG, basé sur un modèle astro-géodésique du géoïde)
- comparaison de ces 4 déterminations sur la base des critères suivants:
  - test du modèle, précisions à priori-à posteriori pour les différents types de mesures
  - différence de coordonnées aux points communs cheminement-réseau de référence
  - précision de la détermination des coordonnées

Cette comparaison a permis de mettre les points suivants en lumière:

- D'une part le fait évident que le 4<sup>ème</sup> calcul fournit les meilleurs résultats alors que le 3<sup>ème</sup> conduit aux plus mauvais. Qu'il conduise à des résultats faux (différences de coordonnées par rapport à la référence hors tolérance) était moins trivial et montre qu'il est absolument nécessaire de corriger les gisements gyroscopiques de l'influence de la déviation de la verticale en chaque point concerné lorsqu'elle est sujette à de fortes fluctuations.
- D'autre part la confirmation, pour le cas spécifique du réseau du tunnel de service du tunnel routier du St-Gothard, de l'hypothèse selon laquelle les composantes de la déviation de la verticale peuvent également être obtenues pour des points situés sous terre et à une précision suffisante avec le modèle de masse.
- Enfin, que la quantification de l'influence de la déviation de la verticale soit fiable et maîtrisée pour que les gisements gyroscopiques soient utilisés de manière optimale. En effet, dans le processus de correction des mesures pour obtenir des gisements en projection, les autres réductions sont négligeables ou obtenues par des formules de calcul, donc toujours à la précision souhaitée ([5]). La correction de la déviation de la verticale,

permettant de passer d'un azimut astronomique à un azimut géodésique, s'effectue quant à elle à l'aide de la formule de Laplace, selon:

$$A = \alpha - \eta \cdot \tan \varphi - (\xi \cdot \sin \alpha - \eta \cdot \cos \alpha) \cdot \operatorname{ctg} z \quad (1)$$

$$A = \alpha - dA_1 - dA_2 \quad (2)$$

où

$\alpha$	est l'azimut astronomique
$A$	est l'azimut géodésique
$\eta$	est la composante est-ouest de la déviation de la verticale
$\xi$	est la composante nord-sud de la déviation de la verticale
$\varphi$	est la latitude géographique
$z$	est la distance zénithale vers le point visé

Dans le cas d'un tunnel, les visées sont généralement quasiment horizontales et  $\operatorname{ctg} z \approx 0$ , (1) se simplifie donc selon:

$$A \approx \alpha - \eta \cdot \tan \varphi \quad (3)$$

La correction à apporter à l'azimut devient alors indépendante de ce dernier et ne dépend plus que de la composante est-ouest de la déviation de la verticale et de la latitude géographique. En Suisse, celle-ci varie entre  $45^\circ$  et  $48^\circ$ , donc  $1.00 < \tan \varphi < 1.11$ . La correction de la déviation de la verticale est donc de l'ordre de grandeur de sa composante est-ouest, dont les variations dans la zone considérée atteignent une amplitude de  $24''$ . Une connaissance très fine et très précise de cette composante et de ses fluctuations est donc indispensable. Dans le cas d'une détermination par le logiciel LAG, la précision est estimée à  $3''$ .

Si dans le cadre de l'étude qui vient d'être décrite, d'excellents résultats ont pu être obtenus, démontrant l'indéniable apport des mesures gyroscopiques, il n'est pas sûr que tel soit toujours le cas. En effet, les fluctuations auxquelles la correction est sujette peuvent présenter des amplitudes encore supérieures à celles mentionnées précédemment ( $50''$ , voire davantage) dans le cas de régions au relief particulièrement accidenté. La précision de sa détermination revêt alors une importance encore plus grande, car il n'est pas prouvé que la modélisation du géoïde puisse restituer fidèlement toutes ses fluctuations à la précision annoncée de  $3''$ . Cet aspect n'a pas pu être abordé au cours de l'étude de 1992, qui, dans la détermination des composantes de la déviation de la verticale, s'est entièrement fiée au logiciel LAG et à sa précision. C'est pour examiner ce point (validité du modèle du géoïde en zone extrêmement perturbée et influence d'éventuels écarts sur les gisements gyroscopiques et la qualité de leur apport) que l'étude complémentaire qui va à présent être décrite a été décidée et menée.

## 2. La campagne de mesures de l'été 1994

S'agissant d'une étude avant tout expérimentale, il a été procédé d'une manière similaire à ce qui a été fait en 1992, c.-à-d. qu'un groupe d'étudiants a été mis à contribution dans le cadre de la campagne de travaux pratiques qui s'est déroulée au mois d'août 1994 près de Lugano. Après que le problème qui leur a été posé ait été exposé, les difficultés auxquelles ils se sont heurtés en pratique seront brièvement décrites et l'ensemble des mesures effectuées, détaillées.

### 2.1 Enoncé du problème posé au groupe

Le groupe, composé des membres suivants:

Stefan Graf

Ruedi Hüsler

Patrick Inglin

Alex Lütolf

Johannes Schärer

Christian Schmid (participation limitée à la campagne de mesures)

Hubert Zimmermann

et supervisé par l'auteur a eu à résoudre le problème énoncé comme suit:

*Influence de la déviation de la verticale lors de l'implantation de tunnels de grande longueur*

*Les études menées dans le cadre de la campagne de mesures de 1992 ont montré qu'une bonne connaissance de la déviation de la verticale dans une zone aussi perturbée que le massif alpin est une condition indispensable à l'utilisation optimale d'un gyroscope de précision. La réduction des mesures gyroscopiques s'est à l'époque basée sur des composantes de la déviation de la verticale calculées à l'aide du modèle de masse. Une étude plus approfondie de la précision de cette détermination n'a pas été entreprise à cette occasion.*

#### Objet de l'étude:

*Une étude de précision est à mener sur les gisements gyroscopiques dans le secteur du lac de Lugano, où la composante est-ouest de la déviation de la verticale, à laquelle une attention toute particulière doit être dévolue, est soumise à de très fortes fluctuations. A cette fin, les composantes de la déviation de la verticale déterminées à l'aide du modèle de masse sont à comparer à des valeurs issues de mesures astronomiques à effectuer.*

*Pour les gisements gyroscopiques, la correction de l'influence de la déviation de la verticale est absolument nécessaire si l'on veut satisfaire les exigences de précision élevées imposées*

*dans le cadre de l'implantation de tunnels de grande longueur. A cet effet, un réseau de tunnel simulé à ciel ouvert est à mettre en place de sorte que l'influence de composantes de la déviation de la verticale calculées et mesurées puisse être évaluée sur l'ensemble du réseau. Une détermination indépendante du réseau (à l'aide par exemple de la méthode de positionnement par satellites) doit permettre la comparaison de points identiques sous différentes hypothèses de calcul.*

## 2.2 Commentaire

L'énoncé du problème fait davantage que le soulever et le présenter, il trace déjà un chemin à suivre pour le résoudre, en reprenant très largement le canevas de l'étude de 1992 enrichi par la mesure de coordonnées astronomiques en plusieurs points du cheminement.

Certaines difficultés pratiques auxquelles les étudiants ont très vite été confrontés ont cependant été sous-estimées, pour cause d'absence de reconnaissance préalable. En effet, il est suggéré pour la seconde partie de l'étude de mettre un cheminement en place simulant un réseau de tunnel. Or, si le terrain était favorable à la mise en place d'un réseau de tunnel simulé aux abords d'Ambri-Piotta, il en va autrement des rives du lac de Lugano. Ces difficultés liées au site vont à présent être décrites.

## 2.3 Difficultés liées au site choisi

La mise en place d'un réseau polygonal conforme aux exigences à respecter devait tenir compte de nombreux paramètres, pas toujours faciles à concilier, et qui sont:

- les valeurs de la composante est-ouest de la déviation de la verticale, dont l'amplitude maximale est enregistrée entre les rives est et ouest du lac de Lugano (de  $+15''$  sur les flancs de la rive est à  $-40''$  à mi-pente de la rive ouest). Elles imposent d'implanter les points de part et d'autre du lac, donc de donner une forme en zig-zag au cheminement et d'avoir des distances entre points consécutifs de l'ordre de 3 à 4km, caractéristiques plutôt éloignées de celles d'un réseau de tunnel habituel (cheminement tendu, distances inter-points de l'ordre de quelques centaines de mètres).
- La neutralisation du second membre de l'équation de Laplace,  $dA_2$ , ce qui nécessite des visées quasi-horizontales, donc des altitudes similaires (à  $\pm 100$ m près) pour les points du cheminement.
- Les observations astronomiques prévues qui doivent être effectuées de nuit et nécessitent un matériel important. Il est donc préférable pour des raisons à la fois pratiques et de sécurité de localiser les points de telle façon qu'ils soient faciles d'accès.
- Le relief et la densité de la végétation aux abords du lac de Lugano. Ils constituent une contrainte sévère dans le choix des points.

La géométrie du réseau, dont la présentation fera l'objet du prochain paragraphe, s'est donc déduite de tous ces facteurs limitatifs. Elle est très éloignée de la configuration d'un réseau de tunnel classique, condition qu'il a été impossible de respecter. Le réseau mis en place présente toutefois toutes les caractéristiques requises pour résoudre les problèmes posés. Que le cheminement ne présente pas la configuration escomptée ne permet pas de mesurer directement l'impact sur un réseau de tunnel d'éventuels écarts entre composantes de la déviation de la verticale calculées et déduites de mesures, mais ne porte en rien préjudice à l'étude. Les conclusions qui pourront en être déduites pourront s'appliquer à n'importe quel réseau.

## 2.4 Le réseau mis en place

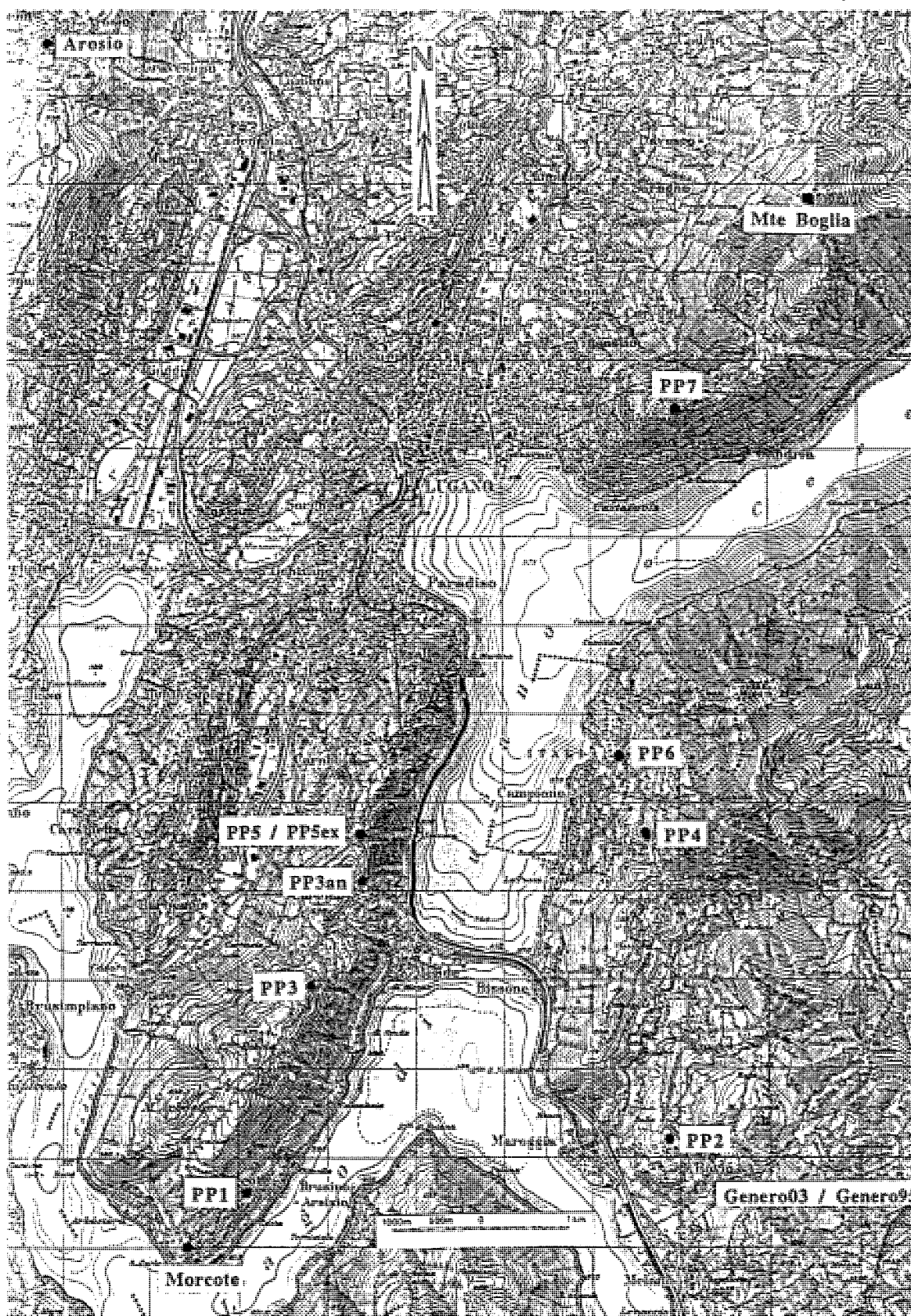
Il est représenté page suivante à la figure 1 et se compose de 7 points polygonaux (PP1 à PP7) et de 5 points de rattachement (Morcote, Genero03 et Genero95, Mte Boglia et Arosio). Les points Morcote, Genero95, Mte Boglia et Arosio ont été déterminés dans le cadre d'une campagne de mesures GPS effectuée début août par les étudiants et rattachée à la nouvelle mensuration nationale (MN95). Le point Genero03 est un point de triangulation de second ordre (pyramide au sommet du Monte Generoso) sur lequel il sera revenu ultérieurement, ses coordonnées ayant été sujettes à caution.

Les 5 points PP2 à PP6 ont fait l'objet de mesures astronomiques (l'échantillonnage ainsi défini est certes limité, mais le temps imparti l'était tout autant, il a donc fallu composer) et de mesures gyroscopiques.

Un point auxiliaire, PP3a puis PP3an déplacé pour des raisons de stabilité, a été défini à environ 1km du point PP3, sur la même rive du lac. PP3 - PP3an a servi de base d'étalonnage aux mesures gyroscopiques, déterminée par un azimut astronomique.

Etant donné la précarité de la position du point PP5 (menacé par des travaux), un excentré, PP5ex, a été mesuré pour garantir la pérennité de ce point.

Tous les points représentés, Mte Boglia et Genero03 exceptés, ont été intégrés à la campagne GPS, définition indépendante des coordonnées de tous les points.



(Reproduit avec l'autorisation de l'Office Fédéral de Topographie du 30.08.1995)

Fig. - 1: plan de situation du réseau

## 2.5 Les mesures effectuées

Elles peuvent être subdivisées en 4 groupes distincts, qui sont:

- 1 Les mesures GPS pour le réseau de référence.
- 2 Les mesures astronomiques requises par le test du modèle de masse puis nécessaires à la correction des gisements gyroscopiques de l'influence de la déviation de la verticale.
- 3 Les mesures conventionnelles (directions et distances) servant à calculer le cheminement.
- 4 Les mesures gyroscopiques renforçant le cheminement polygonal et support de l'étude sur les composantes de la déviation de la verticale, mesurées et modélisées.

### 2.5.1 Les mesures GPS

La planification de la campagne de mesures a tenu compte de plusieurs facteurs:

- la préexistence d'un réseau-cadre de haute précision (millimétrique) à l'intérieur duquel notre réseau pouvait venir s'insérer, en s'appuyant sur les points Morcote, Genero95 et Arosio de ce dernier (cf. aussi § 2.4.).
- La topographie locale autour des points en lesquels des observations étaient prévues, en particulier la visibilité vers les satellites et les obstacles à celle-ci.
- La constellation des satellites le jour prévu de la mesure qu'il est possible d'obtenir à l'aide du logiciel d'exploitation SKI de Leica. Le nombre et la répartition des satellites sur l'horizon permettent de déterminer la fenêtre la plus favorable pour la mesure. L'indicateur GDOP (Global Dilution Of Precision) fournit de ce point de vue une indication précieuse quant à la qualité de la géométrie des satellites, pour peu que quatre d'entre eux au moins soient visibles.

L'ensemble de ces considérations nous a conduit à mettre le dispositif de mesure suivant en place pour la journée du 9 août 1994, prévoyant une double détermination de chaque point nouveau du réseau (PP1 à PP7 et PP3a), ce qui en garantit ainsi la fiabilité:

Session et horaire	Point stationné 1ère équipe	Point stationné 2ème équipe	Point stationné 3ème équipe	Point stationné 4ème équipe	Point stationné 5ème équipe
1. 600 - 700	Arosio	PP7	PP3	PP5	PP6
2. 730 - 830	Arosio	PP7	PP3	PP5	PP6
3. 845 - 1015	-	-	PP3	PP5	-
4. 1030 - 1130	PP2	PP1	PP3	PP5	-
5. 1145 - 1245	PP2	PP1	-	-	-
6. 1300 - 1400	PP2	PP1	PP4	Morcote	Genero95
7. 1415 - 1445	PP2	-	PP4	Morcote	Genero95
8. 1500 - 1600	PP2	PP3a	PP4	Morcote	Genero95
9. 1615 - 1715	PP2	PP3a	PP4	Morcote	Genero95

Une première exploitation de cette campagne de mesures a permis de mettre quelques faiblesses du dispositif en lumière, notamment dans la partie centrale du réseau. Elles étaient dues aux caractéristiques locales de la topographie, plus spécifiquement aux flancs de la montagne qui réduisaient en deçà de ce qui était nécessaire le nombre de satellites visibles simultanément depuis les rives est et ouest du lac de Lugano. Une seconde campagne de mesure a donc été prévue pour y remédier. Elle eut lieu le 16 août 1994 entre 1900 et 2200, intervalle de temps au cours duquel les points PP3, PP3an, PP4, PP5 et PP6 ont été stationnés.

Il est à noter que le point PP3an est venu remplacer le point PP3a, insuffisamment stable (cf. §2.4). La première mesure effectuée sur celui-ci est de ce fait caduque, ce qui signifie donc que la détermination de ce point n'est pas contrôlée, laquelle n'est en fait destinée qu'à doubler la mesure astronomique de l'azimut PP3 - PP3an.

Le calcul complémentaire mené à la suite de cette seconde campagne a fourni des résultats provisoires tout à fait satisfaisants et conformes aux attentes, particulièrement au niveau de la précision atteinte, lesquels feront l'objet d'un développement complet au § 5.

Les deux campagnes de mesures ont été effectuées à l'aide de 5 instruments Leica Sytem 200, composés du récepteur SR299 et de l'ordinateur de terrain CR233, utilisés à chaque fois en mode statique.

### 2.5.2 *Les mesures astronomiques*

Deux types de mesures ont été effectués:

- des déterminations de coordonnées astronomiques aux points PP2 à PP6, en utilisant la méthode des droites de hauteur. Les composantes ( $\eta$ ,  $\xi$ ) de la déviation de la verticale au point considéré se déduisent alors de la comparaison des coordonnées astronomiques ( $\varphi_A$ ,  $\lambda_A$ ) ainsi obtenues avec leurs homologues géodésiques ( $\varphi_G$ ,  $\lambda_G$ ) à l'aide des formules:

$$\varphi_A - \varphi_G = \xi \quad (4)$$

$$(\lambda_A - \lambda_G) \cdot \cos \varphi = \eta \quad (5)$$

- Une mesure de l'azimut astronomique PP3 - PP3an servant de référence pour l'étalonnage des gisements gyroscopiques.

Ces deux types de déterminations ont pu être effectuées à l'aide du même dispositif de mesure. Celui-ci a été mis à notre disposition par le groupe de géodésie et de géodynamique, lequel en la personne du Dr. Beat Bürki en est le concepteur.

L'élément central de ce système est constitué par le Time Digitizing Unit, permettant d'avoir une détermination de l'heure avec une précision de l'ordre de quelques millisecondes. Cet instrument, développé en collaboration avec la firme Leica Heerbrugg est couplé à un théodolite électronique (dans notre cas un Leica E2) et les deux sont reliés à un ordinateur de terrain, où, en fonction des grandeurs recherchées, le logiciel adéquat permet de traiter les observations pour obtenir les résultats escomptés avec une précision de 1 à 2". Le dispositif de mesure mis en oeuvre est représenté ci-dessous à la figure 2.

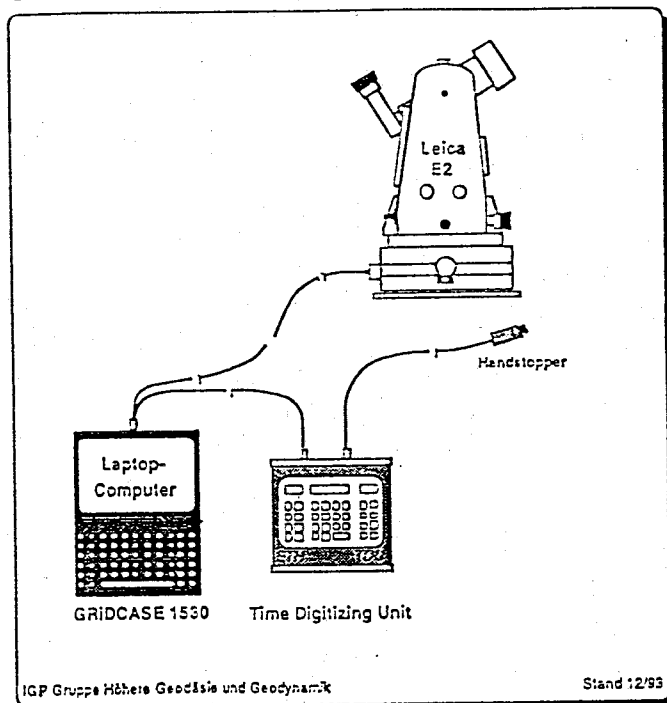


Fig. - 2: schéma du dispositif utilisé pour les mesures astronomiques

Le logiciel ICARUS a été utilisé dans la détermination des coordonnées astronomiques, le logiciel AZIMUT, comme son nom l'indique dans celle de l'azimut. De plus, un catalogue d'étoiles très complet permet de disposer d'une vaste palette de possibilités dans le choix de celles-ci.

Une formation à l'utilisation de ce matériel a été dispensée dans la première semaine du cours par le Dr. Beat Bürki, que je tiens ici à remercier de son aide et de sa constante disponibilité, qui a permis aux étudiants de mener la campagne de mesures astronomiques de façon autonome. Les conditions climatiques défavorables (ciel couvert) et certaines difficultés dans la mise en oeuvre du matériel ont conduit le groupe à spécialiser deux de ses membres (J. Schärer et S. Graf) qui après plusieurs jours d'attente passés à éplucher les bulletins météorologiques et à scruter le ciel ont pu effectuer la totalité des mesures en trois nuits d'observations, les 11, 12 et 14 août 1994. Il est à noter qu'au cours de cette dernière nuit, un point

supplémentaire a été observé, Cadepiano, dont les coordonnées sont connues avec une très grande précision. Il a servi à la détermination de l'équation personnelle de chacun, c.-à-d. sa manière propre d'estimer la coïncidence du réticule et de l'étoile à l'instant de son passage. Les mesures effectuées ont ensuite été réduites de cette correction, différente pour chacun des observateurs, ainsi que de la correction du mouvement du pôle.

### 2.5.3 Les mesures conventionnelles

Elles n'ont pour unique fonction que de déterminer les points PP1 à PP7 du cheminement polygonal, rattaché au sud (en PP1) aux points fixes Morcote et Genero03 et au nord (en PP7) aux points fixes Mte Boglia et Genero03.

En chaque point stationné, de PP1 à PP7, directions, distances et angles verticaux (pour la réduction des distances) vers le point précédent et le point suivant du cheminement ont été mesurés. A chaque fois que cela était possible, les points fixes, en particulier Genero03, ont été visés pour contrôle, ce qui par la suite a causé quelques embarras. Les instruments suivants ont été utilisés, les précisions étant celles fournies par le constructeur:

directions	Leica T3000	$\sigma = \pm 1.5''$
angles verticaux	Leica T3000	$\sigma = \pm 1.5''$
distances	Leica DI3002 DIOR	$\sigma = \pm 5\text{mm} + 1\text{ppm}$

Le centrage des instruments a été effectué au plomb optique, à une précision de l'ordre du millimètre. Le DIOR permet la mesure de courtes distances (jusqu'à 250m) sans utilisation de réflecteurs. Si toutefois les distances à mesurer dépassent cette valeur, ces derniers sont à utiliser et une constante d'addition de -35mm est à prendre en considération. Vu l'éloignement important entre points consécutifs du réseau, l'emploi de réflecteurs à prismes multiples (3 et 11) a été nécessaire. La saisie des mesures a eu lieu à l'aide du logiciel TRIGO, développé à notre institut et installé sur des ordinateurs de terrain Husky Hunter 16 reliés aux instruments.

Pour les directions, un minimum de 3 tours d'horizon a été observé par station, à l'issue desquels l'écart type a été calculé; en cas de valeur inférieure à 3'', les mesures ont été considérées comme étant acceptables, sinon un tour d'horizon supplémentaire a été observé et le calcul réitéré jusqu'au respect du seuil fixé. Il a été procédé de manière similaire pour les angles verticaux, où le seuil fixé était de 10''. Les distances, quant à elles, ont été mesurées en aller et retour, ce qui ne permet pas de contrôle immédiat. Une base d'étalonnage des distances a par ailleurs été mise en place aux abords de l'aérodrome de Lugano - Agno, dont les valeurs

effectives de la constante d'addition ( $-33\text{mm} \pm 1\text{mm}$ ) et du facteur d'échelle ( $-4\text{mm} \pm 2\text{mm}$ ) de l'instrument utilisé ont été déduites.

La campagne de mesures a eu lieu les 3 et 4 août 1994, de l'aube au crépuscule, avec une longue pause entre 10h et 16h pour cause de réverbération trop importante. Les visées est - ouest ont été effectuées le matin, les visées ouest - est le soir.

#### 2.5.4 Les mesures gyroscopiques

Notre institut dispose d'un gyroscope Gyromat 2000 de la Deutsche Montan Technologie (cf. fig. 3), Bochum avec lequel les observations devaient être conduites.

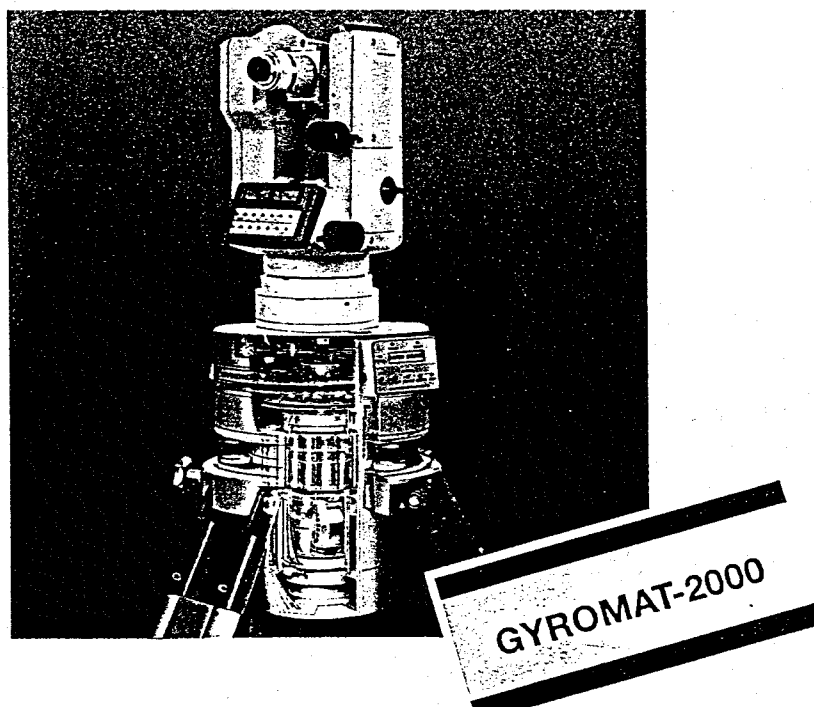


Fig. - 3: Le Gyromat 2000 fixement relié au Leica T1600 (notre configuration)

Malheureusement, les quelques tentatives de mesure effectuées au cours de la campagne estivale nous ont rapidement convaincus de la défectuosité de l'instrument. La présente étude se basant largement sur ces mesures, une campagne séparée a été menée ultérieurement, du 27 au 29 septembre 1994, après que l'instrument réparé nous ait été retourné par le constructeur. Elle a été conduite par l'auteur, P. Inglin, membre du groupe d'étudiants et J. Fenner, responsable du matériel à l'IGP.

Les mesures effectuées consistent en un cheminement complet, de PP2 à PP6, pour lequel toutes les directions ont été déterminées de manière indépendante, c.-à-d. par exemple que les observations de PP3 vers PP2 sont totalement découplées de celles de PP3 vers PP4. En outre, des observations de la base d'étalonnage PP3 - PP3an ont été effectuées journalièrement.

Un minimum de 3 mesures a été réalisé en chaque point. Si le degré de concordance des 3 valeurs obtenues était jugé insuffisant (écart entre les valeurs extrêmes supérieur à  $3\sigma$ , soit  $21''$ , l'écart type fourni par le constructeur étant de  $7''$ ), des mesures complémentaires étaient effectuées jusqu'à un maximum de 5, pour des raisons de temps, ce qui fait que l'écart type dépasse  $7''$  en plus d'une station.

Chaque mesure se compose d'une détermination du nord géographique à l'aide du gyroscope et de 2 déterminations de la direction à l'aide du théodolite (dans les 2 positions de la lunette).

La stabilité du point PP5 n'étant plus garantie, le point PP5ex a été utilisé. La liaison PP5 - PP5ex avait été mesurée au mois d'août 1994.

### 3. Méthode d'exploitation des mesures

Après que les difficultés inhérentes au site et la totalité des mesures effectivement exécutées aient été présentées, de même que les problèmes qu'elles nous ont contraint à surmonter, il convient de s'interroger sur la méthode la plus efficace et la plus appropriée pour exploiter au mieux toutes ces données, compte-tenu des modifications intervenues et des objectifs poursuivis.

Le premier d'entre eux consiste à comparer les composantes de la déviation de la verticale calculées et déduites de mesures aux points PP2 à PP6, d'examiner les écarts et d'en tirer les conclusions qui s'imposent. Cet examen fait l'objet du chapitre 4.

L'exploitation de la campagne de mesures GPS est un autre fait incontournable. Elle permet de s'assurer de la qualité des mesures effectuées et fournit des coordonnées de référence à tous les points, ce dernier aspect perdant de son importance dans le schéma d'exploitation prévu. Ce point sera abordé au chapitre 5.

Dans le même ordre d'idées, les mesures terrestres devront faire l'objet d'un examen destiné à éliminer toutes les erreurs qu'elles sont encore susceptibles de receler. En particulier, point déjà effleuré, les coordonnées à disposition pour le point Genero03 qui contribuent à fragiliser le réseau, puisqu'ainsi des visées de rattachement sont mises en doute. Lorsqu'alors les mesures terrestres auront été épurées, l'ensemble des gisements gyroscopiques pourront leur être adjoints, pris séparément et non moyennés, pour là également éliminer les erreurs encore éventuellement présentes. Le logiciel LTOP dispose de ce point de vue de potentialités intéressantes, car toutes les étapes de réduction en vue d'obtenir des gisements en projection peuvent être effectuées automatiquement, pour peu qu'on lui fournisse les informations nécessaires. Ceci permet une grande souplesse dans l'analyse. Ces développements feront l'objet du chapitre 6.

Le chapitre 7 enfin rassemblera l'ensemble des données ainsi tamisées pour les exploiter dans le cadre de plusieurs compensations planimétriques globales se différenciant les unes des autres par la prise en compte ou non de composantes de la déviation de la verticale calculées ou déduites de

mesures et par l'incorporation ou non de gisements gyroscopiques. Sur le fond, le principe d'exploitation est similaire à ce qui avait été réalisé dans le cadre de la campagne de l'été 1992, dans la forme, certaines différences sont à noter. La plus importante est le rôle accru joué par les mesures GPS: elles ne sont pas uniquement considérées comme une référence extérieure mais participent activement au calcul. Elles permettent de libérer le point PP1, d'intégrer la totalité des mesures gyroscopiques sélectionnées au calcul, base d'étalonnage comprise, sans pour autant fixer PP3an donc en contraignant moins ces mesures (grâce aussi à l'apport d'une inconnue d'orientation pour les gisements gyroscopiques) et surtout de comparer directement chaque variante à la référence. Ces dernières pouvant, et même devant, être comparées les unes aux autres pour que des conclusions relatives à l'influence des composantes de la déviation de la verticale puissent en être tirées.

Cet objectif sera atteint en dédoublant les points PP2 à PP7 (PP=points polygonaux, GP=points GPS) en fonction des mesures qui servent à les déterminer et en calculant les ellipses d'erreur relatives entre ces points (ex.: entre PP5 et GP5). PP7 est l'extrémité libre du cheminement.

Maintenant que le principe a été exposé, passons à sa mise en application, en commençant par l'exploitation des mesures astronomiques.

#### 4. Les mesures astronomiques

Dans le cadre des travaux de diplôme qui concluent leur formation, les étudiants du groupe se sont partagé le travail d'exploitation des données, celle des mesures astronomiques étant confiée à Johannes Schärer. Le présent chapitre s'appuie sur ses résultats [6].

Il a déjà été mentionné au §2.5.2 que 2 types de mesures ont été effectuées, une détermination de l'azimut astronomique de la base d'étalonnage PP3 - PP3an pour les mesures gyroscopiques et des déterminations de coordonnées astronomiques aux points PP2 à PP6 du cheminement, à partir desquelles seront calculées les composantes de la déviation de la verticale à comparer à celles issues du modèle de masse. L'exploitation de ces 2 familles de mesures va faire l'objet du présent chapitre, les principaux résultats des mesures terrain pouvant être trouvés à l'annexe 1.

##### 4.1 L'azimut PP3 - PP3an

La mesure astronomique de cet azimut a fourni une valeur de 31.2495g, à une précision de 5<sup>cc</sup>. Les deux points PP3 et PP3an ayant été intégrés à la campagne GPS (qui sera abordée au §5 et sur laquelle il est anticipé ici), il a été possible d'en avoir ainsi une seconde détermination indépendante qui confirme la première valeur à la seconde près, et à une précision de 3<sup>cc</sup>, après que les corrections nécessaires lui aient été apportées. La parfaite concordance de ces 2 valeurs en fait donc une base très fiable pour l'étalonnage des mesures gyroscopiques.

## 4.2 Obtention des composantes de la déviation de la verticale à partir des mesures astronomiques

Les mesures astronomiques ont été effectuées à une précision de l'ordre de  $1''$  et ont permis d'obtenir la latitude et la longitude des points PP2 à PP6 à une précision de l'ordre de  $2''$ . Cette valeur est issue de la combinaison de 2 éléments, la précision de la mesure elle-même et la précision de la mesure effectuée à Cadepiano. Comme déjà mentionné au §2.5.2, celle-ci était destinée à déterminer l'équation personnelle de chaque observateur, ce qu'elle permet par comparaison avec les coordonnées astronomiques dudit point. Elle permet par la même occasion de s'affranchir d'erreurs systématiques, au premier rang desquelles la réfraction. Les coordonnées astronomiques obtenues et géodésiques connues des 5 points et les valeurs de Cadepiano, dont les coordonnées précitées ont déjà été corrigées, figurent ci-dessous:

Point	Coordonnées astro. mesurées (°, ', ")		Coordonnées géodésiques (°, ', ")	
	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude
PP2	45 55 46.5	8 58 48.1	45 56 09.8	8 59 04.9
PP3	45 56 47.6	8 56 07.1	45 57 08.9	8 56 06.9
PP4	45 57 38.6	8 58 41.0	45 58 00.9	8 58 58.3
PP5	45 57 38.5	8 56 31.5	45 58 03.8	8 56 29.1
PP6	45 58 10.1	8 58 27.9	45 58 28.8	8 58 45.9
			Coordonnées astro. vraies (°, ', ")	
p338 sg	45 57 17.4	8 55 19.5	45 57 16.4	8 55 21.2
p338 js	45 57 18.8	8 55 19.9	45 57 16.4	8 55 21.2

Il est dès lors possible d'en déduire les composantes de la déviation de la verticale par application des formules rappelées au §2.5.2, à compléter par une correction supplémentaire; en effet, les valeurs calculées se réfèrent au nord géographique, alors que les composantes à utiliser ultérieurement dans la réduction des mesures gyroscopiques sont à référer au nord cartographique; les formules employées, en usage dans le logiciel LAG, ne sont pas rappelées ici. Les composantes ainsi obtenues sont rassemblées dans le tableau suivant:

Point	$\xi$ (°)	$\eta$ (°)
PP2	-71.1	-37.4
PP3	-66.0	12.5
PP4	-68.1	-38.4
PP5	-78.0	3.7
PP6	-56.9	-39.7

#### 4.3 Obtention des composantes de la déviation de la verticale à l'aide du modèle de masse

La Suisse dispose d'un modèle astro-géodésique du géoïde depuis 1978 [7], fournissant, entre autres informations, les composantes de la déviation de la verticale en n'importe quel point du pays (y compris sous terre), avec un écart type de 3'' en surface. La modélisation se fait grâce à un modèle numérique de terrain à mailles de 500m pour la topographie, tient compte de la discontinuité de Mohorovic entre le manteau et la croûte terrestre, de la lithosphère et de la masse très dense du corps d'Ivréa. L'écart entre composantes calculées et mesurées par voie astronomique est connu pour une centaine de points, ce qui permet d'améliorer considérablement le modèle [5].

Les composantes de la déviation de la verticale des points PP2 à PP6 ont donc également été déterminées de cette manière, les valeurs obtenues étant fournies ci-dessous:

Point	$\xi$ (°)	$\eta$ (°)
PP2	-69.8	-27.3
PP3	-60.4	13.9
PP4	-58.7	-35.1
PP5	-61.7	11.7
PP6	-51.0	-33.8

#### 4.4 Comparaison des composantes de la déviation de la verticale calculées et déduites de mesures

Conformément aux rappels du §1.2, la composante est - ouest de la déviation de la verticale est d'un intérêt primordial pour la réduction des gisements gyroscopiques, une attention particulière lui est donc dévolue. La comparaison des valeurs obtenues pour les deux composantes a fourni les résultats rassemblés ci-dessous (valeurs mesurées - valeurs calculées):

Point	$\Delta\xi$ (°)	$\Delta\eta$ (°)
PP2	-1.3	-10.1
PP3	-5.6	-1.4
PP4	-9.4	-3.3
PP5	-16.3	-7.9
PP6	-6.9	-5.9

Avant de se lancer dans l'interprétation des résultats, il convient dès à présent de signaler la petite taille de l'échantillon qui incitera à une certaine prudence. Par ailleurs, étant donné le lien qui unit les 2 composantes dans leur détermination, il n'est pas indiqué de considérer 10 valeurs, mais 5 couples de 2 valeurs, analysées séparément.

Compte-tenu des précisions atteintes ou supposées dans la détermination des valeurs des composantes ( $3^{\text{cc}}$  pour le calcul,  $2^{\text{cc}}$  pour la mesure), l'écart-type sur la différence avoisine  $4^{\text{cc}}$ . Pour que la distribution des écarts suive la loi normale, 68% d'entre eux devraient être compris dans l'intervalle  $\pm 4^{\text{cc}}$ , ce qui n'est pas le cas, puisque seule 1 valeur sur 5 répond à ce critère pour  $\xi$  et 2 sur 5 pour  $\eta$ . La proportion de 99.7% des différences dans l'intervalle  $\pm 12^{\text{cc}}$  est respectée pour  $\eta$ , pas pour  $\xi$  puisqu'une valeur dépasse cette limite. Pour peu satisfaisants qu'ils soient, ces écarts par rapport à la répartition escomptée sont moins significatifs que la constance du signe. Tous les écarts sont négatifs, alors que la moitié d'entre eux, dans le cas d'une distribution normale, devraient être positifs. Ceci prouve sans doute possible la présence d'un systématisme (de  $-7.9^{\text{cc}} \pm 2.5^{\text{cc}}$  pour  $\xi$  et de  $-5.7^{\text{cc}} \pm 1.6^{\text{cc}}$  pour  $\eta$ ) dont la provenance n'est pas identifiable pas plus que l'attribution à l'une ou l'autre famille de composantes. La correction des mesures gyroscopiques avec les deux jeux de composantes et leur utilisation ultérieure pour le cheminement polygonal permettra peut-être d'en savoir davantage.

#### 4.5 Dédution de composantes de la déviation de la verticale "mesurées" aux points PP1 et PP7

Aucune mesure astronomique n'a été effectuée en ces deux points alors que pour la cohérence de l'exploitation ultérieure des cheminements polygonaux, de telles mesures auraient été utiles. En effet, le calcul se fera en utilisant des composantes de la déviation de la verticale déduites de mesures dans un cas, issues du modèle de masse dans l'autre pour réduire toutes les mesures angulaires, y compris celles effectuées aux points PP1 et PP7.

La solution la plus simple et effectivement appliquée pour pallier cette carence consiste à ajouter aux valeurs fournies par LAG l'écart moyen enregistré sur  $\xi$  et  $\eta$ , à savoir  $-7.9^{\text{cc}}$  ( $\pm 2.5^{\text{cc}}$ ) pour le premier et  $-5.7^{\text{cc}}$  ( $\pm 1.6^{\text{cc}}$ ) pour le second. D'où les valeurs "mesurées" qui seront prises en compte:

Point	$\xi (^{\circ})$	$\eta (^{\circ})$
PP1	-81.8	9.9
PP7	-85.3	-12.3

## 5. Le réseau GPS de référence

D'une manière similaire à ce qui a été entrepris pour les mesures astronomiques, un étudiant du groupe, Hubert Zimmermann, s'est vu confier le traitement des mesures GPS et l'obtention des coordonnées de référence. Le présent chapitre s'appuie largement sur ses résultats [8].

### 5.1 Méthode d'exploitation des mesures

Le processus d'obtention des coordonnées de référence peut se décomposer en trois phases:

- l'exploitation, à l'aide du logiciel SKI de LEICA, des lignes de base, appuyée sur les points fixes issus du réseau-cadre (c.-à-d. Morcote, Genero95 et Arosio, cf. §2.4) dont sont déduites les coordonnées des points dans le système WGS84; la surdétermination du réseau conduisant à plusieurs jeux de coordonnées pour chaque point.
- La transformation de l'ensemble des coordonnées WGS84 ainsi obtenues en coordonnées nationales (planimétriques et altimétriques, la connaissance des cotes du géoïde étant nécessaire pour passer des altitudes ellipsoïdiques aux altitudes orthométriques).
- La compensation globale, séparée entre planimétrie et altimétrie, de ces coordonnées par la méthode des séries de coordonnées à l'aide du logiciel de compensation LTOP, fournissant les coordonnées de référence des points.

Les première et troisième phases de ce processus vont faire l'objet d'une présentation plus détaillée, la seconde phase, c.-à-d. le passage du système WGS84 au système national, qui ne fait appel qu'à des formules de transformation bien connues et dont la difficulté principale a été mentionnée plus haut (connaissance des cotes du géoïde), ne sera pas développée plus avant dans le cadre de ce rapport.

### 5.2 Exploitation des lignes de base

#### 5.2.1 Principe de calcul

L'exploitation des lignes de base peut soit s'effectuer en étoile, à partir d'une référence unique, soit sous forme d'un cheminement pour lequel le point nouveau d'un calcul est la référence du suivant. Dans les deux cas, un point de départ particulièrement bien déterminé est nécessaire, comme par exemple Arosio, issu du réseau-cadre. Les deux modes d'exploitation ont été combinés dans notre réseau, où le cheminement se "referme" sur Morcote et Genero95.

Les figures 4 et 5 présentent le plan d'exploitation du réseau. La figure 4 se rapporte aux mesures du 9.8.94 et montre bien la faiblesse, déjà évoquée au §2.5.1, de la

partie centrale du réseau; la figure 5 se rapporte aux mesures du 16.8.94 et montre la manière dont il y a été remédié (exploitation en étoile depuis PP5).

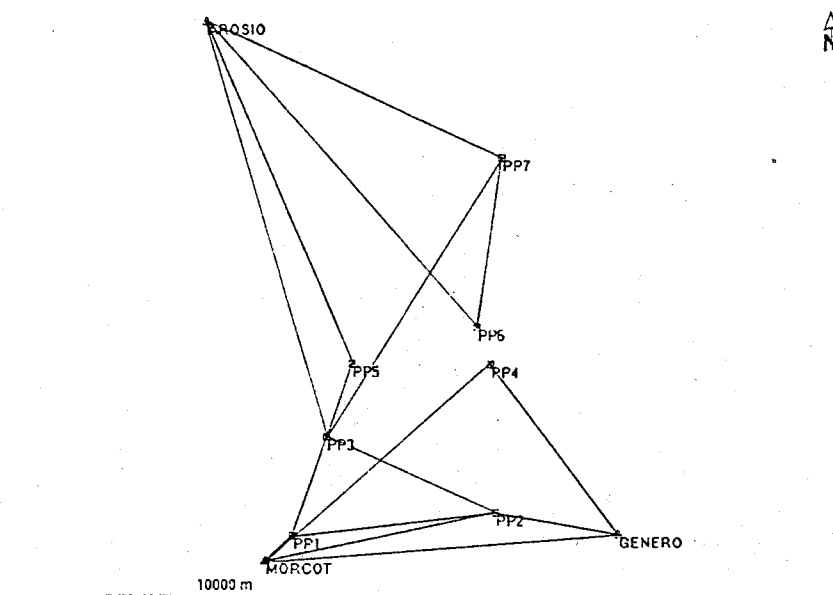


Fig. - 4: Schéma d'exploitation des mesures GPS du 9.8.1994

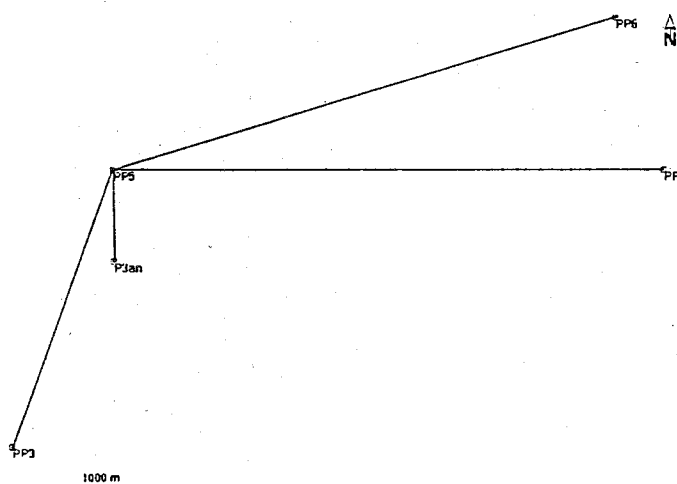


Fig. - 5: Schéma d'exploitation des mesures GPS du 16.8.1994

### 5.2.2 Paramétrisation utilisée

La modélisation s'est effectuée sur la base des paramètres suivants, qui sont les valeurs par défaut utilisées par SKI et rappelées ici pour mémoire:

angle d'élévation minimal	15°
modèle troposphérique	Hopfield
modèle ionosphérique	standard
éphémérides	transmises
données utilisées	code et phase

---

fréquences	L1 et L2
longueur maximale d'une ligne de base	20km
écart-type à priori	10mm

### 5.2.3 *Exécution des calculs et difficultés rencontrées*

L'unique difficulté rencontrée a consisté en la non-résolution des ambiguïtés pour certaines lignes de base. Parmi les solutions possibles pour y remédier (augmenter la valeur de l'écart-type à priori, réduire le temps d'observation sur les points, changer de point de référence), la dernière fut toujours employée avec succès, d'autant qu'elle pouvait permettre de raccourcir les lignes de base.

Les calculs ont été effectués conformément au schéma d'exploitation défini au §5.2.1, la précision atteinte dans la détermination des lignes de base étant de l'ordre du millimètre (cf. [8]).

## 5.3 Compensation par la méthode des séries de coordonnées

Une fois les coordonnées WGS84 transformées dans le système national, où planimétrie et altimétrie sont séparées, les calculs de compensation suivants ont pu être entrepris, à l'aide du logiciel LTOP, basé sur la méthode des séries de coordonnées (cf. [9]):

- les compensations libres, planimétrique et altimétrique, pour tester la cohérence interne du réseau et détecter d'éventuelles fautes grossières.
- les compensations contraintes, planimétrique et altimétrique, pour lesquelles les points Morcote, Genero95 et Arosio ont été maintenus fixes. Elles fournissent les coordonnées de référence des points du réseau.

### 5.3.1 *Compensations libres*

Les compensations planimétriques et altimétriques ont été effectuées sur les mêmes bases, c.-à-d. que PP3 a servi de point fixe dans les deux cas et que l'orientation du réseau provient de la session du 16 août. Les résultats ainsi obtenus sont excellents et permettent d'exclure la présence de toute faute grossière dans les deux cas.

### 5.3.2 *Compensations contraintes*

Les points Arosio, Morcote et Genero95, partie intégrante du réseau-cadre, sont déterminés avec une précision millimétrique en planimétrie ainsi qu'en altimétrie, et

sont parfaitement fiables (2 sessions indépendantes de 3h chacune englobant tous les points du réseau-cadre).

La structure du réseau envisagée pour cette compensation contrainte est la même que pour la compensation libre, c.-à-d. que les sessions sont identiques et les paramètres distribués selon les mêmes principes, qui sont:

- pour la planimétrie, les 4 paramètres (2 translations, 1 rotation et 1 facteur d'échelle) sont calculés aussi bien pour la session du 16 août que pour la première session du 9 août. Pour les autres sessions de la même journée, seules les translations sont calculées, rotation et facteur d'échelle sont repris de la première session de la journée.
- pour l'altimétrie, les 3 paramètres (1 translation et 2 rotations) sont calculés aussi bien pour la session du 16 août que pour la première session du 9 août. Pour les autres sessions de la même journée, seule la translation est calculée, les rotations sont reprises de la première session de la journée.

Un listage complet de cette compensation (altimétrique et planimétrique) accompagné du fichier des mesures est fourni à l'annexe 2, la liste des coordonnées de référence de tous les points du réseau (Mte Boglia inclus) est fournie ci-après. Une seconde liste fournit les éléments des ellipses d'erreur et de la fiabilité externe des points nouveaux. On pourra noter l'excellence des résultats obtenus que confirment les quotients de précision de 0.87 en planimétrie et 0.85 en altimétrie.

Coordonnées de référence des points du réseau  
\*\*\*\*\*

Point	Y m	X m	H m
PP1	715096.611	87578.673	417.931
PP2	719822.905	88208.732	535.326
PP3	715821.178	89958.239	690.532
PP3an	716409.954	91112.216	629.917
PP4	719613.031	91636.891	651.004
PP5	716399.769	91662.576	611.511
PP6	719330.044	92492.180	540.602
PP7	719967.797	96451.942	926.773
Arosio	712907.830	99574.107	926.129
Mte Boglia	721474.847	98797.853	1514.896
Morcote	714423.345	87011.609	470.226
Genero95	722649.951	87787.042	1691.606

Ellipses d'erreur et fiabilité externe des points nouveaux  
\*\*\*\*\*

Point	EMA mm	EMB mm	GISA g	EMH mm	NA mm	NB mm	GIS(NA) g	NH mm
PP1	3.5	3.5	21.0	7.1	13.7	13.7	2.1	28.7
PP2	2.6	2.6	-50.0	5.2	6.0	6.0	98.1	13.0
PP3	3.3	3.3	6.9	6.8	8.5	8.5	197.4	19.2
PP3an	5.8	5.8	50.0	12.0	inf.	inf.	-	inf.
PP4	2.8	2.8	50.0	6.3	6.2	6.2	395.9	15.8
PP5	3.3	3.3	-63.2	7.1	8.6	8.6	96.8	25.0
PP6	3.7	3.7	-50.0	7.7	11.1	11.1	101.8	24.4
PP7	3.7	3.7	-28.2	7.7	10.1	10.1	204.4	24.1

## 6. Mesures conventionnelles et gyroscopiques

Deux objectifs sont poursuivis dans le cadre de ce chapitre:

- vérifier la cohérence de l'ensemble des mesures conventionnelles effectuées (directions, distances, angles verticaux).
- Contrôler l'ensemble des mesures gyroscopiques effectuées en les intégrant au premier calcul pour éliminer les observations manifestement erronées.

Ces calculs ont nécessité l'utilisation de composantes de la déviation de la verticale. Les deux jeux de composantes à disposition ont été employés à cet effet sans qu'il n'en ressorte de différence notable. Les résultats qui seront présentés dans le cadre de ce chapitre ont été obtenus à l'aide de composantes mesurées.

### 6.1 Contrôle des mesures conventionnelles

La méthode retenue consiste à effectuer un calcul où les points PP2 à PP6 du cheminement sont considérés comme étant des points nouveaux, PP1, PP7, Mte Boglia, Morcote et Genero03 étant maintenus fixes. Les corrections de calibration, dont il a déjà été fait état au §2.5.3 ont été apportées aux distances, les directions sont moyennées, les coordonnées des points fixes sont celles émanant du calcul GPS (cf. §5). Pour les coordonnées du point Genero03, seules les coordonnées nationales étaient connues, nous avons donc obtenu les différences de coordonnées entre l'ancien et le nouveau système (LV95) auprès de l'Office Fédéral de Topographie (OFT). Elles proviennent de la détermination du point Genero95. Le premier calcul de contrôle effectué a très rapidement mis en lumière le fait que la différence de coordonnées à disposition pour le point Genero03 était erronée. Il aurait été

possible de s'en passer si elle n'avait été absolument nécessaire à la détermination de l'excentre PP5ex de PP5. Il a donc fallu trouver un moyen de correction.

Le fait que des visées aient été effectuées vers Genero03 depuis tous les points où cela était possible a permis de redéterminer sa position planimétrique par une intersection multiple depuis PP2, PP3, PP5 et PP7, considérés comme fixes pour ce calcul (coordonnées GPS), dont les principaux résultats et caractéristiques sont rassemblés ci-dessous:

#### Coordonnées et écarts planimétriques pour le point Genero03

\*\*\*\*\*

Point	Y	X	DY	DX
	m	m	mm	mm
Genero03	722656.756	87868.302	-191.5	-124.9

#### Ellipses d'erreur et fiabilité externe

\*\*\*\*\*

Point	EMA mm	EMB mm	GISA g	NA mm	NB mm	GIS(NA) g
Genero03	22.5	8.2	-83.4	187.9	103.1	164.3

Nombre d'observations	15
Nombre d'inconnues	7
Nombre d'observations surabondantes	8

Erreurs moyennes des groupes d'observations:	groupe	nombre a priori	a posteriori
directions (E. m. pour 1km):	1	15 3.3cc	1.9cc

Les coordonnées ainsi obtenues permettent d'utiliser Genero03 comme point de rattachement pour le cheminement polygonal et sont nécessaires à la détermination de PP5ex, une seule visée de rattachement vers Genero03 ayant été effectuée en plus de la direction vers PP5 et de la distance PP5 - PP5ex. Cette détermination est de ce fait fragile, les critères de fiabilité n'ont pas été suffisamment pris en compte.

En ce qui concerne les écarts importants en planimétrie sur la différence de coordonnées obtenue, il n'est pas possible d'émettre d'hypothèse quant à leur provenance, nous n'avons pu que les constater et agir de la manière décrite pour y remédier. Ce problème mériterait un examen plus approfondi en collaboration avec l'OFT.

Une fois les coordonnées défailtantes de Genero03 remplacées par leurs nouvelles valeurs, le calcul séparé du cheminement tel que précédemment décrit a pu être réitéré. Plus aucune faute n'a pu y être décelée. Les mesures gyroscopiques ont donc pu y être rajoutées.

## 6.2 Contrôle des mesures gyroscopiques

Le processus de contrôle le plus simple et le plus efficace consistait à intégrer l'ensemble des mesures effectuées (brutes) au fichier des mesures conventionnelles, sans moyenne par station ni correction d'étalonnage préalable. Les corrections de la déviation de la verticale, de la convergence des méridiens et la détermination de l'inconnue d'orientation globale de ces mesures (similaire à celle des directions, incluant la constante d'étalonnage dans ce cas) ont été calculées par le logiciel LTOP, possibilité qui réduit considérablement le travail de dépouillement des mesures et permet une grande souplesse dans l'analyse. Le point PP3an était alors considéré comme fixe, ne faisant pas partie du cheminement (détermination GPS) et l'azimut astronomique PP3 - PP3an (avec sa précision de 5<sup>cc</sup>) introduit comme référence, non concernée par l'inconnue d'orientation.

Il est à remarquer que cette procédure de contrôle s'appuie sur les caractéristiques propres à ce réseau et ne peut être généralisée. Il est en effet rare de disposer de coordonnées GPS de référence et d'emblée de la fermeture du cheminement pour analyser voire "écrémer" les gisements gyroscopiques, puisque la valeur de 8<sup>cc</sup>, précision attendue, a été introduite comme estimation a priori. Toutes les mesures pour lesquelles l'erreur résiduelle normée dépassait la valeur seuil de 2.5 étaient considérées comme entachées d'erreur et éliminées. 8 observations ont ainsi été écartées, ce qui est beaucoup, mais est à mettre sur le compte de problèmes de stabilité et de visibilité (réverbération, brume) rencontrés dans les visées entre PP5ex, PP4 et PP6 (7 des 8 mesures éliminées concernent ces trois points). Les fichiers des mesures et des résultats relatifs à ces calculs sont fournis en annexe 3. Ils intègrent le contrôle des mesures conventionnelles, raison pour laquelle il n'en a pas été fait état au §6.1. Les mesures gyroscopiques ainsi épurées seront moyennées puis introduites dans les compensations globales, celles sur et depuis PP5ex devant encore être réduites au centre à partir des éléments de mesure contrôlés au §6.1. Ces calculs sans difficulté ni relief particuliers, basés sur la résolution de triangles dont au moins trois éléments sont connus ne seront pas détaillés plus avant dans le cadre de ce rapport.

## 7. Exploitation globale des mesures

Après une présentation du procédé d'exploitation envisagé, déjà brièvement décrit au chapitre 3, et des modalités concrètes de sa mise en oeuvre, incluant les indicateurs servant à la comparaison des différents calculs effectués, un résumé des principaux résultats de ces calculs et de premiers commentaires sur chacun d'eux seront fournis. Un troisième paragraphe entreprendra l'étude comparative du point le plus important de l'étude, à savoir l'impact sur les gisements gyroscopiques, destinés à renforcer le cheminement, de composantes de la déviation de la verticale calculées par le modèle de masse et mesurées par voie astronomique.

Les travaux de diplôme de Stefan Graf [10], Ruedi Hüsler [11], Patrick Inglin [12] et Alex Lütolf [13], abordant divers aspects de cette exploitation ont servi de support à l'élaboration de ce chapitre.

### 7.1 Présentation du procédé d'exploitation envisagé

Il a déjà été esquissé dans ses grandes lignes au chapitre 3 mais va maintenant être présenté plus en détail. L'objectif essentiel de l'exploitation entreprise consiste à évaluer la qualité respective des gisements gyroscopiques réduits à l'aide de composantes de la déviation de la verticale calculées et mesurées ainsi que leur impact sur la qualité des résultats obtenus pour le réseau. Eu égard aux difficultés de tous ordres rencontrées et décrites tout au long du présent rapport, la stratégie suivante a été adoptée:

- prendre directement appui sur la campagne de mesure GPS en l'intégrant au réseau au même titre que les mesures conventionnelles et gyroscopiques. Ceci présente l'avantage de libérer les points PP3an, puisqu'il fait partie intégrante du réseau GPS, et PP1 ainsi mieux déterminé. Seuls les points Genero95, Morcote et Arosio sont donc des points fixes pour ces calculs. Genero03 n'apparaît plus alors qu'en filigrane, au travers de la réduction au centre de PP5ex vers PP5. Ceci a également pour conséquence de limiter le rattachement du cheminement en PP1 au seul point fixe Morcote.
- Dédoubler les points PP2 à PP7 du cheminement, PP7 n'étant plus relié qu'à PP6. Les points GPS prennent la dénomination GPx, x désignant le numéro du point, les autres conservent leur dénomination initiale. PP1 et PP3an disparaissent alors au profit de GP1 et GP3an. Ce procédé permet de disposer d'un indicateur de précision pour la différence de coordonnées entre points correspondants, l'ellipse d'erreur relative. Elle présente l'avantage d'être plus représentative que les différences de coordonnées elles-mêmes qui, bien que n'étant qu'une réalisation particulière de la variable aléatoire "différence de coordonnées" devront cependant être examinées avec soin, au même titre que le test du modèle et la comparaison des précisions à priori et à posteriori pour les différents types de mesures, en particulier pour les gisements gyroscopiques, de façon tout à fait analogue à ce qui avait été entrepris en 1992.
- S'il est ainsi possible de comparer directement chaque calcul à la référence, il est aussi nécessaire de comparer différents calculs entre eux, ce qui peut se faire sur la base des indicateurs précédemment mentionnés. Reste à définir alors quels calculs devront être entrepris et lesquels devront faire l'objet d'une telle comparaison. 5 variantes ont été retenues, pour lesquelles, lorsqu'ils entrent en ligne de compte tous les gisements gyroscopiques seront utilisés, ce qui signifie qu'aucune étude d'optimisation de leur nombre ou de leur localisation n'est entreprise. Les caractéristiques de ces 5 variantes sont résumées page suivante.

**1<sup>er</sup> calcul:**

**avec** mesures gyroscopiques mais **sans** correction de la déviation de la verticale

Ce calcul est destiné à vérifier l'ampleur de l'erreur commise en ne tenant pas compte de la déviation de la verticale dans une zone fortement perturbée (cf. aussi §1.2).

**2<sup>ème</sup> calcul:**

**sans** mesures gyroscopiques mais **avec** correction de la déviation de la verticale par des composantes calculées

**3<sup>ème</sup> calcul:**

**sans** mesures gyroscopiques mais **avec** correction de la déviation de la verticale par des composantes mesurées

Ces deux calculs considérés isolément ne présentent qu'un intérêt relatif, ne permettant que de comparer les mesures conventionnelles et la référence GPS. Leur confrontation fournit par contre une première indication des différences pouvant émaner des deux types de composantes de la déviation de la verticale pour les mesures conventionnelles.

**4<sup>ème</sup> calcul:**

**avec** mesures gyroscopiques et **avec** correction de la déviation de la verticale par des composantes calculées

Ce calcul permettra de comparer directement le cheminement renforcé et la référence dans le cas de l'utilisation du modèle de masse pour la détermination des composantes de la déviation de la verticale.

**5<sup>ème</sup> calcul:**

**avec** mesures gyroscopiques et **avec** correction de la déviation de la verticale par des composantes mesurées

Ce calcul permettra de comparer directement le cheminement renforcé et la référence dans le cas de l'utilisation des composantes de la déviation de la verticale déduites de mesures astronomiques.

Il est bien évident que la comparaison des résultats de ces deux derniers calculs, sur la base des indicateurs précédemment mentionnés, devra être entreprise avec le plus grand soin et la plus grande attention. Le prochain paragraphe fournit, calcul par calcul, les principaux résultats obtenus suivis d'un premier commentaire.

## **7.2 Résultats des calculs et premiers commentaires**

Pour chacun des 5 calculs effectués, les résultats suivants sont fournis:

- caractéristiques générales du calcul (test du modèle y compris)

- ellipses d'erreur relatives entre points correspondants
- coordonnées compensées des points avec différences de coordonnées par rapport à la référence et ellipses d'erreurs
- écarts types à priori et à posteriori des différents groupes d'observations.

Les indicateurs de fiabilité, qui ne présentent qu'un faible intérêt dans l'optique d'exploitation retenue, ne sont pas mentionnés ici.

### 1<sup>er</sup> calcul:

avec mesures gyroscopiques mais **sans** correction de la déviation de la verticale

#### QUOTIENT TOTAL:

Sans arrondi ( $Q^{\wedge}$ )	1.29
Contrôle final	1.29
Probabilité que $Q > Q^{\wedge}$ :	.1%

Nombre d'observations	116
Nombre d'inconnues	58
Surabondance	58

#### Les 5 plus grandes erreurs résiduelles normées $w_i$

\*\*\*\*\*

	Obs.	Type	Abs( $w_i$ )
1	10	gyro.	4.4
2	4	gyro.	3.4
3	3	gyro.	3.3
4	5	gyro.	3.0
5	8	gyro.	3.0

#### Ellipses d'erreurs relatives

\*\*\*\*\*

Point 1	Point 2	EMA mm	EMB mm	EMGIS g
PP2	GP2	23.6	7.2	-4.4
PP3	GP3	36.2	11.9	26.3
PP4	GP4	41.5	26.3	-48.3
PP5	GP5	43.5	27.9	41.6
PP6	GP6	48.4	32.9	-58.1
PP7	GP7	103.2	34.6	-80.3

#### Coordonnées compensées des points, écarts à la référence et ellipses d'erreurs

\*\*\*\*\*

Point	Y m	X m	H m	DY mm	DX mm	EMA mm	EMB mm	EMGIS g	Nb. de mesures
PP2	719822.896	88208.776	535.326	-8.5	43.7	23.9	7.0	-5.1	11
PP3	715821.171	89958.285	690.532	-7.2	45.9	36.0	12.4	26.2	14
PP4	719613.015	91636.956	651.004	-15.6	65.4	41.5	26.1	-48.4	12
PP5	716399.755	91662.601	611.511	-13.9	25.3	43.4	28.4	41.8	12
PP6	719330.020	92492.233	540.602	-24.4	53.0	48.7	32.6	-57.9	9
PP7	719967.760	96452.038	926.773	-37.4	96.2	103.4	34.2	-80.2	3

Point	Y m	X m	H m	DY mm	DX mm	EMA mm	EMB mm	EMGIS g	Nb. de mesures
GP1	715096.609	87578.673	417.931	-1.8	-.1	5.2	4.0	50.0	13
GP2	719822.905	88208.732	535.326	-.1	-.5	3.8	3.8	43.0	12
GP3	715821.177	89958.237	690.532	-1.4	-1.9	4.9	4.9	50.4	10
GP3an	716409.954	91112.214	629.917	-.2	-1.8	8.6	8.4	25.6	4
GP4	719613.031	91636.891	651.004	.2	.3	4.1	4.1	72.7	10
GP5	716399.768	91662.574	611.511	-1.2	-1.6	4.9	4.9	55.5	8
GP6	719330.045	92492.179	540.602	1.5	-.6	5.4	5.4	25.9	6
GP7	719967.799	96451.942	926.773	1.8	-.3	5.5	5.5	30.4	8
Morcote	714423.345	87011.609	470.226						10
Genero95	722649.951	87787.042	1691.606						6
Arosio	712907.830	99574.107	926.129						4

Erreurs moy. des groupes d'obs.:	Gr.	Nb.	A priori	A posteriori	Quot.	Redond.
Distances (EM pour 1km):						
	3	12	2.8mm	2.7mm	.96	6.055
Directions (EM: 1km):	1	14	3.3cc	2.8cc	.85	2.101
Gisements (EM: 1km)						
Or. Correc. EM						
1 -31.99 7.32	1	9	10.1cc	29.5cc	2.92	6.998
	2	1	10.1cc	3.2cc	.32	.355
Coordonnees (GPS):		80	5.0mm	4.1mm	.83	42.490

### Commentaire

Le test global du modèle est à l'extrême limite de l'acceptation. Bien qu'il soit de ce fait encore théoriquement possible d'accepter le modèle, deux indices nous conduisent à le mettre en doute, tous deux liés aux seules mesures gyroscopiques. En effet, un examen plus approfondi de ces dernières permet d'une part de s'apercevoir qu'il s'agit du seul groupe d'observations pour lequel le quotient des précisions estimées et réelles est très défavorable (écart type à posteriori de 29.5cc, quotient de 2.92) pour ne pas dire inacceptable, et d'autre part de constater que tous les  $w_i$  au delà du seuil de 2.5 lui sont imputables, la valeur la plus importante atteignant 4.4. Etant donné que les mesures gyroscopiques introduites dans ce calcul ont été largement épurées (cf. §6), les fautes enregistrées ne peuvent être causées que par une source extérieure, la seule envisageable dans ce cas précis étant la non prise en compte de la déviation de la verticale, laquelle introduit un systématisme sur les gisements gyroscopiques. De ce fait, il semble opportun de considérer les résultats obtenus comme non probants et de valider l'hypothèse de 1992.

On peut en outre constater que les écarts enregistrés par rapport à la référence dans le cas des points PPx sont assez conséquents, notamment en PP7, mais restent acceptables en regard des éléments des ellipses d'erreurs relatives et absolues. Remarquons toutefois les valeurs également élevées de ces dernières qui témoignent d'une détermination peu précise des points, surtout si on la compare à la détermination des points par GPS. Il est aussi à noter que la redondance de ce dernier groupe d'observations est nettement supérieure à celle de tous les autres, le nombre important et la précision supérieure de ces mesures "écrasant" un peu les autres et permettant ainsi au test du modèle d'être encore accepté.

**2ème calcul:**

sans mesures gyroscopiques mais avec correction de la déviation de la verticale par des composantes calculées

**QUOTIENT TOTAL:**

Sans arrondi (Q<sup>^</sup>) .84  
 Contrôle final .84  
 Probabilité que Q < Q<sup>^</sup>: 5.3%

Nombre d'observations 107  
 Nombre d'inconnues 57  
 Surabondance 50

**Ellipses d'erreurs relatives**

\*\*\*\*\*

Point 1	Point 2	EMA mm	EMB mm	EMGIS g
PP2	GP2	17.0	4.7	-5.5
PP3	GP3	24.9	8.5	30.0
PP4	GP4	33.4	17.7	-49.8
PP5	GP5	32.0	20.3	50.0
PP6	GP6	39.9	22.2	-58.7
PP7	GP7	85.4	23.2	-78.5

**Coordonnées compensées des points, écarts à la référence et ellipses d'erreurs**

\*\*\*\*\*

Point	Y m	X m	H m	DY mm	DX mm	EMA mm	EMB mm	EMGIS g	Nb. de mesures
PP2	719822.904	88208.724	535.326	-1.3	-7.8	17.3	4.6	-6.2	9
PP3	715821.190	89958.250	690.532	11.9	10.7	24.8	8.9	30.1	9
PP4	719613.050	91636.894	651.004	18.5	3.5	33.4	17.6	-49.8	8
PP5	716399.789	91662.582	611.511	19.9	6.2	32.0	20.6	50.6	8
PP6	719330.069	92492.171	540.602	24.5	-8.8	40.1	22.0	-58.7	7
PP7	719967.852	96451.934	926.773	55.5	-7.9	85.6	23.0	-78.5	3
GP1	715096.610	87578.672	417.931	-1.3	-.7	3.4	2.7	49.5	13
GP2	719822.905	88208.731	535.326	.1	-.6	2.5	2.5	42.7	12
GP3	715821.177	89958.237	690.532	-1.3	-2.0	3.2	3.2	54.8	10
GP3an	716409.954	91112.214	629.917	-.4	-1.7	5.6	5.5	24.9	3
GP4	719613.031	91636.891	651.004	.2	.3	2.7	2.7	75.5	10
GP5	716399.768	91662.574	611.511	-1.1	-1.7	3.2	3.2	61.0	8
GP6	719330.046	92492.179	540.602	1.5	-.6	3.5	3.5	5.6	6
GP7	719967.799	96451.942	926.773	1.8	-.3	3.5	3.5	40.8	8
Morcote	714423.345	87011.609	470.226						10
Genero95	722649.951	87787.042	1691.606						6
Arosio	712907.830	99574.107	926.129						4

Erreurs moy. des groupes d'obs.:	Gr.	Nb.	A priori	A posteriori	Quot.	Redond.
Distances (EM pour 1km):	3	12	2.8mm	2.7mm	.95	6.055
Directions (EM:1km):	1	14	3.3cc	1.9cc	.59	1.289
Gisements (EM:1km):	2	1	10.1cc	4.4cc	.44	.196
Coordonnees (GPS):		80	5.0mm	4.1mm	.83	42.460

**3ème calcul:**

sans mesures gyroscopiques mais avec correction de la déviation de la verticale par des composantes mesurées

**QUOTIENT TOTAL:**

Sans arrondi ( $Q^{\wedge}$ ) .84  
 Contrôle final .84  
 Probabilité que  $Q < Q^{\wedge}$ : 5.6%

Nombre d'observations 107  
 Nombre d'inconnues 57  
 Surabondance 50

**Ellipses d'erreurs relatives**

\*\*\*\*\*

Point 1	Point 2	EMA mm	EMB mm	EMGIS g
PP2	GP2	17.1	4.7	-5.5
PP3	GP3	24.9	8.6	30.0
PP4	GP4	33.5	17.7	-49.8
PP5	GP5	32.1	20.3	50.0
PP6	GP6	40.0	22.3	-58.7
PP7	GP7	85.7	23.3	-78.5

**Coordonnées compensées des points, écarts à la référence et ellipses d'erreurs**

\*\*\*\*\*

Point	Y m	X m	H m	DY mm	DX mm	EMA mm	EMB mm	EMGIS g	Nb. de mesures
PP2	719822.903	88208.726	535.326	-2.1	-5.5	17.3	4.6	-6.2	9
PP3	715821.188	89958.250	690.532	9.6	10.6	24.8	9.0	30.1	9
PP4	719613.047	91636.896	651.004	15.5	4.8	33.5	17.6	-49.8	8
PP5	716399.786	91662.583	611.511	16.9	7.2	32.1	20.6	50.6	8
PP6	719330.065	92492.175	540.602	20.8	-5.1	40.2	22.1	-58.7	7
PP7	719967.843	96451.939	926.773	45.8	-3.5	85.8	23.1	-78.5	3
GP1	715096.609	87578.673	417.931	-1.6	-.4	3.4	2.7	49.5	13
GP2	719822.905	88208.731	535.326	.0	-.5	2.5	2.5	42.7	12
GP3	715821.177	89958.237	690.532	-1.3	-1.9	3.2	3.2	54.8	10
GP3an	716409.954	91112.214	629.917	-.2	-1.8	5.6	5.5	24.9	3
GP4	719613.031	91636.891	651.004	.2	.3	2.7	2.7	75.5	10
GP5	716399.768	91662.574	611.511	-1.1	-1.6	3.2	3.2	61.0	8
GP6	719330.046	92492.179	540.602	1.5	-.6	3.5	3.5	5.6	6
GP7	719967.799	96451.942	926.773	1.8	-.3	3.6	3.6	41.1	8
Morcote	714423.345	87011.609	470.226						10
Genero95	722649.951	87787.042	1691.606						6
Arosio	712907.830	99574.107	926.129						4

Erreurs moy. des groupes d'obs.:	Gr.	Nb.	A priori	A posteriori	Quot.	Redond.
Distances (EM pour 1km):	3	12	2.8mm	2.7mm	.96	6.055
Directions (EM:1km):	1	14	3.3cc	2.0cc	.62	1.289
Gisements (EM:1km)	2	1	10.1cc	6.1cc	.60	.196
Coordonnees (GPS):		80	5.0mm	4.1mm	.83	42.460

### Commentaire

Les résultats obtenus dans le cadre de ces deux calculs sont identiques à l'exception des différences de coordonnées par rapport à la référence aux points PP2 à PP7 du cheminement pour lesquelles on note des écarts légèrement inférieurs dans le cas de l'utilisation de composantes de la déviation de la verticale mesurées. Ces différences sont toutefois inférieures au cm pour des écarts de l'ordre de 4 à 5cm. Ils restent par ailleurs inférieurs aux valeurs fournies par les ellipses d'erreur et ne sont de ce fait pas significatifs.

Par conséquent, cette première comparaison indirecte des composantes calculées et mesurées de la déviation de la verticale ne nous fournit pratiquement aucune indication sur leur qualité respective, même si elle donne un très léger avantage aux valeurs mesurées.

Par contre, les résultats obtenus dans les deux cas sont bien meilleurs à tous points de vue que pour le premier calcul, d'où une confirmation à posteriori du jugement précédent.

### 4ème calcul:

avec mesures gyroscopiques et avec correction de la déviation de la verticale par des composantes calculées

#### QUOTIENT TOTAL:

Sans arrondi ( $Q^{\wedge}$ )	.84
Contrôle final	.84
Probabilité que $Q < Q^{\wedge}$ :	4.1%

Nombre d'observations	116
Nombre d'inconnues	58
Surabondance	58

#### Ellipses d'erreurs relatives

\*\*\*\*\*

Point 1	Point 2	EMA mm	EMB mm	EMGIS g
PP2	GP2	15.4	4.7	-4.4
PP3	GP3	23.5	7.7	26.3
PP4	GP4	27.0	17.1	-48.3
PP5	GP5	28.4	18.2	41.6
PP6	GP6	31.5	21.4	-58.1
PP7	GP7	67.2	22.5	-80.3

#### Coordonnées compensées des points, écarts à la référence et ellipses d'erreurs

\*\*\*\*\*

Point	Y m	X m	H m	DY mm	DX mm	EMA mm	EMB mm	EMGIS g	Nb. de mesures
PP2	719822.904	88208.723	535.326	-1.0	-9.2	15.6	4.5	-5.1	11
PP3	715821.191	89958.251	690.532	13.2	11.8	23.5	8.1	26.2	14
PP4	719613.054	91636.889	651.004	22.7	-2.0	27.0	17.0	-48.4	12
PP5	716399.793	91662.573	611.511	24.1	-2.8	28.3	18.5	41.8	12
PP6	719330.068	92492.179	540.602	24.0	-1.3	31.7	21.2	-57.9	9
PP7	719967.830	96451.945	926.773	32.7	3.1	67.3	22.3	-80.2	3

Point	Y m	X m	H m	DY mm	DX mm	EMA mm	EMB mm	EMGIS g	Nb. de mesures
GP1	715096.610	87578.672	417.931	-1.2	-.7	3.4	2.6	50.0	13
GP2	719822.905	88208.731	535.326	.1	-.6	2.5	2.5	43.0	12
GP3	715821.177	89958.237	690.532	-1.2	-2.0	3.2	3.2	50.4	10
GP3an	716409.954	91112.214	629.917	-.3	-1.7	5.6	5.5	25.6	4
GP4	719613.031	91636.891	651.004	.2	.2	2.7	2.7	72.7	10
GP5	716399.768	91662.574	611.511	-1.1	-1.7	3.2	3.2	55.5	8
GP6	719330.046	92492.179	540.602	1.6	-.6	3.5	3.5	25.9	6
GP7	719967.799	96451.942	926.773	1.9	-.3	3.6	3.6	30.3	8
Morcote	714423.345	87011.609	470.226						10
Genero95	722649.951	87787.042	1691.606						6
Arosio	712907.830	99574.107	926.129						4

Erreurs moy. des groupes d'obs.:	Gr.	Nb.	A priori	A posteriori	Quot.	Redond.
Distances (EM pour 1km):						
	3	12	2.8mm	2.7mm	.95	6.055
Directions (EM:1km):	1	14	3.3cc	2.4cc	.72	2.101
Gisements (EM:1km)						
Or. Correc. EM						
1 -35.44 4.77	1	9	10.1cc	8.6cc	.85	6.998
	2	1	10.1cc	4.4cc	.43	.355
Coordonnees (GPS):		80	5.0mm	4.1mm	.83	42.490

### Commentaire

Les résultats ci-dessus sont meilleurs à tous points de vue que ceux obtenus dans le cadre du second calcul (sans mesures gyroscopiques) et prouvent l'apport indéniable des mesures gyroscopiques. Considérons les différents indicateurs: la valeur fournie par le test global du modèle est identique, mais la probabilité d'obtenir une valeur encore inférieure pour le test est plus faible, le test est donc mieux accepté, ce qui est à mettre au crédit des mesures gyroscopiques (9 observations supplémentaires d'excellente qualité). Les ellipses d'erreur, aussi bien absolues que relatives, présentent elles aussi des valeurs bien inférieures à celles enregistrées pour le second calcul (67mm contre 85mm pour le demi grand-axe en PP7). La situation est identique pour les différences de coordonnées (33mm contre 55mm suivant l'axe Y en PP7) ainsi que pour les quotients des différents groupes d'observations. Il est à noter dans ce dernier cas que le résultat obtenu pour les mesures gyroscopiques est excellent (8.6<sup>cc</sup> à posteriori), parfaitement en accord avec les résultats espérés (précision de 8<sup>cc</sup>, cf. 6.2 et [5]) et meilleur que la valeur introduite à priori de 10<sup>cc</sup>, hypothèse "basse".

Par conséquent, les résultats obtenus en utilisant les composantes de la déviation de la verticale calculées sont tout à fait probants et témoignent de la bonne tenue du modèle de masse. Reste à les comparer à ceux du 5<sup>ème</sup> calcul pour évaluer l'impact qu'a sur eux le systématisme mis en lumière au chapitre 4.

**5ème calcul:**

avec mesures gyroscopiques et avec correction de la déviation de la verticale par des composantes mesurées

**QUOTIENT TOTAL:**

Sans arrondi ( $Q^{\wedge}$ ) .82  
 Contrôle final .82  
 Probabilité que  $Q < Q^{\wedge}$ : 3.0%

Nombre d'observations 116  
 Nombre d'inconnues 58  
 Surabondance 58

**Ellipses d'erreurs relatives**

\*\*\*\*\*

Point 1	Point 2	EMA mm	EMB mm	EMGIS g
PP2	GP2	15.1	4.6	-4.4
PP3	GP3	23.2	7.6	26.3
PP4	GP4	26.6	16.9	-48.3
PP5	GP5	27.9	17.9	41.6
PP6	GP6	31.0	21.1	-58.1
PP7	GP7	66.1	22.1	-80.3

**Coordonnées compensées des points, écarts à la référence et ellipses d'erreurs**

\*\*\*\*\*

Point	Y m	X m	H m	DY mm	DX mm	EMA mm	EMB mm	EMGIS g	Nb. de mesures
PP2	719822.904	88208.722	535.326	-1.3	-10.3	15.3	4.5	-5.1	11
PP3	715821.192	89958.253	690.532	14.0	14.1	23.1	7.9	26.2	14
PP4	719613.056	91636.887	651.004	25.2	-3.6	26.6	16.7	-48.4	12
PP5	716399.796	91662.580	611.511	26.7	3.7	27.8	18.2	41.8	12
PP6	719330.073	92492.178	540.602	28.7	-2.4	31.2	20.9	-57.9	9
PP7	719967.842	96451.943	926.773	45.3	.6	66.2	21.9	-80.2	3
GP1	715096.610	87578.672	417.931	-1.4	-7	3.3	2.6	50.0	13
GP2	719822.905	88208.731	535.326	.1	-6	2.5	2.4	43.0	12
GP3	715821.177	89958.237	690.532	-1.2	-2.0	3.1	3.1	50.4	10
GP3an	716409.954	91112.214	629.917	.0	-1.9	5.5	5.4	25.6	4
GP4	719613.031	91636.891	651.004	.2	.3	2.6	2.6	72.7	10
GP5	716399.768	91662.574	611.511	-1.0	-1.7	3.1	3.1	55.5	8
GP6	719330.046	92492.179	540.602	1.6	-7	3.5	3.5	25.9	6
GP7	719967.799	96451.942	926.773	1.9	-4	3.5	3.5	30.4	8
Morcote	714423.345	87011.609	470.226						10
Genero95	722649.951	87787.042	1691.606						6
Arosio	712907.830	99574.107	926.129						4

Erreurs moy. des groupes d'obs.:	Gr.	Nb.	A priori	A posteriori	Quot.	Redond.
Distances (EM pour 1km):	3	12	2.8mm	2.7mm	.96	6.055
Directions (EM:1km):	1	14	3.3cc	2.1cc	.64	2.101
Gisements (EM:1km)						
Or. Correc. EM						
1 -39.28 4.69	1	9	10.1cc	7.4cc	.74	6.998
	2	1	10.1cc	8.1cc	.80	.355
Coordonnees (GPS):		80	5.0mm	4.1mm	.83	42.490

### Commentaire

La remarque effectuée dans le cadre du 4<sup>ème</sup> calcul peut être reprise ici, à savoir que l'adjonction de mesures gyroscopiques accroît indéniablement la qualité des résultats obtenus, ce dont tous les indicateurs déterminés font foi. Tous les indicateurs ne seront pas redétaillés ici, seuls ceux pour lesquels une différence par rapport au commentaire précédent est à noter seront repris, au premier rang desquels le test global du modèle. La valeur enregistrée est légèrement inférieure (0.82 contre 0.84) à celle du calcul sans mesures gyroscopiques et la probabilité d'obtenir une valeur encore inférieure pour le test est plus faible (3% contre 5.6%), le test est donc mieux accepté. Les différences de coordonnées sont au mieux restées stables (45mm suivant l'axe Y en PP7 dans les deux cas) alors que les quotients des différents groupes d'observations se sont améliorés, principalement pour ce qui concerne les mesures gyroscopiques. Le résultat obtenu dans ce dernier cas est excellent (7.4<sup>cc</sup> à posteriori), parfaitement en accord avec les résultats espérés (précision de 8<sup>cc</sup>, cf. 6.2 et [5]) et meilleur que la valeur introduite à priori de 10<sup>cc</sup>, hypothèse "basse".

Par conséquent, les résultats obtenus en utilisant les composantes de la déviation de la verticale mesurées sont très satisfaisants et témoignent de la qualité des observations effectuées, notamment astronomiques. Reste à comparer ces résultats à ceux issus du 4<sup>ème</sup> calcul et à effectuer la synthèse de ces 5 calculs.

### 7.3 Synthèse des 5 calculs effectués

L'hypothèse selon laquelle l'introduction de gisements gyroscopiques non corrigés de l'influence de la déviation de la verticale fausse les résultats au point de les rendre inutilisables a pu être vérifiée dans le cadre du 1<sup>er</sup> calcul, avec quelques réserves toutefois, lesquelles ont déjà été mentionnées dans le commentaire relatif à ce calcul.

Les 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> calculs bien qu'utilisant des composantes de la déviation de la verticale issues de sources différentes, ne se différencient pour ainsi dire pas (cf. commentaire) et fournissent tous deux des résultats acceptables. Il ressort de ce fait clairement des résultats des trois premiers calculs qu'il vaut mieux, dans le cadre de notre réseau tout au moins, s'abstenir de gisements gyroscopiques plutôt que d'introduire des gisements non corrigés: cette remarque faite dans [5] peut être reprise ici.

Examinés séparément, les résultats des deux derniers calculs sont très satisfaisants, ils confirment l'apport indéniable que constituent des gisements gyroscopiques pour un réseau et valident tous deux l'estimation de précision à priori de 8<sup>cc</sup>. Si l'on compare maintenant les différents indicateurs de ces deux calculs, il est clair qu'un léger avantage se dessine au profit du 5<sup>ème</sup> calcul, donc des composantes de la déviation de la verticale mesurées. En effet, la valeur obtenue pour le test du modèle est légèrement inférieure (0.82 contre 0.84)

tout comme la probabilité d'obtenir une valeur encore inférieure pour le test (3.0% contre 4.1%).

Les ellipses d'erreur relatives aux points PP2 à PP7 du cheminement ne se différenciant qu'à proportion des valeurs respectives du test, seules les différences de coordonnées par rapport à la référence présentent des écarts, avec dans ce cas un léger avantage au 4<sup>ème</sup> calcul, qu'il convient de relativiser par le fait déjà mentionné que ceux-ci sont moins représentatifs que les ellipses d'erreur à l'intérieur desquelles il se situent d'ailleurs largement.

S'agissant enfin des écarts types des différents groupes d'observations, l'avantage, léger certes, revient à nouveau au 5<sup>ème</sup> calcul, pour lequel les précisions à posteriori des directions et surtout des gisements gyroscopiques sont meilleures (2.1<sup>cc</sup> contre 2.4<sup>cc</sup> pour les directions, 7.4<sup>cc</sup> contre 8.6<sup>cc</sup> pour les gisements gyroscopiques). Le 2<sup>ème</sup> groupe de gisements gyroscopiques, constitué en fait par le seul azimuth astronomique PP3 - PP3an, n'est mentionné que pour information. A remarquer également l'écart de presque 4<sup>cc</sup> dans la valeur de l'inconnue d'orientation des gisements gyroscopiques entre les deux calculs, absorbant presque en totalité le systématisme constaté entre les deux familles de composantes de la déviation de la verticale (rappel:  $-5.7^{cc} \pm 1.6^{cc}$  pour  $\eta$  entre valeurs mesurées et calculées).

Par conséquent, les résultats fournis par le 5<sup>ème</sup> calcul sont meilleurs que ceux issus du 4<sup>ème</sup> calcul, mais pas d'une manière suffisamment déterminante pour mettre le modèle de masse en défaut. Le systématisme observé reste dans les limites de ce que l'écart type de 4<sup>cc</sup> sur les différences observées permet de tolérer.

## 8. Conclusion

L'étude menée dans le cadre du présent rapport sur les composantes de la déviation de la verticale et leur influence sur les mesures gyroscopiques a essentiellement permis de mettre deux points en lumière:

- la comparaison directe effectuée dans la zone d'investigation du lac de Lugano entre composantes de la déviation de la verticale issues du modèle de masse et de mesures astronomiques a mis un systématisme aussi bien sur  $\xi$  que sur  $\eta$  en évidence. Les précisions respectives des deux jeux de composantes et de celle résultante sur leur différence, soit 4<sup>cc</sup>, définissent un intervalle de confiance à l'intérieur duquel se trouvent les valeurs de ces systématismes, ce qui relativise leur signification. Il convient toutefois de s'interroger sur leur provenance. De multiples raisons peuvent être invoquées, en s'appuyant cependant sur les résultats du paragraphe précédent, on serait plutôt tenté de les chercher du côté du modèle de masse où deux aspects peuvent effectivement être pris en compte. Il s'agit d'une part du MNT

utilisé pour modéliser la topographie (un maillage de 500m est probablement insuffisant dans une zone aussi perturbée que les abords du lac de Lugano) et d'autre part de la densité des points d'appui pour l'interpolation (une centaine de points est actuellement utilisée). Dans la nouvelle version du modèle, à présent en voie d'achèvement, une amélioration notable a été entreprise concernant ces deux points; Le MNT à pas de 25m couvrant bientôt la totalité du pays sera utilisé et 600 points de mesures astronomiques, stationnés avec la caméra zénithale, soit 1100 composantes de la déviation de la verticale serviront à l'interpolation [14]. Lorsque ce modèle sera disponible, une nouvelle comparaison s'imposera.

- L'influence de ces systématismes sur les gisements gyroscopiques est demeurée restreinte, au regard des résultats du paragraphe précédent. On note cependant un avantage modeste mais réel au profit du 5<sup>ème</sup> calcul, donc des composantes de la déviation de la verticale mesurées, les résultats du 4<sup>ème</sup> calcul restant acceptables et tout à fait convaincants. Il sera donc là également intéressant, dès que la nouvelle version du modèle de masse sera disponible, de réitérer ces calculs pour voir dans quelle mesure l'écart entre les deux variantes s'amenuise.

On peut cependant dès à présent souligner la bonne tenue du modèle de masse conduisant à des résultats encore perfectibles mais déjà très satisfaisants dans des conditions aux limites pour lui, eu égard aux fortes fluctuations des composantes de la déviation de la verticale autour de Lugano. Les bons résultats obtenus lors de la campagne de 1992 y compris sous terre dans le tunnel de service du tunnel routier du St-Gothard (cf. 1.2) trouvent donc leur confirmation ici.

En résumé, l'étude qui vient d'être décrite teste et souligne les limites actuelles du modèle de masse, sans pourtant réellement parvenir à le mettre en défaut. En définitive, elle le valide globalement, ce qui est déjà très satisfaisant en soi et encourageant dans la perspective des améliorations en cours qui permettront certainement d'obtenir des résultats encore meilleurs. Dans l'optique du percement du tunnel de base du St-Gothard et particulièrement de l'emploi prévu et intensif de gyroscopes dans cette zone montagneuse fortement perturbée, ce constat ne peut que réjouir et rassurer.

[1]	Carosio A. Ebnetter F. Egger K. Flury St.	Vorprojekt Tunnelvermessung, Abschnitt Gotthard-Basistunnel Chemins de Fer Fédéraux (CFF), avril 1994.
[2]	Reis O.	Die Überprüfung des Gotthardbasisnetzes Institut de géodésie et de photogrammétrie, EPF Zurich. Rapport No. 224, juin 1993.
[3]	Reis O.	Calculs de simulation pour la ligne de base du St-Gothard Institut de géodésie et de photogrammétrie, EPF Zurich. Rapport No. 231, janvier 1994.
[4]	Plazibat M. Stengele R. Zanini M.	Kreiselazimute in Tunnelnetzen unter Einfluss des Erdschwerefeldes Institut de géodésie et de photogrammétrie, EPF Zurich. Rapport No. 214, mars 1993.
[5]	Carosio A. Reis O.	Méthodes géodésiques et modèles mathématiques pour l'implantation des nouvelles transversales alpines Actes du 3ème CITOP, Paris, Londres 6-9/12/94, XYZ No. 62, 1er trimestre 1995, MPG avril 1995.
[6]	Schärer J.	Reduktion von Kreiselazimuten mit verschieden ermittelten Lotabweichungskomponenten Travail de diplôme de l'EPFZ, novembre 1994.
[7]	Gurtner W.	Das Geoid in der Schweiz Institut de Géodésie et de Photogrammétrie, communication No. 20, février 1978.
[8]	Zimmermann H.	Referenzkoordinaten für eine fingierte Tunnelachse mit Satellitenmethoden Travail de diplôme de l'EPFZ, novembre 1994.
[9]	Carosio A.	La combinaison de mesures terrestres et par satellite dans les réseaux planimétriques MPG novembre 1992.

- [10] Graf S. Einfluss der Lotabweichung beim Kreiseinsatz in Tunnels  
Travail de diplôme de l'EPFZ, janvier 1995.
- [11] Hüsler R. Einfluss der Lotabweichung auf Kreiselazimute und Tunnelnetze  
Travail de diplôme de l'EPFZ, janvier 1995.
- [12] Inglin P. Absteckung einer fingierten Tunnelachse in freiem Gelände mit  
starken Lotabweichungen  
Travail de diplôme de l'EPFZ, janvier 1995.
- [13] Lütolf A. Einfluss von Kreismessungen und Lotabweichungen auf die  
Absteckung von langen Tunnels  
Travail de diplôme de l'EPFZ, janvier 1995.
- [14] Marti U. Die neue Geoidbestimmung in der Schweiz: Gegenwärtiger Stand und  
Kahle H. -G. Genauigkeitsuntersuchungen.  
MPG avril 1995.





## **Annexe 1**

### **Protocoles des mesures astronomiques**



\*\*\*\*\*  
 ASTRONOMICAL POSITIONING BY THE METHOD OF EQUAL HEIGHTS  
 \*\*\*\*\*

STATION           pp2  
 DATE             14.8.1994  
 OPERATOR        graf  
 INSTRUMENT      KERN E2

\*\*\*\*\*  
 ADDITIONAL DATA  
 \*\*\*\*\*

Approximate Coordinates	Latitude	45° 55' 47.53"
	Longitude	8° 58' 57.10"
Meteorology	Temperature	18.0 °C
	Pressure	978.0 hPa
Pole-Coordinates	x	0.0293"
	y	0.1844"
	UT1-UTC	0.7003sec
path delay of time-signal		3ms

\*\*\*\*\*  
 RESULTS  
 \*\*\*\*\*

performed observations   102  
 eliminated observations   21  
 rms of one observation   1.69"

Latitude	45° 55' 47.53"	+/- 0.32"
Longitude	8° 58' 46.37"	+/- 0.37"

Index           11.82"   +/- 0.20"

\*\*\*\*\*  
 Star - Distribution  
 \*\*\*\*\*

		N		
		9	9	12
W	17	*	6	E
	19	0	9	
		S		



\*\*\*\*\*  
 ASTRONOMICAL POSITIONING BY THE METHOD OF EQUAL HEIGHTS  
 \*\*\*\*\*

STATION pp3  
 DATE 12.8.1994  
 OPERATOR graf  
 INSTRUMENT KERN E2

\*\*\*\*\*  
 ADDITIONAL DATA  
 \*\*\*\*\*

Approximate Coordinates	Latitude	45° 56' 48.35"
	Longitude	8° 56' 15.64"
Meteorology	Temperature	20.0 °C
	Pressure	978.0 hPa
Pole-Coordinates	x	0.0343"
	y	0.1843"
	UT1-UTC	0.7058sec
path delay of time-signal		3ms

\*\*\*\*\*  
 RESULTS  
 \*\*\*\*\*

performed observations 102  
 eliminated observations 40  
 rms of one observation 1.84"

Latitude	45° 56' 48.57"	+/- 0.38"
Longitude	8° 56' 5.41"	+/- 0.43"

Index 10.55" +/- 0.23"

\*\*\*\*\*  
 Star - Distribution  
 \*\*\*\*\*

		N		
	14	1	8	
W	6	*	9	E
	8	4	12	
		S		



\*\*\*\*\*  
 ASTRONOMICAL POSITIONING BY THE METHOD OF EQUAL HEIGHTS  
 \*\*\*\*\*

STATION           pp4  
 DATE             12.8.1994  
 OPERATOR        schaerer  
 INSTRUMENT      KERN E2

\*\*\*\*\*  
 ADDITIONAL DATA  
 \*\*\*\*\*

Approximate Coordinates	Latitude	45° 57' 41.34"
	Longitude	8° 58' 50.45"
Meteorology	Temperature	20.0 °C
	Pressure	978.0 hPa
Pole-Coordinates	x	0.0368"
	y	0.1843"
	UT1-UTC	0.7071sec
path delay of time-signal		3ms

\*\*\*\*\*  
 RESULTS  
 \*\*\*\*\*

performed observations   102  
 eliminated observations   21  
 rms of one observation    1.55"

Latitude	45° 57' 41.04"	+/- 0.33"
Longitude	8° 58' 39.69"	+/- 0.30"

Index           11.21" +/- 0.18"

\*\*\*\*\*  
 Star - Distribution  
 \*\*\*\*\*

		N		
	13	0	15	
W	11	*	15	E
	8	0	19	

S



\*\*\*\*\*  
 ASTRONOMICAL POSITIONING BY THE METHOD OF EQUAL HEIGHTS  
 \*\*\*\*\*

STATION           pp5  
 DATE             13.8.1994  
 OPERATOR        schaerer  
 INSTRUMENT      KERN E2

\*\*\*\*\*  
 ADDITIONAL DATA  
 \*\*\*\*\*

Approximate Coordinates	Latitude	45° 57' 40.95"
	Longitude	8° 56' 40.97"
Meteorology	Temperature	18.0 °C
	Pressure	978.0 hPa
Pole-Coordinates	x	0.0343"
	y	0.1843"
	UT1-UTC	0.7048sec
path delay of time-signal		3ms

\*\*\*\*\*  
 RESULTS  
 \*\*\*\*\*

performed observations   150  
 eliminated observations   42  
 rms of one observation    2.05"

Latitude	45° 57' 40.95"	+/- 0.38"
Longitude	8° 56' 30.17"	+/- 0.33"

Index           13.58"   +/- 0.20"

\*\*\*\*\*  
 Star - Distribution  
 \*\*\*\*\*

		N		
	8	2	18	
W	27	*	16	E
	15	6	16	
		S		



\*\*\*\*\*  
 ASTRONOMICAL POSITIONING BY THE METHOD OF EQUAL HEIGHTS  
 \*\*\*\*\*

STATION           pp6  
 DATE             12.8.1994  
 OPERATOR        graf  
 INSTRUMENT      KERN E2

\*\*\*\*\*  
 ADDITIONAL DATA  
 \*\*\*\*\*

Approximate Coordinates	Latitude	45° 58' 10.79"
	Longitude	8° 58' 37.20"
Meteorology	Temperature	20.0 °C
	Pressure	978.0 hPa
Pole-Coordinates	x	0.0368"
	y	0.1843"
	UT1-UTC	0.7071sec
path delay of time-signal		3ms

\*\*\*\*\*  
 RESULTS  
 \*\*\*\*\*

performed observations   120  
 eliminated observations   51  
 rms of one observation    1.84"

Latitude	45° 58' 11.13"	+/- 0.35"
Longitude	8° 58' 26.16"	+/- 0.42"

Index           10.23"   +/- 0.22"

\*\*\*\*\*  
 Star - Distribution  
 \*\*\*\*\*

		N		
	7	3	18	
W	6	*	8	E
	15	0	12	
		S		



\*\*\*\*\*  
 ASTRONOMICAL POSITIONING BY THE METHOD OF EQUAL HEIGHTS  
 \*\*\*\*\*

STATION           p338  
 DATE             14.8.1994  
 OPERATOR        schaerer  
 INSTRUMENT      KERN E2

\*\*\*\*\*  
 ADDITIONAL DATA  
 \*\*\*\*\*

Approximate Coordinates	Latitude	45° 57' 18.77"
	Longitude	8° 55' 30.67"
Meteorology	Temperature	18.0 °C
	Pressure	978.0 hPa
Pole-Coordinates	x	0.0293"
	y	0.1844"
	UT1-UTC	0.7003sec
path delay of time-signal		3ms

\*\*\*\*\*  
 RESULTS  
 \*\*\*\*\*

performed observations   90  
 eliminated observations   21  
 rms of one observation    1.74"

Latitude	45° 57' 18.77"	+/- 0.37"
Longitude	8° 55' 19.94"	+/- 0.38"

Index           14.81"   +/- 0.21"

\*\*\*\*\*  
 Star - Distribution  
 \*\*\*\*\*

		N		
	5	9	11	
W	10	*	11	E
	15	0	8	

S



\*\*\*\*\*  
 ASTRONOMICAL POSITIONING BY THE METHOD OF EQUAL HEIGHTS  
 \*\*\*\*\*

STATION p338  
 DATE 14.8.1994  
 OPERATOR graf  
 INSTRUMENT KERN E2

\*\*\*\*\*  
 ADDITIONAL DATA  
 \*\*\*\*\*

Approximate Coordinates	Latitude	45x 57' 17.36"
	Longitude	8x 55' 30.22"
Meteorology	Temperature	18.0 xC
	Pressure	978.0 hPa
Pole-Coordinates	x	0.0293"
	y	0.1844"
	UT1-UTC	0.7003sec
path delay of time-signal		3ms

\*\*\*\*\*  
 RESULTS  
 \*\*\*\*\*

performed observations 72  
 eliminated observations 9  
 rms of one observation 1.57"

Latitude	45° 57' 17.36"	+/- 0.35"
Longitude	8° 55' 19.49"	+/- 0.39"

Index 15.20" +/- 0.22"

\*\*\*\*\*  
 Star - Distribution  
 \*\*\*\*\*

		N		
	11	0	12	
W	7	*	18	E
	0	0	15	
		S		



\*\*\*\*\*  
DETERMINATION OF ASTRONOMICAL AZIMUTHS  
\*\*\*\*\*

STATION pp3  
MARK pp3an  
DATE 12.8.1994  
OPERATOR graf  
INSTRUMENT KERN E2

\*\*\*\*\*  
ADDITIONAL DATA  
\*\*\*\*\*

Approximate Coordinates	Latitude	45° 56' 48.35"
	Longitude	8° 56' 15.64"
Meteorology	Temperature	20.0 °C
	Pressure	978.0 hPa
Pole-Coordinates	x	0.0343"
	y	0.1843"
	UT1-UTC	0.7048sec
path delay of time-signal		3msec

\*\*\*\*\*  
RESULTS  
\*\*\*\*\*

performed observations 11 sets  
eliminated observations 5 sets

Azimuth	28° 7' 28.26" +/- 1.63"
---------	-------------------------



**Annexe 2**

**Fichier des mesures et listage complet  
du calcul du réseau GPS de référence**



---

\$\$ME	
SLfirs	
LYPP5	716399.764
LXPP5	91662.608
LHPP5	611.493
LYPP3an	716409.950
LXPP3an	91112.246
LHPP3an	629.897
LYPP3	715821.179
LXPP3	89958.270
LHPP3	690.508
LYPP4	719613.017
LXPP4	91636.924
LHPP4	650.973
LYPP6	719330.033
LXPP6	92492.208
LHPP6	540.586
SLseco	
LYArosio	712907.830
LXArosio	99574.107
LHArosio	926.129
LYPP3	715821.174
LXPP3	89958.277
LHPP3	690.528
LYPP5	716399.764
LXPP5	91662.608
LHPP5	611.493
LYPP6	719330.033
LXPP6	92492.208
LHPP6	540.595
LYPP7	719967.772
LXPP7	96451.969
LHPP7	926.745
SLthir	
LYArosio	712907.830
LXArosio	99574.107
LHArosio	926.129
LYPP7	719967.772
LXPP7	96451.962
LHPP7	926.758
SLthir	
LYPP7	719967.772
LXPP7	96451.962
LHPP7	926.758
LYPP6	719330.015
LXPP6	92492.227
LHPP6	540.576
SLthir	
LYPP7	719967.772
LXPP7	96451.962
LHPP7	926.758
LYPP3	715821.171
LXPP3	89958.281
LHPP3	690.522
SLthir	
LYPP3	715821.171
LXPP3	89958.281
LHPP3	690.522

---

LYPP5	716399.761
LXPP5	91662.616
LHPP5	611.511
SLfour	
LYPP3	715821.171
LXPP3	89958.281
LHPP3	690.522
LYPP1	715096.608
LXPP1	87578.721
LHPP1	417.922
LYPP2	719822.885
LXPP2	88208.785
LHPP2	535.315
LYPP5	716399.756
LXPP5	91662.605
LHPP5	611.502
SLfift	
LYPP1	715096.608
LXPP1	87578.721
LHPP1	417.922
LYPP2	719822.887
LXPP2	88208.783
LHPP2	535.294
SLsixt	
LYMorcote	714423.345
LXMorcote	87011.609
LHMorcote	470.226
LYGenero95	722649.917
LXGenero95	87787.049
LHGenero95	1691.582
LYPP1	715096.608
LXPP1	87578.671
LHPP1	417.926
LYPP2	719822.883
LXPP2	88208.731
LHPP2	535.297
LYPP4	719613.005
LXPP4	91636.884
LHPP4	650.985
SLseve	
LYMorcote	714423.345
LXMorcote	87011.609
LHMorcote	470.226
LYGenero95	722649.917
LXGenero95	87787.049
LHGenero95	1691.560
LYPP2	719822.885
LXPP2	88208.739
LHPP2	535.307
LYPP4	719613.011
LXPP4	91636.881
LHPP4	650.984
SLeigh	
LYGenero95	722649.951
LXGenero95	87787.042
LHGenero95	1691.606
LYMorcote	714423.369
LXMorcote	87011.606

---

LHMorcote	470.246
LYPP2	719822.910
LXPP2	88208.730
LHPP2	535.337
LYPP4	719613.027
LXPP4	91636.865
LHPP4	651.016
SLnint	
LYMorcote	714423.345
LXMorcote	87011.609
LHMorcote	470.226
LYPP2	719822.882
LXPP2	88208.722
LHPP2	535.299
LYPP4	719613.014
LXPP4	91636.882
LHPP4	650.979



## LAGE - ABRISS

\*\*\*\*\*

NR	PUNKT	TYP NP G/M	OR/BOB. CC/MM	VERB. CC/MM	M.F. CC/MM	ZI %	NABLA CC/MM	WI	GI CC/MM
----	-------	---------------	------------------	----------------	---------------	---------	----------------	----	-------------

## firs GPS-KOORD

TRANSF. PARAMETER: DY = -1.4 +/- 3.3 MM ( 1) DREH = .669 +/- .859 CC ( 1)  
 GRUPPE = (firs ) DX = 5.2 +/- 3.3 MM ( 1) MST = -2.557 +/- 1.349 PPM ( 1)

## SCHWERPUNKTE: ---- LOKAL ----

Y = 717514.7886 M  
 X = 91372.4513 M

## ---- GLOBAL ----

Y = 717514.7935 M  
 X = 91372.4260 M

1	PP5	N							
	LY		716399.764	1.	5.0	47.	30	.4	
2	LX		91662.608	-3.	5.0	47.	30	-.8	
	PP3an	N							
3	LY		716409.950	0.	5.0	0.		UNEND. NICHT BESTI	
4	LX		91112.246	0.	5.0	0.		UNEND. NICHT BESTI	
	PP3	N							
5	LY		715821.179	-2.	5.0	25.	41	-.6	
6	LX		89958.270	2.	5.0	25.	41	.8	
	PP4	N							
7	LY		719613.017	2.	5.0	31.	38	.6	
8	LX		91636.924	-1.	5.0	31.	38	-.3	
	PP6	N							
9	LY		719330.033	-2.	5.0	30.	38	-.6	
10	LX		92492.208	2.	5.0	30.	38	.6	

## seco GPS-KOORD

TRANSF. PARAMETER: DY = -1.8 +/- 2.9 MM ( 2) DREH = .587 +/- .186 CC ( 3)  
 GRUPPE = (seco ) DX = 4.4 +/- 2.9 MM ( 2) MST = -3.632 +/- .292 PPM ( 3)

## SCHWERPUNKTE: ---- LOKAL ----

Y = 716885.3147 M  
 X = 94027.8336 M

## ---- GLOBAL ----

Y = 716885.3217 M  
 X = 94027.8134 M

	Arosio								
11	LY		712907.830	0.	5.0	45.	31	.1	
12	LX		99574.107	1.	5.0	45.	31	.2	
	PP3	N							
13	LY		715821.174	2.	5.0	58.	27	.6	
14	LX		89958.277	1.	5.0	58.	27	.3	
	PP5	N							
15	LY		716399.764	0.	5.0	55.	28	.1	
16	LX		91662.608	1.	5.0	55.	28	.4	
	PP6	N							
17	LY		719330.033	-6.	5.0	48.	30	-1.7	
18	LX		92492.208	5.	5.0	48.	30	1.4	
	PP7	N							
19	LY		719967.772	3.	5.0	55.	28	.8	
20	LX		96451.969	-8.	5.0	55.	28	-2.2	

## thir GPS-KOORD

TRANSF. PARAMETER: DY = -2.1 +/- 2.9 MM ( 4) DREH = .587 +/- .186 CC ( 3)  
 GRUPPE = (thir ) DX = 4.3 +/- 2.9 MM ( 4) MST = -3.632 +/- .292 PPM ( 3)

## SCHWERPUNKTE: ---- LOKAL ----

Y = 716437.8011 M  
 X = 98013.0345 M

## ---- GLOBAL ----

Y = 716437.8116 M  
 X = 98013.0258 M

	Arosio								
21	LY		712907.830	-1.	5.0	57.	27	-.4	
22	LX		99574.107	4.	5.0	57.	27	1.1	
	PP7	N							
23	LY		719967.772	1.	5.0	68.	25	.3	
24	LX		96451.962	2.	5.0	68.	25	.5	

## thir GPS-KOORD

TRANSF. PARAMETER: DY = -2.1 +/- 2.9 MM ( 4) DREH = .587 +/- .186 CC ( 3)  
 GRUPPE = (thir ) DX = 4.3 +/- 2.9 MM ( 4) MST = -3.632 +/- .292 PPM ( 3)

SCHWERPUNKTE: ---- LOKAL ----  
 Y = 719648.8934 M  
 X = 94472.0945 M

---- GLOBAL ----  
 Y = 719648.9160 M  
 X = 94472.0657 M

25	PP7	N						
	LY		719967.772	-3.	5.0	71.	25	-.6
26	LX		96451.962	6.	5.0	71.	25	1.4
	PP6	N						
27	LY		719330.015	7.	5.0	49.	30	2.1
28	LX		92492.227	-7.	5.0	49.	30	-1.9

## thir GPS-KOORD

TRANSF. PARAMETER: DY = -2.1 +/- 2.9 MM ( 4) DREH = .587 +/- .186 CC ( 3)  
 GRUPPE = (thir ) DX = 4.3 +/- 2.9 MM ( 4) MST = -3.632 +/- .292 PPM ( 3)

SCHWERPUNKTE: ---- LOKAL ----  
 Y = 717894.4715 M  
 X = 93205.1213 M

---- GLOBAL ----  
 Y = 717894.4855 M  
 X = 93205.0954 M

29	PP7	N						
	LY		719967.772	-1.	5.0	71.	25	-.3
30	LX		96451.962	0.	5.0	71.	25	.1
	PP3	N						
31	LY		715821.171	1.	5.0	68.	25	.3
32	LX		89958.281	-1.	5.0	68.	25	-.3

## thir GPS-KOORD

TRANSF. PARAMETER: DY = -2.1 +/- 2.9 MM ( 4) DREH = .587 +/- .186 CC ( 3)  
 GRUPPE = (thir ) DX = 4.3 +/- 2.9 MM ( 4) MST = -3.632 +/- .292 PPM ( 3)

SCHWERPUNKTE: ---- LOKAL ----  
 Y = 716110.4661 M  
 X = 90810.4481 M

---- GLOBAL ----  
 Y = 716110.4732 M  
 X = 90810.4143 M

33	PP3	N						
	LY		715821.171	-1.	5.0	68.	25	-.2
34	LX		89958.281	0.	5.0	68.	25	-.1
	PP5	N						
35	LY		716399.761	-4.	5.0	59.	27	-.9
36	LX		91662.616	-4.	5.0	59.	27	-1.0

## four GPS-KOORD

TRANSF. PARAMETER: DY = -1.1 +/- 3.2 MM ( 5) DREH = .587 +/- .186 CC ( 3)  
 GRUPPE = (four ) DX = 4.4 +/- 3.2 MM ( 5) MST = -3.632 +/- .292 PPM ( 3)

SCHWERPUNKTE: ---- LOKAL ----  
 Y = 716785.1051 M  
 X = 89352.0980 M

---- GLOBAL ----  
 Y = 716785.1156 M  
 X = 89352.0595 M

37	PP3	N						
	LY		715821.171	-1.	5.0	49.	29	-.2
38	LX		89958.281	-1.	5.0	49.	29	-.4
	PP1	N						
39	LY		715096.608	0.	5.0	42.	32	-.1
40	LX		87578.721	-1.	5.0	42.	32	-.3
	PP2	N						
41	LY		719822.885	-1.	5.0	51.	29	-.2
42	LX		88208.785	-3.	5.0	51.	29	-.8
	PP5	N						
43	LY		716399.756	2.	5.0	49.	30	.5
44	LX		91662.605	5.	5.0	49.	30	1.6

## fift GPS-KOORD

TRANSF. PARAMETER: DY = -1 +/- 4.0 MM ( 6) DREH = .587 +/- .186 CC ( 3)  
 GRUPPE = (fift ) DX = 2.4 +/- 4.0 MM ( 6) MST = -3.632 +/- .292 PPM ( 3)

SCHWERPUNKTE: ---- LOKAL ----  
 Y = 717459.7478 M  
 X = 87893.7521 M

---- GLOBAL ----  
 Y = 717459.7579 M  
 X = 87893.7047 M

45	PP1	N						
	LY		715096.608	1.	5.0	36.	35	.4
46	LX		87578.721	0.	5.0	36.	35	.0
	PP2	N						
47	LY		719822.887	-1.	5.0	36.	35	-.4
48	LX		88208.783	0.	5.0	36.	35	.0

## sixt GPS-KOORD

TRANSF. PARAMETER: DY = -.4 +/- 2.3 MM ( 7) DREH = .587 +/- .186 CC ( 3)  
 GRUPPE = (sixt ) DX = 1.1 +/- 2.3 MM ( 7) MST = -3.632 +/- .292 PPM ( 3)

SCHWERPUNKTE: ---- LOKAL ----  
 Y = 718321.1517 M  
 X = 88444.5889 M

---- GLOBAL ----  
 Y = 718321.1682 M  
 X = 88444.5904 M

49	Morcote							
	LY		714423.345	-1.	5.0	66.	26	-.4
50	LX		87011.609	1.	5.0	66.	26	.3
	Genero95							
51	LY		722649.917	2.	5.0	60.	27	.4
52	LX		87787.049	-1.	5.0	60.	27	-.3
	PP1	N						
53	LY		715096.608	-1.	5.0	45.	31	-.3
54	LX		87578.671	1.	5.0	45.	31	.3
	PP2	N						
55	LY		719822.883	-1.	5.0	64.	26	-.1
56	LX		88208.731	3.	5.0	64.	26	.7
	PP4	N						
57	LY		719613.005	1.	5.0	60.	27	.3
58	LX		91636.884	-4.	5.0	60.	27	-1.0

## seve GPS-KOORD

TRANSF. PARAMETER: DY = -.6 +/- 2.4 MM ( 8) DREH = .587 +/- .186 CC ( 3)  
 GRUPPE = (seve ) DX = .7 +/- 2.4 MM ( 8) MST = -3.632 +/- .292 PPM ( 3)

SCHWERPUNKTE: ---- LOKAL ----  
 Y = 719127.2897 M  
 X = 88661.0696 M

---- GLOBAL ----  
 Y = 719127.3074 M  
 X = 88661.0692 M

59	Morcote							
	LY		714423.345	0.	5.0	64.	26	.1
60	LX		87011.609	3.	5.0	64.	26	.7
	Genero95							
61	LY		722649.917	3.	5.0	59.	27	.9
62	LX		87787.049	0.	5.0	59.	27	.0
	PP2	N						
63	LY		719822.885	0.	5.0	59.	27	.0
64	LX		88208.739	-4.	5.0	59.	27	-1.1
	PP4	N						
65	LY		719613.012	-4.	5.0	58.	27	-.9
66	LX		91636.881	1.	5.0	58.	27	.4

## eigh GPS-KOORD

TRANSF. PARAMETER: DY = -.6 +/- 2.4 MM ( 9) DREH = .587 +/- .186 CC ( 3)  
 GRUPPE = (eigh ) DX = .7 +/- 2.4 MM ( 9) MST = -3.632 +/- .292 PPM ( 3)

SCHWERPUNKTE: ---- LOKAL ----  
 Y = 719127.3143 M  
 X = 88661.0607 M

---- GLOBAL ----  
 Y = 719127.3074 M  
 X = 88661.0692 M

Genero95								
67	LY		722649.951	-6.	5.0	59.	27	-1.5
68	LX		87787.042	-1.	5.0	59.	27	-.4
Morcote								
69	LY		714423.369	1.	5.0	64.	26	.3
70	LX		87011.606	-4.	5.0	64.	26	-.9
PP2 N								
71	LY		719822.910	-1.	5.0	59.	27	-.3
72	LX		88208.730	-3.	5.0	59.	27	-.9
PP4 N								
73	LY		719613.027	6.	5.0	58.	27	1.5
74	LX		91636.865	8.	5.0	58.	27	2.2

## nint GPS-KOORD

TRANSF. PARAMETER: DY = -9 +/- 2.9 MM ( 10) DREH = .587 +/- .186 CC ( 3)  
 GRUPPE = (nint ) DX = .9 +/- 2.9 MM ( 10) MST = -3.632 +/- .292 PPM ( 3)

## SCHWERPUNKTE: ---- LOKAL ----

Y = 717953.0804 M  
 X = 88952.4042 M

## ---- GLOBAL ----

Y = 717953.0928 M  
 X = 88952.4116 M

Morcote								
75	LY		714423.345	1.	5.0	54.	28	.4
76	LX		87011.609	-3.	5.0	54.	28	-.7
PP2 N								
77	LY		719822.882	4.	5.0	53.	28	1.0
78	LX		88208.722	8.	5.0	53.	28	2.1
PP4 N								
79	LY		719613.014	-5.	5.0	52.	29	-1.4
80	LX		91636.882	-5.	5.0	52.	29	-1.4

## STATISTIK

\*\*\*\*\*

2 WI GROESSER 2.5, GROESSTER WERT N. B. BEI BEOBACHTUNG NUMMER 3

GRENZE ENTDECKB. FEHLER: 4.1, FEHLER 2. ART: 5.0 %

## HOEHEN - ABRISS

\*\*\*\*\*

NR	PUNKT	TYP NP G/M	OR/BEOB. CC/MM	VERB. CC/MM	M.F. CC/MM	ZI %	NABLA CC/MM	WI	GI CC/MM
----	-------	---------------	-------------------	----------------	---------------	---------	----------------	----	-------------

## firs GPS-KOORD

TRANSF. PARAMETER: DH = 21.7 +/- 6.6 MM ( 1) DREH. UM X = 2.223 +/- 2.943 CC ( 1)  
 GRUPPE = (firs ) DREH. UM Y = -4.472 +/- 2.943 CC ( 1)

81	PP5	N	611.493	3.	10.0	11.	128	.8
82	PP3an	N	629.898	0.	10.0	0.	UNEND. NICHT BES	
83	PP3	N	690.508	-2.	10.0	6.	173	-.8
84	PP4	N	650.973	3.	10.0	16.	105	.8
85	PP6	N	540.586	-4.	10.0	23.	86	-.8

## seco GPS-KOORD

TRANSF. PARAMETER: DH = 11.6 +/- 6.0 MM ( 12) DREH. UM X = 2.003 +/- .473 CC ( 13)  
 GRUPPE = (seco ) DREH. UM Y = -.029 +/- .473 CC ( 13)

86	Arosio		926.129	1.	10.0	29.	76	.2
87	PP3	N	690.528	-4.	10.0	51.	58	-.6
88	PP5	N	611.493	8.	10.0	49.	59	1.2
89	PP6	N	540.595	-12.	10.0	47.	61	-1.7
90	PP7	N	926.745	7.	10.0	55.	56	.9

thir		GPS-KOORD							
		TRANSF. PARAMETER:		DH =		DREH. UM X =		DREH. UM Y =	
		GRUPPE = (thir )		11.3 +/- 6.0 MM ( 14)		2.003 +/- .473 CC ( 13)		-.029 +/- .473 CC ( 13)	
91	Arosio			926.129	0. 10.0	56.	56	.0	
92	PP7	N		926.758	-7. 10.0	61.	53	-.9	

thir		GPS-KOORD							
		TRANSF. PARAMETER:		DH =		DREH. UM X =		DREH. UM Y =	
		GRUPPE = (thir )		11.3 +/- 6.0 MM ( 14)		2.003 +/- .473 CC ( 13)		-.029 +/- .473 CC ( 13)	
93	PP7	N		926.758	3. 10.0	70.	49	.4	
94	PP6	N		540.577	16. 10.0	46.	61	2.3	

thir		GPS-KOORD							
		TRANSF. PARAMETER:		DH =		DREH. UM X =		DREH. UM Y =	
		GRUPPE = (thir )		11.3 +/- 6.0 MM ( 14)		2.003 +/- .473 CC ( 13)		-.029 +/- .473 CC ( 13)	
95	PP7	N		926.758	-2. 10.0	69.	50	-.3	
96	PP3	N		690.522	5. 10.0	65.	51	.6	

thir		GPS-KOORD							
		TRANSF. PARAMETER:		DH =		DREH. UM X =		DREH. UM Y =	
		GRUPPE = (thir )		11.3 +/- 6.0 MM ( 14)		2.003 +/- .473 CC ( 13)		-.029 +/- .473 CC ( 13)	
97	PP3	N		690.522	-1. 10.0	65.	52	-.1	
98	PP5	N		611.511	-12. 10.0	52.	57	-1.7	

four		GPS-KOORD							
		TRANSF. PARAMETER:		DH =		DREH. UM X =		DREH. UM Y =	
		GRUPPE = (four )		9.6 +/- 6.3 MM ( 15)		2.003 +/- .473 CC ( 13)		-.029 +/- .473 CC ( 13)	
99	PP3	N		690.522	3. 10.0	47.	61	.4	
100	PP1	N		417.922	4. 10.0	40.	65	.6	
101	PP2	N		535.315	-8. 10.0	46.	61	-1.2	
102	PP5	N		611.502	1. 10.0	40.	65	.2	

fift		GPS-KOORD							
		TRANSF. PARAMETER:		DH =		DREH. UM X =		DREH. UM Y =	
		GRUPPE = (fift )		20.1 +/- 7.8 MM ( 16)		2.003 +/- .473 CC ( 13)		-.029 +/- .473 CC ( 13)	
103	PP1	N		417.922	-4. 10.0	36.	70	-.7	
104	PP2	N		535.294	4. 10.0	36.	70	.7	

sixt		GPS-KOORD							
		TRANSF. PARAMETER:		DH =		DREH. UM X =		DREH. UM Y =	
		GRUPPE = (sixt )		15.1 +/- 4.6 MM ( 17)		2.003 +/- .473 CC ( 13)		-.029 +/- .473 CC ( 13)	
105	Morcote			470.226	-3. 10.0	60.	53	-.4	
106	Genero95			1691.582	-5. 10.0	53.	57	-.7	
107	PP1	N		417.926	0. 10.0	44.	63	.0	
108	PP2	N		535.297	8. 10.0	64.	52	1.0	
109	PP4	N		650.985	0. 10.0	59.	54	.0	

seve		GPS-KOORD							
		TRANSF. PARAMETER:		DH =		DREH. UM X =		DREH. UM Y =	
		GRUPPE = (seve )		21.1 +/- 4.9 MM ( 18)		2.003 +/- .473 CC ( 13)		-.029 +/- .473 CC ( 13)	
110	Morcote			470.226	-6. 10.0	58.	54	-.8	
111	Genero95			1691.560	14. 10.0	52.	57	1.9	
112	PP2	N		535.307	-5. 10.0	58.	54	-.6	
113	PP4	N		650.984	-3. 10.0	57.	55	-.4	

eigh		GPS-KOORD							
TRANSF. PARAMETER: GRUPPE = (eigh )				DH = -11.0 +/- 4.9 MM ( 19)		DREH. UM X = 2.003 +/- .473 CC ( 13)		DREH. UM Y = -.029 +/- .473 CC ( 13)	
114	Genero95			1691.606	0.	10.0	52.	57	.0
115	Morcote			470.246	6.	10.0	58.	54	.8
116	PP2	N		535.337	-3.	10.0	58.	54	-.4
117	PP4	N		651.016	-3.	10.0	57.	55	-.4

nint		GPS-KOORD							
TRANSF. PARAMETER:				DH = 16.9 +/- 5.8 MM ( 20)		DREH. UM X = 2.003 +/- .473 CC ( 13)			
GRUPPE = (nint )						DREH. UM Y = -.029 +/- .473 CC ( 13)			
118	Morcote			470.226	-6.	10.0	52.	58	-.8
119	PP2	N		535.299	3.	10.0	53.	57	.4
120	PP4	N		650.979	3.	10.0	51.	58	.4

## STATISTIK

\*\*\*\*\*

1 WI GROESSER 2.5, GROESSTER WERT N. B. BEI BEOBACHTUNG NUMMER 82

GRENZE ENTDECKB. FEHLER: 4.1, FEHLER 2. ART: 5.0 %

KOORDINATEN UND HOEHEN, NEUPUNKTE MIT AENDERUNGEN UND MITTL. FEHLERELLIPSEN

\*\*\*\*\*

PUNKT	Y M	X M	H M	DY MM	DX MM	DH MM	MFA MM	MFB MM	MFAZ G	MFH MM	MESSELEM. LAGE	HOE.
NULLBERN	600000.000	200000.000	.000								0	0
Morcote	714423.345	87011.609	470.226								8	4
PP2	719822.905	88208.732	535.326	23.1	9.9	26.0	2.6	2.6	-50.0	5.2	12	6
PP4	719613.031	91636.891	651.004	16.8	9.6	24.8	2.8	2.8	50.0	6.3	10	5
Genero95	722649.951	87787.042	1691.606								6	3
PP1	715096.611	87578.673	417.931	3.4	1.3	5.0	3.5	3.5	21.0	7.1	6	3
PP3	715821.178	89958.239	690.532	6.7	-41.3	9.5	3.3	3.3	6.9	6.8	10	5
PP5	716399.769	91662.576	611.511	13.0	-28.8	9.6	3.3	3.3	-63.2	7.1	8	4
PP7	719967.797	96451.942	926.773	25.2	-20.1	15.2	3.7	3.7	-28.2	7.7	8	4
PP6	719330.044	92492.180	540.602	29.2	-46.5	26.0	3.7	3.7	-50.0	7.7	6	3
Arosio	712907.830	99574.107	926.129								4	2
PP3an	716409.954	91112.216	629.917	3.2	-30.0	19.7	5.8	5.8	50.0	12.0	2	1

## AEUSSERE ZUVERLAESSIGKEIT UND MITTLERE FEHLERELLIPSEN A PRIORI

\*\*\*\*\*

PUNKT	NA MM	NB MM	AZI(NA) G	NH MM	NR.A	NR.B	NR.H	DY MM	DX MM	DH MM	MFA MM	MFB MM	MFAZ G	MFH MM
PP2	6.0	6.0	98.1	13.0	63	64	106	23.1	9.9	26.0	3.0	3.0	-50.0	6.2
PP4	6.2	6.2	395.9	15.8	74	73	86	16.8	9.6	24.8	3.2	3.2	50.0	7.3
PP1	13.7	13.7	2.1	28.7	54	53	107	3.4	1.3	5.0	4.0	4.0	21.0	8.4
PP3	8.5	8.5	197.4	19.2	22	21	99	6.7	-41.3	9.5	3.8	3.8	6.9	8.0
PP5	8.6	8.6	96.8	25.0	43	44	102	13.0	-28.8	9.6	3.8	3.8	-63.2	8.4
PP7	10.1	10.1	204.4	24.1	22	21	86	25.2	-20.1	15.2	4.2	4.2	-28.2	9.0
PP6	11.1	11.1	101.8	24.4	27	28	94	29.2	-46.5	26.0	4.2	4.2	-50.0	9.0
PP3an	UNEND.	UNEND.	100.0	UNEND.	3	4	82	3.2	-30.0	19.7	6.7	6.7	50.0	14.1

Gezwaengte Ausgleichung  
GPS-Tunnelnetz LUGANO (Referenz)

	LAGE	HOEHE
M. FEHLERQUOT. TOTAL:		
OHNE RUNDUNG (Q^)	.87	.85
SCHLUSSKONTROLLE	.87	.85
WAHRSCH. DASS Q < Q^:	12.8%	20.3%
ANZAHL BEOBACHTUNGEN	80	40
ANZAHL UNBEKANNTE	38	21

UEBERBESTIMMUNGEN	42	19
SIGNIFIKANTE STELLEN	2.8	3.1
MAX. M. KOORD. FEHLER	5.8 MM	12.0 MM
ITERATIONEN (MAX.)	2 ( 3)	2 ( 3)
MAX. AEND. LETZTE IT.	7.0 MM	.0 MM
ABBRUCHSCHRANKE	20.0 MM	20.0 MM
GRENZWERT ROB. AUSGL.	N. ROB.	N. ROB.
RECHENZEIT	1.5 SEK. (CPU)	
Y,X,H NACH RUNDUNG	4 DEZ.	
ANZAHL STATIONEN	24	
BEOBACHTUNGSZEILEN	120	

MITTLERE FEHLER DER BEOBACHTUNGSGRUPPEN:	GR	ANZ	A PRIORI	SCHLUSS	QUOT.	REDUND.
KOORDINATEN (GPS) :	80	5.0 MM	4.4 MM	.87	42.000	
HOEHEN (GPS) :	40	10.0 MM	4.3 MM	.85	19.000	



**Annexe 3**

**Fichier des mesures conventionnelles et  
gyroscopiques et listage du calcul de contrôle**



\$\$ME			
STPP3			
AZPP3an	31.24950	5.0	2
STPP3			
AZPP3an	31.25340		1
STPP3			
AZPP3an	31.25410		1
STPP3			
AZPP3an	31.25530	9999.	1
STPP3			
AZPP3an	31.25320		1
STPP3			
AZPP3an	31.25260		1
STPP3			
AZPP3an	31.25190		1
STPP3			
AZPP3an	31.25330		1
STPP3			
AZPP3an	31.25330		1
STPP3			
AZPP3an	31.25230		1
STPP3			
AZPP3an	31.25240		1
STPP3			
AZPP3an	31.25150		1
STPP3			
AZPP3an	31.25250		1
STPP3			
AZPP3an	31.25290		1
STPP2			
AZPP3	327.4925		1
STPP2			
AZPP3	327.4925		1
STPP2			
AZPP3	327.4937		1
STPP3			
AZPP2	127.4580		1
STPP3			
AZPP2	127.4579		1
STPP3			
AZPP2	127.4580		1
STPP3			
AZPP4	74.6879		1
STPP3			
AZPP4	74.6859		1
STPP3			
AZPP4	74.6860		1
STPP3			
AZPP4	74.6885		1
STPP3			
AZPP4	74.6862		1
STPP4			
AZPP3	274.7227		1
STPP4			
AZPP3	274.7212		1
STPP4			
AZPP3	274.7222		1
STPP4			

AZPP5ex	301.9683	9999.	1		
STPP4					
AZPP5ex	301.9670		1		
STPP4					
AZPP5ex	301.9647		1		
STPP4					
AZPP5ex	301.9660		1		
STPP4					
AZPP5ex	301.9706	9999.	1		
STPP4					
AZPP5ex	301.9693	9999.	1		
STPP4					
AZPP5ex	301.9688	9999.	1		
STPP5ex					
AZPP4	101.9406	9999.	1		
STPP5ex					
AZPP4	101.9379		1		
STPP5ex					
AZPP4	101.9368		1		
STPP5ex					
AZPP4	101.9401	9999.	1		
STPP5ex					
AZPP4	101.9389		1		
STPP5ex					
AZPP6	83.8678		1		
STPP5ex					
AZPP6	83.8662		1		
STPP5ex					
AZPP6	83.8687		1		
STPP5ex					
AZPP6	83.8677		1		
STPP6					
AZPP5ex	283.8917		1		
STPP6					
AZPP5ex	283.8908	9999.	1		
STPP6					
AZPP5ex	283.8922		1		
STPP5					
RIGenero03	0.0000				
RIPP5ex	265.5888				
DPPP5ex	10.303	20.0			
STPP1	T3000 T:1700	1.691		HUNTER HUES	940803
RIMorcote	0.0000				
RIGenero03	242.1233				
RIPP2	236.1252				
STPP1	T3000 T:1856	1.544		HUNTER ZIMM	940804
RIMorcote	0.0000				
RIGenero03	242.1244				
RIPP2	236.1256				
STPP2	T3000 T:1038	1.548		HUNTER DET2	940803
RIPP1	0.0000				
RIPP3	34.6759				
STPP2	T3000 T: 633	1.501		HUNTER Luet	940804
RIPP3	0.0000				
RIPP1	365.3238				
RIGenero03	181.3699				
STPP3	T3000 T:1844	1.603		HUNTER HUES	940803
RIPP2	0.0000				

RIGenero03		392.6507			
RIPP4		347.2293			
STPP4	T3000	T: 737	1.583	HUNTER Luet	940804
RIPP5		0.0000			
RIPP3		372.9591			
STPP5	T3000	T:1759	1.577	HUNTER ZIMM	940804
RIGenero03		0.0000			
RIPP4		365.8059			
RIPP6		347.7335			
STPP6	T3000	T: 749	1.530	HUNTER INGL	940804
RIPP7		0.0000			
RIPP5		272.2694			
STPP7	T3000	T:1553	1.491	HUNTER SCHM	940804
RIPP6		0.0000			
RIGenero03		370.5073			
RIMte.Boglia		226.1858			
STPP7	T3000	T:1622	1.431	HUNTER SCHM	940804
RIPP6		0.0000			
RIGenero03		370.5073			
RIMte.Boglia		226.1861			
STPP1	T3000	T:1700	1.691	HUNTER HUES	940803
HWPP2		1.5458	1.691	1.565	
STPP2	T3000	T:1038	1.548	HUNTER DET2	940803
HWPP1		-1.5819	1.548	1.565	
HWPP3		2.2463	1.548	1.670	
STPP2	T3000	T: 633	1.501	HUNTER Luet	940804
HWPP3		2.2484	1.501	1.670	
HWPP1		-1.5840	1.501	1.443	
STPP3	T3000	T:1844	1.603	HUNTER HUES	940803
HWPP2		-2.2798	1.603	1.565	
HWPP4		-.6232	1.603	1.670	
STPP4	T3000	T: 737	1.583	HUNTER Luet	940804
HWPP5		-.7930	1.583	1.498	
HWPP3		.5955	1.583	1.670	
STPP5	T3000	T:1759	1.577	HUNTER ZIMM	940804
HWPP4		.7701	1.577	1.670	
HWPP6		-1.4954	1.577	1.540	
STPP6	T3000	T: 749	1.530	HUNTER INGL	940804
HWPP7		6.0945	1.530	1.535	
HWPP5		1.4711	1.530	1.438	
STPP7	T3000	T:1553	1.491	HUNTER SCHM	940804
HWPP6		-6.1246	1.491	1.540	
STPP1					
DSPP2		4769.164	1.691	1.565	
STPP2					
DSPP3		4369.970	1.501	1.565	
DSPP1		4769.173	1.501	1.540	
STPP3					
DSPP2		4369.960	1.603	1.565	
DSPP4		4146.825	1.603	1.670	
STPP4					
DSPP3		4146.827	1.583	1.655	
DSPP5		3213.461	1.583	1.580	
STPP5					
DSPP6		3046.106	1.577	1.540	
DSPP4		3213.458	1.577	1.500	
STPP6					
DSPP7		4029.289	1.530	1.515	

---

DSPP5	3046.117	1.530	1.580
STPP7			
DSPP6	4029.292	1.491	1.540

## LAGE - ABRISS (MIT AZIMUTREDUKTIONEN UND LOTABW.-KORREKTUR)

\*\*\*\*\*

MITTL. FEHLER A PRIORI VON REDUZIERTEN DISTANZEN, RICHTUNGEN UND AZIMUTEN

TYP	GRUPPE	ZENTR.	A	B	C	M.F. F. 1KM
EDM	3	2.00 MM	1.00 MM	1.00 MM/KM	.00 MM/KM2	2.83 MM
RICHTUNGEN	1	2.00 MM	3.00 CC			3.26 CC
AZIMUTE	1	2.00 MM	8.00 CC			8.10 CC
AZIMUTE	2	2.00 MM	8.00 CC			8.10 CC

NR	PUNKT	NP	OR/BEOB. G/M	GR	KORR. CC/MM	VERB. CC/MM	M.F. CC/MM	ZI %	NABLA CC/MM	WI	GI CC/MM	AZI. AUS KOORD.(G)	DIST. AUS KOORD.(M)	QUER. MM
	PP3	N	AZIMUTE		-12144.6									
1	PP3an		31.24950	2	-2.	-5.1	5.0	77.	24	-1.2		30.03430	1295.487	-10.
	PP3	N	AZIMUTE		-12144.6									
2	PP3an		31.25340	1	-2.	-4.3	8.1	94.	34	-6		30.03430	1295.487	-9.
	PP3	N	AZIMUTE		-12144.6									
3	PP3an		31.25410	1	-2.	-11.3	8.1	94.	34	-1.4		30.03430	1295.487	-23.
	PP3	N	AZIMUTE		-12144.6									
	PP3an		31.25530	1	-2.	-23.3	ELIM.					30.03430	1295.487	-47.
	PP3	N	AZIMUTE		-12144.6									
4	PP3an		31.25320	1	-2.	-2.3	8.1	94.	34	-3		30.03430	1295.487	-5.
	PP3	N	AZIMUTE		-12144.6									
5	PP3an		31.25260	1	-2.	3.7	8.1	94.	34	.5		30.03430	1295.487	8.
	PP3	N	AZIMUTE		-12144.6									
6	PP3an		31.25190	1	-2.	10.7	8.1	94.	34	1.4		30.03430	1295.487	22.
	PP3	N	AZIMUTE		-12144.6									
7	PP3an		31.25330	1	-2.	-3.3	8.1	94.	34	-4		30.03430	1295.487	-7.
	PP3	N	AZIMUTE		-12144.6									
8	PP3an		31.25330	1	-2.	-3.3	8.1	94.	34	-4		30.03430	1295.487	-7.
	PP3	N	AZIMUTE		-12144.6									
9	PP3an		31.25230	1	-2.	6.7	8.1	94.	34	.9		30.03430	1295.487	14.
	PP3	N	AZIMUTE		-12144.6									
10	PP3an		31.25240	1	-2.	5.7	8.1	94.	34	.7		30.03430	1295.487	12.
	PP3	N	AZIMUTE		-12144.6									
11	PP3an		31.25150	1	-2.	14.7	8.1	94.	34	1.9		30.03430	1295.487	30.
	PP3	N	AZIMUTE		-12144.6									
12	PP3an		31.25250	1	-2.	4.7	8.1	94.	34	.6		30.03430	1295.487	10.
	PP3	N	AZIMUTE		-12144.6									
13	PP3an		31.25290	1	-2.	.7	8.1	94.	34	.1		30.03430	1295.487	1.

	PP2	N	AZIMUTE	-12508.7									
14	PP3	N	327.49250	1	.	9.4	8.0	92.	35	1.2	326.23865	4367.428	65.
	PP2	N	AZIMUTE	-12508.7									
15	PP3	N	327.49250	1	.	9.4	8.0	92.	35	1.2	326.23865	4367.428	65.
	PP2	N	AZIMUTE	-12508.7									
16	PP3	N	327.49370	1	.	-2.6	8.0	92.	35	-3	326.23865	4367.428	-18.
	PP3	N	AZIMUTE	-12144.6									
17	PP2	N	127.45800	1	-5.	-3.6	8.0	92.	35	-5	126.23865	4367.428	-25.
	PP3	N	AZIMUTE	-12144.6									
18	PP2	N	127.45790	1	-5.	-2.6	8.0	92.	35	-3	126.23865	4367.428	-18.
	PP3	N	AZIMUTE	-12144.6									
19	PP2	N	127.45800	1	-5.	-3.6	8.0	92.	35	-5	126.23865	4367.428	-25.
	PP3	N	AZIMUTE	-12144.6									
20	PP4	N	74.68790	1	-3.	-9.6	8.0	93.	34	-1.2	73.46812	4146.797	-63.
	PP3	N	AZIMUTE	-12144.6									
21	PP4	N	74.68590	1	-3.	10.4	8.0	93.	34	1.3	73.46812	4146.797	67.
	PP3	N	AZIMUTE	-12144.6									
22	PP4	N	74.68600	1	-3.	9.4	8.0	93.	34	1.2	73.46812	4146.797	61.
	PP3	N	AZIMUTE	-12144.6									
23	PP4	N	74.68850	1	-3.	-15.6	8.0	93.	34	-2.0	73.46812	4146.797	-102.
	PP3	N	AZIMUTE	-12144.6									
24	PP4	N	74.68620	1	-3.	7.4	8.0	93.	34	1.0	73.46812	4146.797	48.
	PP4	N	AZIMUTE	-12492.5									
25	PP3	N	274.72270	1	2.	-16.4	8.0	93.	34	-2.1	273.46812	4146.797	-107.
	PP4	N	AZIMUTE	-12492.5									
26	PP3	N	274.72120	1	2.	-1.4	8.0	93.	34	-2	273.46812	4146.797	-9.
	PP4	N	AZIMUTE	-12492.5									
27	PP3	N	274.72220	1	2.	-11.4	8.0	93.	34	-1.5	273.46812	4146.797	-75.
	PP4	N	AZIMUTE	-12492.5									
	PP5ex	N	301.96830	1	3.	-22.0	ELIM.				300.71323	3213.405	-111.
	PP4	N	AZIMUTE	-12492.5									
28	PP5ex	N	301.96700	1	3.	-9.0	8.0	90.	35	-1.2	300.71323	3213.405	-45.
	PP4	N	AZIMUTE	-12492.5									
29	PP5ex	N	301.96470	1	3.	14.0	8.0	90.	35	1.8	300.71323	3213.405	71.

	PP4	N	AZIMUTE		-12492.5								
30	PP5ex	N	301.96600	1	3.	1.0	8.0	90.	35	.1	300.71323	3213.405	5.
	PP4	N	AZIMUTE		-12492.5								
	PP5ex	N	301.97060	1	3.	-45.0	ELIM.				300.71323	3213.405	-227.
	PP4	N	AZIMUTE		-12492.5								
	PP5ex	N	301.96930	1	3.	-32.0	ELIM.				300.71323	3213.405	-162.
	PP4	N	AZIMUTE		-12492.5								
	PP5ex	N	301.96880	1	3.	-27.0	ELIM.				300.71323	3213.405	-136.
	PP5ex	N	AZIMUTE		-12199.5								
	PP4	N	101.94060	1	-1.	-32.6	ELIM.				100.71323	3213.405	-165.
	PP5ex	N	AZIMUTE		-12199.5								
31	PP4	N	101.93790	1	-1.	-5.6	8.0	90.	35	-.7	100.71323	3213.405	-28.
	PP5ex	N	AZIMUTE		-12199.5								
32	PP4	N	101.93680	1	-1.	5.4	8.0	90.	35	.7	100.71323	3213.405	27.
	PP5ex	N	AZIMUTE		-12199.5								
	PP4	N	101.94010	1	-1.	-27.6	ELIM.				100.71323	3213.405	-140.
	PP5ex	N	AZIMUTE		-12199.5								
33	PP4	N	101.93890	1	-1.	-15.6	8.0	90.	35	-2.1	100.71323	3213.405	-79.
	PP5ex	N	AZIMUTE		-12199.5								
34	PP6	N	83.86780	1	-4.	-5.3	8.0	90.	35	-.7	82.64292	3042.602	-26.
	PP5ex	N	AZIMUTE		-12199.5								
35	PP6	N	83.86620	1	-4.	10.7	8.0	90.	35	1.4	82.64292	3042.602	51.
	PP5ex	N	AZIMUTE		-12199.5								
36	PP6	N	83.86870	1	-4.	-14.3	8.0	90.	35	-1.9	82.64292	3042.602	-69.
	PP5ex	N	AZIMUTE		-12199.5								
37	PP6	N	83.86770	1	-4.	-4.3	8.0	90.	35	-.6	82.64292	3042.602	-21.
	PP6	N	AZIMUTE		-12463.2								
38	PP5ex	N	283.89170	1	1.	13.6	8.0	90.	35	1.8	282.64292	3042.602	65.
	PP6	N	AZIMUTE		-12463.2								
	PP5ex	N	283.89080	1	1.	22.6	ELIM.				282.64292	3042.602	108.
	PP6	N	AZIMUTE		-12463.2								
39	PP5ex	N	283.89220	1	1.	8.6	8.0	90.	35	1.1	282.64292	3042.602	41.
	PP5	N	134.70354		-3.8		3.4						
40	Genero03		.00000	1	4.	.0	3.0	0.	UNEND. NICHT BESTI		134.70356	7317.514	0.
41	PP5ex	N	265.58880	1	.	2.0	123.6	0.	UNEND. NICHT BESTI		.29216	10.304	0.

PP5 N DISTANZEN													
42	PP5ex	N	10.303	3	.0	1.	20.0	49.	118	.1	.29216	10.304	
	PP1		255.43927		-10.2		1.9		HUNTER	HUES	940803	T3000	T:1700
43	Morcote		.00000	1	-3.	-2.1	3.3	70.	17	-.8	255.43770	880.255	-3.
44	Genero03		242.12330	1	7.	2.4	3.0	63.	16	1.0	97.56251	7565.669	28.
45	PP2	N	236.12520	1	-2.	-.7	3.0	59.	16	-.3	91.56318	4768.089	-5.
	PP1		255.43874		-10.2		1.9		HUNTER	ZIMM	940804	T3000	T:1856
46	Morcote		.00000	1	-3.	3.2	3.3	70.	17	1.2	255.43770	880.255	4.
47	Genero03		242.12440	1	7.	-3.3	3.0	63.	16	-1.4	97.56251	7565.669	-39.
48	PP2	N	236.12560	1	-2.	.7	3.0	59.	16	.3	91.56318	4768.089	5.
	PP2	N	291.55880		38.5		2.6		HUNTER	DET2	940803	T3000	T:1038
49	PP1		.00000	1	5.	-.5	3.0	32.	22	-.3	291.56318	4768.089	-4.
50	PP3	N	34.67590	1	.	.5	3.0	32.	22	.3	326.23865	4367.428	3.
	PP2	N	326.23488		38.5		2.0		HUNTER	Luet	940804	T3000	T: 633
51	PP3	N	.00000	1	.	-1.3	3.0	41.	20	-.7	326.23865	4367.428	-9.
52	PP1		365.32380	1	5.	.7	3.0	41.	19	.4	291.56318	4768.089	5.
53	Genero03		181.36990	1	28.	.6	3.0	36.	21	.4	107.61150	2854.221	3.
	PP3	N	126.24046		-12.9		2.5		HUNTER	HUES	940803	T3000	T:1844
54	PP2	N	.00000	1	-5.	.3	3.0	54.	17	.2	126.23865	4367.428	2.
55	Genero03		392.65070	1	2.	-.6	3.0	60.	16	-.3	118.89004	7147.909	-7.
56	PP4	N	347.22930	1	-3.	.3	3.0	46.	18	.1	73.46812	4146.797	2.
	PP4	N	300.50477		39.6		3.3		HUNTER	Luet	940804	T3000	T: 737
57	PP5	N	.00000	1	3.	.0	3.0	26.	25	.0	300.50909	3213.353	0.
58	PP3	N	372.95910	1	2.	.0	3.0	26.	25	.0	273.46812	4146.797	0.
	PP5	N	134.70345		-3.8		2.8		HUNTER	ZIMM	940804	T3000	T:1759
59	Genero03		.00000	1	4.	.9	3.0	53.	17	.4	134.70356	7317.514	11.
60	PP4	N	365.80590	1	-1.	3.0	3.0	41.	20	1.6	100.50909	3213.353	15.
61	PP6	N	347.73350	1	-4.	-4.0	3.0	48.	18	-1.9	82.43574	3045.438	-19.
	PP6	N	10.16208		41.0		2.7		HUNTER	INGL	940804	T3000	T: 749
62	PP7		.00000	1	-3.	-.1	3.0	22.	27	-.1	10.16584	4010.784	0.
63	PP5	N	272.26940	1	1.	.1	3.0	22.	27	.1	282.43574	3045.438	0.
	PP7		210.16476		12.6		1.9		HUNTER	SCHM	940804	T3000	T:1553
64	PP6	N	.00000	1	.	-2.5	3.0	54.	17	-1.1	210.16584	4010.784	-16.
65	Genero03		370.50730	1	.	1.5	3.0	63.	16	.6	180.67355	8994.982	22.
66	Mte.Boglia		226.18580	1	6.	1.0	3.0	64.	16	.4	36.35258	2788.279	4.
	PP7		210.16466		12.6		1.9		HUNTER	SCHM	940804	T3000	T:1622
67	PP6	N	.00000	1	.	-1.5	3.0	54.	17	-.7	210.16584	4010.784	-10.
68	Genero03		370.50730	1	.	2.5	3.0	63.	16	1.1	180.67355	8994.982	36.
69	Mte.Boglia		226.18610	1	6.	-1.0	3.0	64.	16	-.4	36.35258	2788.279	-4.
	PP1		DISTANZEN										
70	PP2	N	4768.101	3	-15.8	3.	6.1	58.	33	.7	91.56318	4768.089	
	PP2	N	DISTANZEN										
71	PP3	N	4367.447	3	-14.5	-4.	5.7	59.	31	-1.0	326.23865	4367.428	
72	PP1		4768.108	3	-15.8	-4.	6.1	58.	33	-.8	291.56318	4768.089	

PP3		N DISTANZEN											
73	PP2	N 4367.438	3	-14.5	5.	5.7	59.	31	1.1	126.23865	4367.428		
74	PP4	N 4146.811	3	-13.7	0.	5.5	51.	32	-1	73.46812	4146.797		
PP4		N DISTANZEN											
75	PP3	N 4146.812	3	-13.7	-1.	5.5	51.	32	-3	273.46812	4146.797		
76	PP5	N 3213.364	3	-10.6	0.	4.7	51.	27	-1	300.50909	3213.353		
PP5		N DISTANZEN											
77	PP6	N 3045.443	3	-10.1	5.	4.5	50.	26	1.5	82.43574	3045.438		
78	PP4	N 3213.362	3	-10.6	2.	4.7	51.	27	.5	100.50909	3213.353		
PP6		N DISTANZEN											
79	PP7	4010.794	3	-13.3	4.	5.4	50.	32	.9	10.16584	4010.784		
80	PP5	N 3045.454	3	-10.1	-6.	4.5	50.	26	-1.8	282.43574	3045.438		
PP7		DISTANZEN											
81	PP6	N 4010.800	3	-13.3	-3.	5.4	50.	32	-7	210.16584	4010.784		

## STATISTIK

\*\*\*\*\*

2 WI GROESSER 2.5, GROESSTER WERT N. B. BEI BEOBACHTUNG NUMMER 40  
 GRENZE ENTDECKB. FEHLER: 4.1, FEHLER 2. ART: 5.0 %

## KOORDINATEN UND HOEHEN, NEUPUNKTE MIT AENDERUNGEN UND MITTL. FEHLERELLIPSEN

\*\*\*\*\*

PUNKT	Y M	X M	H M	DY MM	DX MM	DH MM	MFA MM	MFB MM	MFAZ G	MFH MM	MESSELEM. LAGE	HOE.
NULLBERN	600000.000	200000.000	.000								0	0
Morcote	714423.345	87011.609	470.226								2	0
PP2	719822.890	88208.717	535.326	-14.8	-14.5		11.4	7.6	-71.7		18	6
PP4	719613.044	91636.876	651.004	12.7	-15.0		13.2	9.3	-32.8		22	4
Genero03	722656.735	87868.276	1700.276								8	0
PP1	715096.611	87578.673	417.931								10	3
PP3	715821.194	89958.246	690.532	15.5	6.8		15.1	4.5	18.7		37	5
PP5	716399.793	91662.572	611.511	24.1	-3.8		16.5	9.9	5.5		12	4
PP5ex	716399.840	91672.876	611.511	25.4	-8		18.4	9.9	10.9		14	0
PP7	719967.797	96451.942	926.773								9	2
PP6	719330.055	92492.185	540.602	10.8	5.3		11.6	7.8	-56.6		15	4
Mte Boglia	721474.847	98797.853	1514.896								2	0
PP3an	716409.954	91112.216	629.917								13	0

## AEUSSERE ZUVERLAESSIGKEIT UND MITTLERE FEHLERELLIPSEN A PRIORI

\*\*\*\*\*

PUNKT	NA MM	NB MM	AZI(NA) G	NH MM	NR.A	NR.B	NR.H	DY MM	DX MM	DH MM	MFA MM	MFB MM	MFAZ G	MFH MM
PP2	29.7	19.0	154.8		52	53		-14.8	-14.5		10.8	7.2	-71.7	
PP4	32.4	21.4	170.6		56	57		12.7	-15.0		12.5	8.8	-32.8	
PP3	42.8	8.3	18.3		50	1		15.5	6.8		14.2	4.3	18.7	
PP5	48.4	24.8	382.7		57	50		24.1	-3.8		15.6	9.4	5.5	
PP5ex	348.8	37.5	95.0		41	42		25.4	-8		17.4	9.4	10.9	
PP6	31.6	18.5	320.4		62	50		10.8	5.3		11.0	7.3	-56.6	

Gezwaengte Lageausgleichung  
 Polygonnetz LUGANO

## LAGE

M. FEHLERQUOT. TOTAL:  
 OHNE RUNDUNG (Q^)  
 SCHLUSSKONTROLLE

1.06  
 1.06

WAHRSCH. DASS $Q \leq Q^*$ :	25.5%
ANZAHL BEOBACHTUNGEN	81
ANZAHL UNBEKANNT	25
UEBERBESTIMMUNGEN	56
SIGNIFIKANTE STELLEN	2.8
MAX. M. KOORD. FEHLER	18.4 MM
ITERATIONEN (MAX.)	2 ( 5)
MAX. AEND. LETZTE IT.	.0 MM
ABBRUCHSCHRANKE	5.0 MM
GRENZWERT ROB. AUSGL.	N. ROB.
RECHENZEIT	1.2 SEK. (CPU)
Y,X,H NACH RUNDUNG	4 DEZ.
ANZAHL STATIONEN	74
BEOBACHTUNGSZEILEN	103

MITTLERE FEHLER DER BEOBACHTUNGSGRUPPEN:				GR	ANZ	A PRIORI	SCHLUSS	QUOT.	REDUND.		
DISTANZEN (MF FUER 1KM):											
MST-KORR IN PPM		ADD-KORR IN MM									
MST KORR	MF	ADD	KORR	MF	GR						
3	-3.31	2.15				3	13	2.8 MM	2.6 MM	.91	6.874
RICHTUNGEN (MF:1KM):						1	29	3.3 CC	2.6 CC	.81	13.247
AZIMUTE (MF:1KM):											
OR. KORREK. MF											
1	-39.78	2.43				1	38	8.1 CC	9.4 CC	1.16	35.111
						2	1	8.1 CC	9.4 CC	1.16	.767