

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

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

**Band:** 94 (1996)

**Heft:** 4

**Artikel:** Optimisation de l'usage des récepteurs GPS

**Autor:** Rossetti, M.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-235239>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 15.01.2026

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

## Optimisation de l'usage des récepteurs GPS

M. Rossetti

Les propriétés des mesure de code et de phase GPS diffèrent sensiblement. Toutefois, même pour des applications où le positionnement dépend essentiellement des mesures de phase, l'évaluation de la géométrie des satellites réalisée par des logiciels commerciaux est basée sur la propagation des erreurs liées aux mesures de code, soit GDOP et ses dérivés. Des indicateurs de précision spécifiquement développés pour les mesures de phase, soit les BDOPs, ont donné d'excellents résultats pour les mesures en mode statique rapide. L'implémentation de notre indicateur de précision dans une version spéciale du logiciel SKI™ de la maison Leica permet de mieux véhiculer nos idées dans le milieu professionnel.

*Die Eigenschaften von Messungen des Kodes und der GPS-Phase unterscheiden sich deutlich. Selbst für die Applikationen, bei denen die Standortbestimmung hauptsächlich von den Phasenmessungen abhängt, beruht die durch kommerzielle Software realisierte Schätzung der Satellitengeometrie auf der Fehlerfortpflanzung, abhängig von den Kodennmessungen, d.h. GDOP und seinen abgeleiteten Funktionen. Für die Phasenmessungen spezifisch entwickelte Präzisionsparameter haben hervorragende Resultate für die Messungen im «rapid static»-Mode ergeben. Die Implementierung unserer Präzisionsparameter in einer speziellen Version der SKI™-Software der Firma Leica erlaubt, unsere Ideen im Berufkreis besser zu verwerten.*

Le caratteristiche delle misure GPS con il codice e la fase divergono sensibilmente. Tuttavia, nelle applicazioni dove il modo di posizionare dipende essenzialmente dalle misure di fase, la valutazione della geometria satellitare elaborata nei programmi informatici commerciali si basa sulla propagazione degli errori legati alle misure con il codice, ossia GDOP e i suoi derivati. Gli indicatori di precisione specificatamente sviluppati per le misure con la fase, i cosiddetti BDOP, hanno dato eccellenti risultati nelle misure in modo statico rapido. L'installazione di un nostro nuovo indicatore di precisione nella versione pilota del programma informatico SKI™ della ditta Leica permette di divulgare le nostre idee anche nell'ambito professionale.

### 1. Théorie

Le récepteur GPS est capable d'enregistrer des signaux émis depuis des satellites afin de déterminer sa position sur le globe terrestre. On utilise ce système en premier lieu en navigation, où on arrive avec un seul récepteur à déterminer la trajectoire d'un véhicule dans l'espace et dans le temps avec une précision d'environ 100 m. Si le récepteur est fixe, le positionnement absolu donne un résultat d'une précision d'environ 10 m, pour autant que la durée des mesures soit assez longue pour éliminer une grande partie des influences de la disponibilité sélective (Selective Availability SA). Ce type de positionnement se fait par recoupement des pseudo-distances qui sont le résultat de la mesure d'un code modulé sur la porteuse par les satellites.

Pour l'usage topométrique ces mesures du code n'atteignent pas (pour le moment) la précision voulue. Pour cette raison on mesure la phase de l'onde porteuse qui nous permet d'atteindre une précision de l'ordre du millimètre. En pratique on mesure le nombre réel de cycles qui représen-

te le déphasage de la porteuse par rapport à celle générée par l'oscillateur du récepteur. Les mesures avec la phase sont beaucoup plus précises que celles avec le code, mais le nombre initial de cycles complets ne peut être mesuré directement. L'observation actuelle de la phase représente une fraction de la distance entre le satellite et le récepteur. Les observations de phase comptent donc des variations de distance (ou bien des différences de distance).

#### 1.1 Notion des ambiguïtés de cycle

La différence entre la phase de la porteuse observée et la distance entre le satellite et le récepteur est faussée par plusieurs biais. En particulier un nombre entier de cycles est inconnu parce que sa valeur initiale ne peut être mesurée directement. Au début, à l'époque  $t_0$ , le nombre initial de cycles  $n$  demeure ambigu comme d'ailleurs la distance entre le récepteur et le satellite. A partir de ce moment on commence à mesurer la phase de l'onde porteuse  $\Phi(t_0)$  qui correspond à la variation de la distance au satellite entre deux époques de mesure.

La détermination de l'inconnue du nombre entier de cycles est connue comme «la résolution des ambiguïtés de cycles» ou encore comme «la fixation des ambiguïtés».

On peut faire une simple analogie [4] entre les mesures des distances du GPS et la distance mesurée avec une cheville. A ce propos on admet que les mesures avec le code sont faites avec une cheville ordinaire. Les mesures avec la phase, par contre, résultent de l'utilisation d'une cheville particulière sur laquelle on a coupé un nombre inconnu de mètres. Cela signifie que les distances prises avec cette dernière demeurent ambiguës du moment qu'on ne connaît pas la valeur au début du ruban. Par contre cette cheville par rapport à celle ordinaire a une résolution (échelle centimétrique) qui est bien meilleure que celle de la cheville ordinaire (échelle métrique).

En plus des biais affectant les mesures des distances, il faut ajouter l'inconnue des ambiguïtés de cycle par combinaison satellite-récepteur, constante au cours d'une session. Le moyen éprouvé d'y parvenir consiste à disposer d'un deuxième récepteur sur un point connu à proximité et d'opérer avec les différences des mesures effectuées, largement indépendantes des influences externes. On parle alors de positionnement différentiel et sa nécessité devient impérieuse dans le cas considéré ici.

La procédure la plus simple – aussi bien du point de vue théorique que pratique – repose donc sur l'utilisation des doubles différences des observations [1]. Les mesures simultanées de phase sont différenciées successivement entre récepteur et satellites. La première différenciation élimine l'effet d'une éventuelle erreur d'horloge du satellite. La seconde agit de même pour celle du récepteur. De plus, pour des portées ne dépassant pas quelques dizaines de km, les effets de la réfraction sont fortement réduits. Les observations sont donc des doubles différences de variation de distance. Les inconnues du système sont les trois coordonnées d'un point et les doubles différences des ambiguïtés de cycle. Tous les autres biais ont été éliminés. Le système conduit en prin-

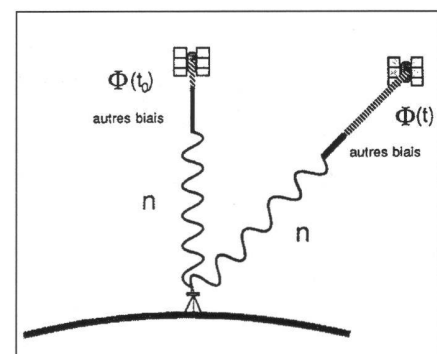


Fig. 1: Mesure de variation de distance.

cipe à des solutions très voisines de nombres entiers pour les doubles différences des ambiguïtés de cycle et chacune est arrondie à l'entier le plus proche. Il suffit alors de fixer arbitrairement la valeur d'une ambiguïté de cycle pour obtenir toutes les autres, comme il suffit de fixer une altitude dans un réseau de nivellement. Le système est alors recalculé avec les mêmes observations, les doubles différences des ambiguïtés de cycle connues a priori et les coordonnées pour seules inconnues.

## 2. Importance de la planification des mesures

La planification est une des tâches principales d'une campagne de mesures avec GPS où on doit maximiser la productivité des mesures sans abandonner les aspects pratiques de contrôle afin d'assurer l'intégrité et la fiabilité des mesures. Un des aspects les plus critiques de la planification des mesures GPS est de décider quand démarrer la session de mesures et pour combien de temps mesurer. Aujourd'hui on dispose toujours d'une fenêtre avec au moins quatre satellites disponibles. La flexibilité qu'on a dans la planification des mesures nous fait comprendre que le développement de stratégies d'observations optimales dépasse le simple intérêt académique.

Souvent, lors de mesures sur le terrain, le dégagement de l'horizon sur le point de stationnement n'est pas optimal. Des obstructions, par exemple des constructions ou des arbres, empêchent la réception simultanée des signaux de tous les satellites disponibles. La non-disponibilité de certains satellites peut se révéler déterminante dans le calcul de la résolution de nos ambiguïtés de cycle. L'optimisation de la prise des mesures permet donc d'éviter le stationnement dans les cas où se présenteraient des fenêtres critiques en ce qui concerne la visibilité des satellites. C'est donc dans ces cas critiques que nos indicateurs de précision sont tenus de jouer leur rôle et devenir des précieux outils de travail.

### 2.1 Les indicateurs de précision

La prise des mesures avec des récepteurs GPS peut être planifiée a priori avant le lever des points sur le terrain. En effet, grâce aux informations radiodiffusées avec le message modulé sur la porteuse on peut calculer l'almanach pour le jour des mesures. L'utilisateur peut donc connaître la disposition de la constellation des satellites au cours de la journée. De plus il dispose de la valeur des indicateurs de précision. Il s'agit d'estimateurs de la précision qu'on peut atteindre pour le calcul des inconnues. Les indicateurs de précision don-

nent donc des indications sur la qualité des mesures qu'on va prendre. Une géométrie favorable est caractérisée par un faible facteur DOP (Dilution Of Precision).

## 3. Utilisation rationnelle des récepteurs GPS

Le traitement des ambiguïtés de cycle [1] a toujours été négligé pour plusieurs raisons :

- La navigation est la principale application du GPS. Les mesures de phase et donc les ambiguïtés de cycle sont sans intérêt pour cette gamme d'utilisateurs.
- Les géodésiens s'intéressent à la précision des coordonnées et la résolution des ambiguïtés de cycle n'est qu'une étape du processus, jamais considérée comme importante en elle-même.

En conséquence, l'approche classique du problème consiste à considérer que, d'une manière ou d'une autre, les ambiguïtés de cycle ont déjà été résolues. L'attention est alors portée sur les effets de la réfraction atmosphérique et sur les erreurs d'orbite. Cependant, il arrive trop souvent que des sessions, apparemment bonnes quant à la durée et aux nombres de satellites observés, conduisent à des résultats médiocres, car les ambiguïtés de cycle n'ont pu être résolues. La réaction typique est alors d'al-

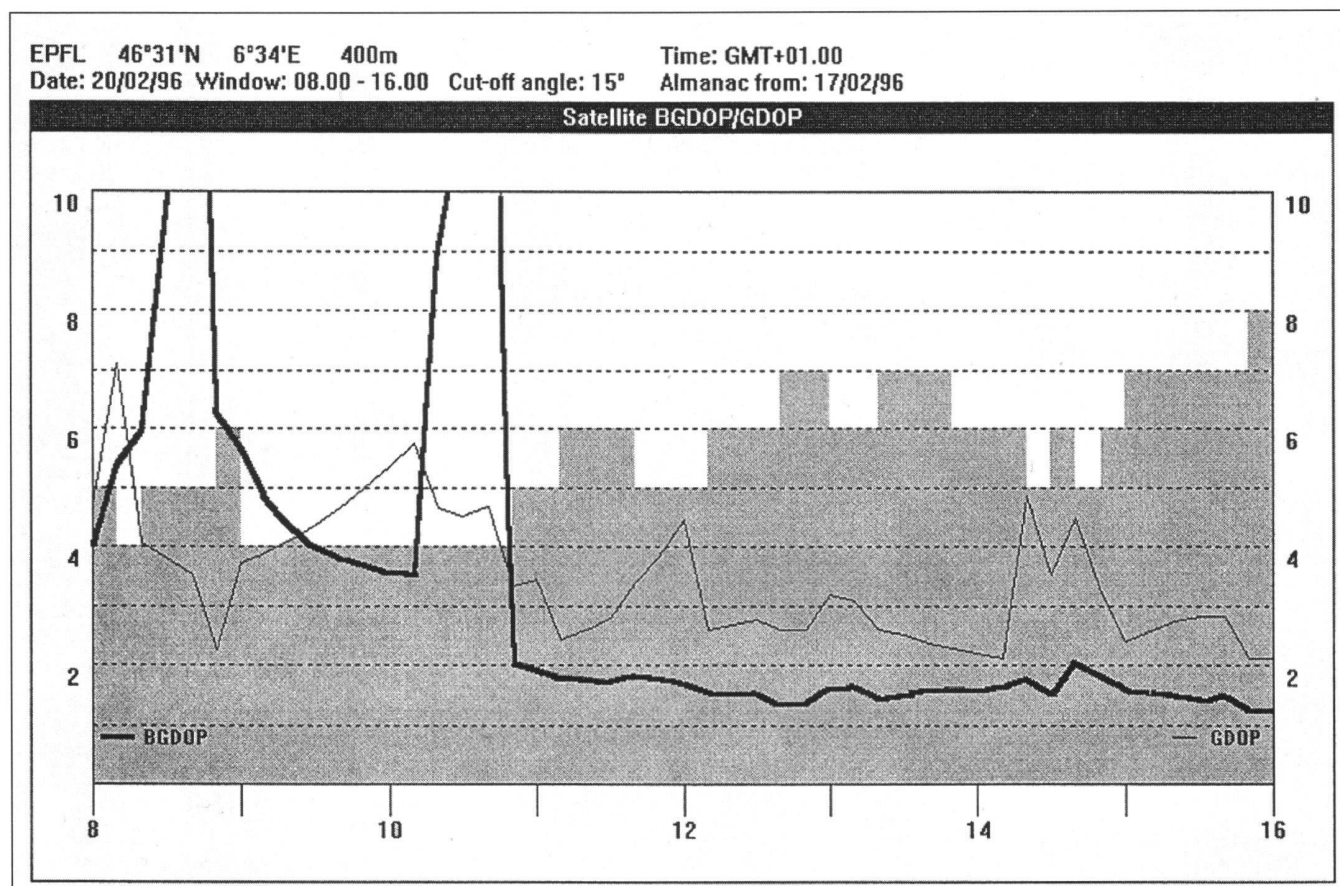


Fig. 2: Allure du BGDOP dans SKI™. La ligne foncée représente notre indicateur de précision comme il est implémenté dans une version spéciale de SKI™.

longer les sessions, ce qui à terme est une solution coûteuse.

Pour obtenir une certaine précision tout en minimisant la durée d'observation, la résolution des ambiguïtés de cycle est le principal facteur limitant. Pour des réseaux d'extension régionale mesurés à l'aide de GPS, une résolution fiable des ambiguïtés de cycle est la clé de résultats précis.

### 3.1 Ce que propose le marché

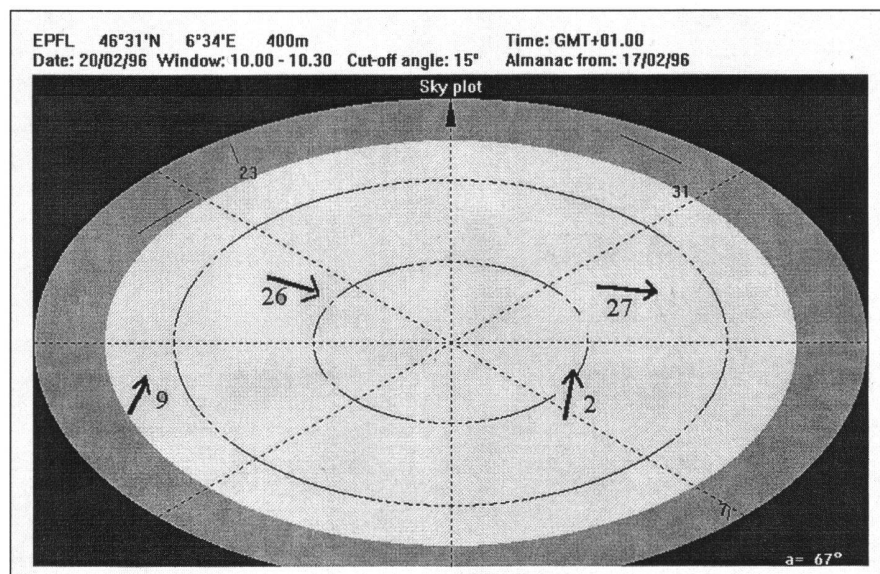
Les indicateurs de précision actuellement disponibles, couramment inclus dans les logiciels commerciaux, ont été développés pour la navigation. Ils s'appliquent surtout pour le positionnement absolu avec les mesures du code. En pratique il s'agit du GDOP (Geometry Dilution Of Precision) et ses dérivés. La précision du point est décrite par une ellipsoïde d'erreur moyenne. Pour simplifier, on peut également considérer une sphère dont le rayon est la racine de la somme des carrés (RSS) des demi-axes de l'ellipsoïde, lequel est donc entièrement contenu dans la sphère. Le facteur de dilution de précision PDOP (Position Dilution Of Precision) est défini par le rapport entre le rayon de la sphère d'erreur RSS et l'écart-type des mesures de pseudo-distances. Ce facteur ne dépend que de la position relative des éléments du réseau. Une géométrie favorable est caractérisée par un faible facteur PDOP. Une valeur inférieure à 5 est généralement considérée comme bonne. Ces indicateurs de précision actuellement disponibles n'offrent qu'un reflet très partiel des processus impliqués par les mesures de phase, tels qu'utilisés en géodésie.

### 3.2 Ce que nous proposons

En travaillant avec la phase, on mesure en fait la variation de la distance au satellite entre deux époques. C'est donc la variation de la géométrie des satellites qui s'avère déterminante dans la résolution des ambiguïtés de cycle. Cet aspect prépondérant est pris en compte dans l'indicateur de précision que nous voulons faire connaître au public. Nous l'avons baptisé BGDOP (Bias Geometry Dilution Of Precision). Il est optimisé pour les mesures avec la phase et, comme les indicateurs classiques, il donne une solution instantanée. Pour mieux véhiculer nos idées dans le milieu professionnel nous l'avons implémenté dans le logiciel SKI™ de la maison Leica. Il s'agit d'un outil informatique complet pour le traitement des mesures GPS. De cette façon l'utilisateur pourra confronter lui-même les valeurs de notre indicateur de précision avec celles de GDOP.

## 4. Méthodologie de la recherche

L'idée de base est d'établir des scénarios de mesures qui peuvent très bien se pro-



**Fig. 3: Mauvaise disposition des satellites du point de vue de la résolution des ambiguïtés de cycle.** La figure 3 reprend la pointe du BGDOP de la figure 2 à 10:30. Ce type de constellation présente des problèmes lors de la résolution des ambiguïtés de cycle. Il y a un couple de satellites, le No 26 et le No 27, qui bougent parallèlement en direction Sud-Est. En même temps deux autres satellites, le No 2 respectivement le No 9 bougent les deux dans la même direction vers le Nord-Est. La disposition globale des satellites comporte donc une variation trop homogène qui complique la fixation des ambiguïtés de cycle. De telles constellations peuvent être détectées avec BGDOP, tandis que le GDOP classique indique de bonnes valeurs car les satellites sont bien repartis dans le ciel. (à 10:30 BGDOP = 22.3, GDOP = 4.7).

duire dans la pratique lors de la saisie des mesures sur le terrain. On trouve souvent des obstructions qui interrompent la réception de certains satellites. En conséquence on a des constellations de satellites qui sont défavorables quant à la résolution des ambiguïtés de cycle, même si le nombre minimal de satellites est garanti.

La production de scénarios consiste à enlever manuellement les satellites clés de chaque période de mesure. Ces satellites sont ceux qui font la différence entre une bonne et une mauvaise «fenêtre satellitaire». Cela se fait facilement avec le logiciel SKI™ où des masques de dialogue permettent de choisir ou d'ignorer chaque satellite pour un calcul. Pour une session favorable à tous points de vue, une dégradation des valeurs de GDOP ou BGDOP est généralement obtenue en éliminant des satellites différents.

Pour tester séparément l'influence de chaque indicateur de précision sur la fixation des ambiguïtés de cycle on a sélectionné des cas où un indicateur indique une bonne valeur et l'autre une mauvaise. Pour différencier entre une bonne et une mauvaise valeur des facteurs DOPs les indications de base du constructeur ont été appliquées. Une valeur de GDOP supérieure au seuil de 8 est considérée comme mauvaise, tandis qu'une valeur inférieure à 5 est en général considérée comme bonne. Le BGDOP, est évalué avec les mêmes critères que le GDOP.

L'idée est de tester l'influence spécifique que chaque indicateur de précision produit dans l'estimation de nos ambiguïtés de cycle. Une bonne valeur signifie une bonne estimation dans la détermination de nos inconnues. Au contraire, une valeur mauvaise nous signale une grande dilution de précision sur nos inconnues et par conséquent une faible estimation de nos ambiguïtés de cycles.

## 5. Résultats

Toutes les mesures effectuées sur le terrain ont été prises avec le système 200 de Leica. Dans des bonnes conditions de mesure, exprimées par des faibles valeurs des deux indicateurs de précision, nous avons constaté que la résolution des cycles d'ambiguïtés se fait généralement entre 2 et 2 minutes et demie avec quatre satellites à disposition. La précision interne est de l'ordre du mm.

Les indicateurs classiques (GDOP et dérivés), lorsqu'ils indiquent une mauvaise valeur, se relèvent inefficaces comme estimateurs de précision pour la résolution des ambiguïtés de cycle si en même temps notre indicateur de précision affiche une bonne valeur. Même dans ces cas, en deux minutes on parvient à fixer les ambiguïtés. Par contre une erreur moyenne sur la précision des coordonnées autour du cm est à craindre. Pour remédier, il suffit d'allonger la session à 5-6 minutes d'ob-



# Partie rédactionnelle

servations pour avoir de nouveau une bonne précision interne de nos résultats. Notre indicateur de précision, qui signale les cas de mauvaise variation de la disposition des satellites, s'est avéré fort utile comme estimateur de précision pour la résolution des ambiguïtés de cycle. En effet, des fenêtres critiques ont pu être détectées pendant lesquelles la résolution des ambiguïtés s'est avérée problématique. Souvent, dans ces conditions critiques, les indicateurs classiques affichent de bonnes valeurs et sont donc inutiles. Des investigations sont encore nécessaires pour évaluer les aptitudes respectives de GDOP et BGDOP pour la résolution des ambiguïtés «en vol».

## 6. Conclusions

La variété des configurations des satellites en pratique est énorme. L'analyse de quelques géométries caractéristiques peut conduire à la formulation de certaines règles. Cependant, de nombreux paramètres peuvent changer, tels que la posi-

tion géographique du réseau, le nombre des satellites présents, les obstructions pour chaque site et enfin la «santé» même des satellites. La meilleure approche consiste à calculer le facteur BGDOP lors de la planification des mesures.

Ce travail pratique de diplôme constitue un point de départ pour une discussion sur la problématique de la résolution des ambiguïtés de cycle. Dans ce contexte il se situe comme véhicule de promotion de nos idées. L'espoir est de contribuer à mieux faire connaître les potentialités des nouveaux outils de travail pour la prise des mesures avec GPS.

L'usage des indicateurs de précision développés spécifiquement pour les mesures de phase conduit au choix optimal de l'heure des sessions d'observations, favorisant ainsi un usage économique du système GPS.

## Remerciements

L'assistance et la compétence de la maison Leica nous ont été fort précieuses. Nous les remercions aussi pour la mise à

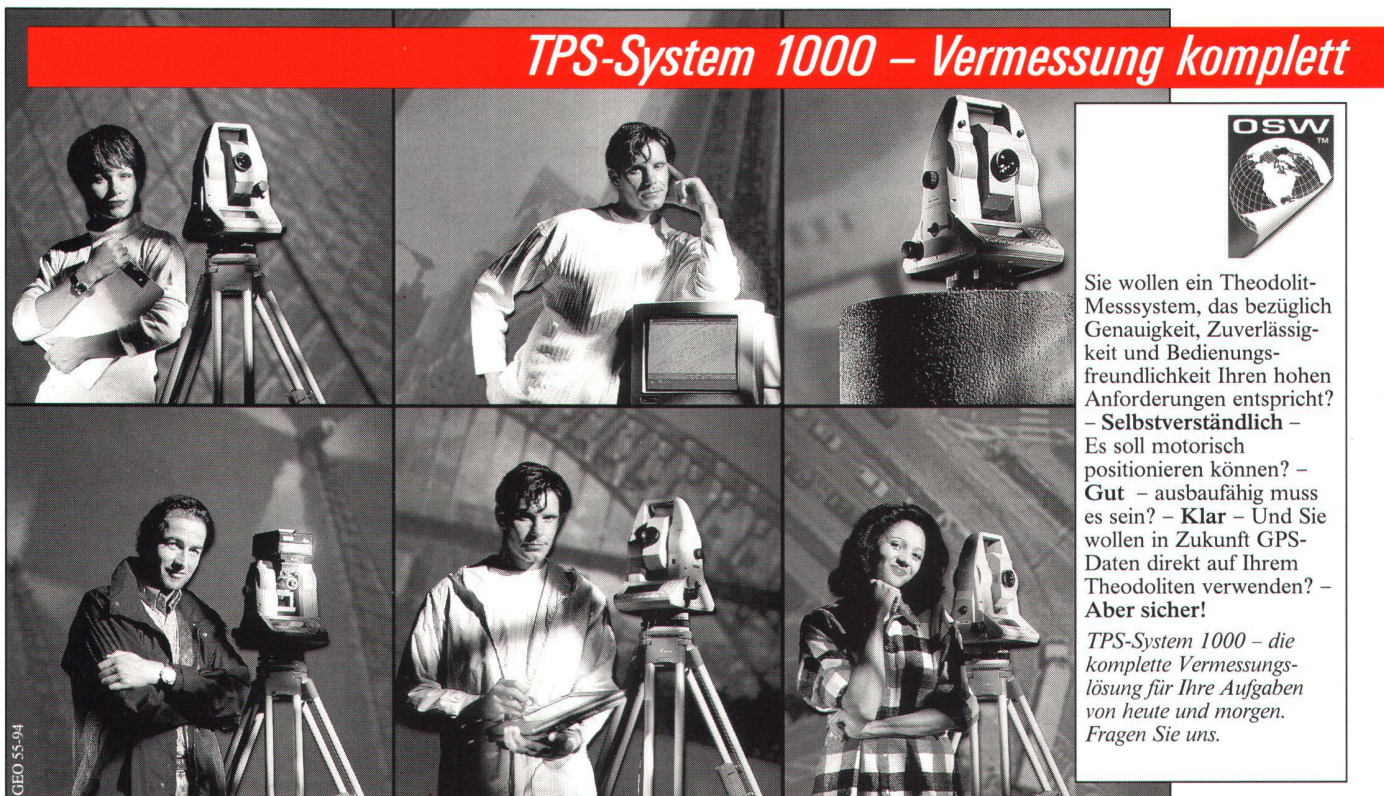
disposition des codes sources originaux et pour la collaboration à la réalisation de ce travail de diplôme.

## Références:

- [1] B. Merminod (1988): Du bon usage des satellites GPS, Mensuration, Photogrammétrie, Génie Rural 10/88.
- [2] B. Merminod (1988): Resolution of cycles ambiguities, University of New South Wales, Kensington, Australie.
- [3] B. Merminod, C. Rizos: Optimisation of rapid static surveys, Manuscripta geodetica, Springer Verlag 1994.
- [4] C. Tiberius, P. De Jonge: Introduction to GPS, Surveying, GIM, octobre 1995.

## Adresse de l'auteur:

Moreno Rossetti  
Via Quinta 50  
CH-6710 Biasca



**TPS-System 1000 – Vermessung komplett**

**OSW**

Sie wollen ein Theodolit-Messsystem, das bezüglich Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Bedienungs-freundlichkeit Ihren hohen Anforderungen entspricht? – **Selbstverständlich** – Es soll motorisch positionieren können? – **Gut** – ausbaufähig muss es sein? – **Klar** – Und Sie wollen in Zukunft GPS-Daten direkt auf Ihrem Theodoliten verwenden? – **Aber sicher!**

*TPS-System 1000 – die komplette Vermessungslösung für Ihre Aufgaben von heute und morgen. Fragen Sie uns.*

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

**Leica**